

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL
EJÉRCITO**

SEDE - LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROUTER CNC PARA LA
FABRICACIÓN DE PUERTAS DE MDF”**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE

“INGENIERO ELECTROMECAÁNICO”

JAVIER MEDARDO QUIMBITA QUIMBITA.

RAUL ERNESTO SANCHEZ BARRIONUEVO.

Latacunga, Diciembre del 2008.

DECLARACION

Quienes suscriben, Javier Medardo Quimbita Quimbita, portador de la cédula de ciudadanía 05026335897 y Raúl Ernesto Sánchez Barrionuevo, portador de la cédula de ciudadanía 1803272531, libre y voluntariamente declaramos que el presente tema de tesis: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROUTER CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PUERTAS DE MDF”, su contenido, ideas, análisis, conclusiones y propuestas son originales, auténticas y personales.

En tal virtud, declaramos la autenticidad de este contenido y para los efectos legales y académicos que se desprenden del presente proyecto de grado, es y será de nuestra propiedad exclusiva, responsabilidad legal y académica.

Para respetar el derecho intelectual del autor de la información secundaria utilizada a manera de bibliografía, la misma se muestra en el documento como pie de página.

La información contenida en el documento es principalmente el soporte intelectual del conocimiento adquirido en el transcurso de nuestra carrera.

Javier Medardo Quimbita Quimbita.

Raúl Ernesto Sánchez Barrionuevo.

CERTIFICACION

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los Srs. Javier Medardo Quimbita Quimbita y Raúl Ernesto Sánchez Barrionuevo han desarrollado el proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROUTER CNC PARA LA FABRICACION DE PUERTAS DE MDF”**, 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. Marcelo Noroña

DIRECTOR

Ing. Marco Singaña

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le damos las gracias a Dios por la vida que nos da y por esta meta que alcanzamos, a nuestros padres por todo el soporte, el consejo, y mas aún, por el amor y la comprensión durante de cada momento de nuestras vidas.

A nuestras familias, por la seguridad, por sus palabras de aliento y la preocupación que mostraron, especialmente en los momentos más difíciles.

A nuestros maestros, que supieron guiarnos con sus conocimientos de la forma más desinteresada para la culminación de nuestra carrera profesional.

A nuestros amigos por el compañerismo y la amistad mantenida durante toda la vida, y especialmente a los compañeros de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la ESPE sede Latacunga.

DEDICATORIA

Este triunfo lo dedico a mis padres, por todo el apoyo que me brindaron durante cada etapa de mi vida y a mis hermanos por creer siempre en mí y por darme la confianza y el apoyo moral para cumplir este sueño.

JAVIER

El presente proyecto va dedicado a mis padres, quienes me infundieron la ética, el rigor y el amor que guían mi transitar por la vida. A mis hermanas por confiar en mí y brindarme confianza.

RAUL

CONTENIDO

TEMARIO

Pág.

Introducción 1

Antecedentes	1
Justificación.....	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	3
Alcances.....	3

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

1.1 Descripción del proceso de fabricación de puertas	5
1.1.1 Secado Natural	5
1.1.2 Secado forzado	6
1.1.3 Medidas estándares en metros lineales	7
1.2 Herramientas para manufactura en madera	8
1.2.1 Herramientas de Sujeción de Piezas	10
1.3 Características del MDF	11
1.3.1 Propiedades mecánicas	11
1.3.2 Aislamiento térmico	11
1.3.3 Comportamiento acústico	12
1.3.4 Comportamiento ante el fuego	12
1.3.5 Comportamiento ante la humedad	12
1.3.6 Maquinabilidad	13
1.3.7 Acabados	13
1.4 Normas de seguridad	13
1.4.1 Protección personal	13
1.4.2 Antes de trabajar	14

1.5 Routers para el proceso de manufactura en madera	14
1.5.1 Tipos de Routers CNC	15
1.6 Fundamentos de automatización y teoría CNC	20
1.6.1 Automatización	20
1.6.2 Control numérico (CN)	22
1.6.3 Control Numérico Computarizado (CNC)	22
1.6.4 Códigos de programación	23
1.7 Actuadores, elementos de control y protección	24
1.7.1 Motores	24
1.7.2 Sensores	33

CAPITULO 2

DISEÑO Y SELECCIÓN

2.1 Descripción de las partes constitutivas del Router CNC	41
2.1.1 Sistema Mecánico	41
2.1.2 Sistema de control	45
2.2 Criterios de selección para el sistema mecánico	47
2.2.1 Materiales	47
2.2.2 Sistema de transmisión de potencia	48
2.2.3 Sistemas de guías	50
2.2.4 Selección de la herramienta	54
2.2.5 Sistema de extracción de viruta	54
2.2.6 Selección del sistema de intercambio de útil	55
2.2.7 Selección de la mesa de trabajo	55

2.2.8 Selección del sistema de sujeción	57
2.2.9 Sistemas de acople actuador – husillo	58
2.3 Diseño mecánico	59
2.3.1 Diseño de la mesa de trabajo	59
2.3.2 Cálculo de la fuerza de corte	59
2.3.3 Cálculo de la velocidad de corte	62
2.3.4 Cálculo de la potencia de corte P_C	62
2.3.5 Diseño de la estructura vertical “Z” o carro “Z”	63
2.3.6 Diseño de la estructura horizontal “X” o carro “X”	69
2.3.7 Diseño de la estructura horizontal “Y” o carro “Y”	74
2.3.8 Cálculo del torque, estructuras horizontales (Eje X e Y)	83
2.4 Selección de dispositivos actuadores, tarjetas, sensores, elementos de mando y protección	83
2.4.1 Selección de actuadores	84
2.4.2 Selección de las tarjetas electrónicas de control	84
2.4.3 Selección de sensores, elementos de mando y protección	87
2.5 Diseño de la fuente de alimentación	89
2.6 Selección y Estudio del software de control	90
2.6.1 Selección de los programas CAD	90
2.6.2 Estudio del programa AUTOCAD	90
2.6.3 Selección de los programas CAM	91
2.6.4 Estudio del programa Mach3Mill de Artsoft	92
2.7 Códigos utilizados en CNC	94
2.7.1 Funciones preparatorias	94

2.7.2 Funciones misceláneas	95
-----------------------------------	----

CAPITULO 3

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

3.1 Construcción y montaje del sistema mecánico	96
3.1.1 Construcción del carro Z (Eje Z)	96
3.1.2 Construcción del carro X (Eje X)	100
3.1.3 Construcción del carro Y (Eje Y)	104
3.2 Acople de elementos de control y protección	110
3.2.1 Acople de Limit switch, Home Switch y Paro de emergencia Estop	110
3.2.2 Implementación de elementos de protección	110
3.3 Implementación del sistema de control electrónico	111
3.3.1 Implementación de la tarjeta interface Breakout board Rev. 5	111
3.3.2 Drive Servomotor Gecko 340	113
3.3.3 Drive Stepper Motor Gecko G202	114
3.3.4 Cableado del sistema	115
3.4 Utilización de los programas CAD/CAM	116
3.4.1 Utilización del programa AUTOCAD 2007	116
3.4.2 Utilización del programa Mach3Mill	116

CAPITULO 4

PRUEBAS Y AJUSTES

4.1 Calibración de parámetros del sistema	126
---	-----

4.2 Pruebas del sistema mecánico, eléctrico – electrónico y software	126
4.2.1 Pruebas en el sistema mecánico	126
4.2.2 Pruebas en el sistema eléctrico, electrónico y software	129
4.3 Pruebas de la máquina en la manufactura de puertas con diferentes diseños	138
4.3.1 Procedimiento para realizar un trabajo de manufactura	138
4.3.2 Control del proceso de manufactura desde el Mach3Mill	143
4.4 Medición de ciclos de trabajo	144
4.5 Resultados obtenidos	145
4.5.1 Resultados de Velocidad de avance o Tasa de alimentación	145
4.5.2 Cálculo de la resolución del Router CNC	145
4.5.3 Cálculo de la precisión del Router CNC	146

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	149
5.2 Recomendaciones	150
5.3 Bibliografía	150

ANEXOS

Planos Eléctricos.

Planos Mecánicos.

Hojas de datos.

LISTADO DE FIGURAS.

CAPITULO 1

Figura 1.1 Bodega de almacenamiento	6
Figura 1.2 Modelos de puertas comerciales	6
Figura 1.3 Medidas de una puerta estándar	7
Figura 1.4 Herramienta para el fresado en madera “Tupí”	8
Figura 1.5 Bridas Plana-Quebrada	10
Figura 1.6 Bridas curvas	11
Figura 1.7 Router para manufactura en madera	14
Figura 1.8 Router CNC de 5 ejes	16
Figura 1.9 Trabajos de manufactura en plástico con Routers CNC	17
Figura 1.10 Router para manufactura de planchas de laurel	18
Figura 1.11 Router CNC para el diseño de placas PCB	18
Figura 1.12 Router de corte por arco de plasma	19
Figura 1.13 Motor a pasos bipolar	25
Figura 1.14 Motor a pasos unipolar	26
Figura 1.15 Diagrama de bloques de un sistema con motor paso a paso	28
Figura 1.16 Apariencia física de un servomotor DC	28
Figura 1.17 Servomotor DC con escobillas	30
Figura 1.18 Apariencia de un servomotor DC Brushless	31
Figura 1.19 Servomotor AC síncrono Schneider Electric Motion	32
Figura 1.20 Servomotor AC Brushless	32
Figura 1.21 Funcionamiento de un sensor ultrasónico	33
Figura 1.22 Sensor fotoeléctrico de barrera	33
Figura 1.23 Sensor fotoeléctrico de tipo reflexión	34
Figura 1.24 Limit Switch (a), Microinterruptor (b), Interruptor de botón (c)	35

Figura 1.25 Sensores Inductivos	35
Figura 1.26 Sensor de Efecto Hall	36
Figura 1.27 Sensor capacitivo de la firma VariKont	36
Figura 1.28 Partes de un encoder básico (incremental o relativo)	37
Figura 1.29 Conexión de un encoder incremental o relativo	38
Figura 1.30 Disco en código binario y disco en código gray (b).....	38
Figura 1.31 Partes de un resolver	40
Figura 1.32 Sistema de bobinas	40
Figura 1.33 Constitución interna de un Sincro – Resolver	40

CAPITULO 2

Figura 2.1 Estructuras móviles de un Router CNC.....	42
Figura 2.2 Mesa de trabajo ranurada	42
Figura 2.3 Mesa de trabajo para corte	42
Figura 2.4 Herramienta de tallado para Router CNC	43
Figura 2.5 Sistema de guiado por ejes	43
Figura 2.6 Transmisión por tornillo de potencia, eje X	44
Figura 2.7 Sistema de extracción de viruta independiente	44
Figura 2.8 Sistema de control del Router CNC.....	45
Figura 2.9 Apariencia del Nylon A6/6.....	48
Figura 2.10 Tornillo de rosca trapecial	48
Figura 2.11 Transmisión de movimiento por husillos a bolas	49
Figura 2.12 Tipos de cremalleras helicoidales	50
Figura 2.13 Sistema de guiado por ejes	51
Figura 2.14 Bocines de deslizamiento	51

Figura 2.15 Sistema de guiado por rolineras	52
Figura 2.16 Sistema de guiado por rodamientos circulares en un carro Z.....	52
Figura 2.17 Sistema de guiado por rodamientos lineales	53
Figura 2.18 Router CNC con un sistema de guiado especial	53
Figura 2.19 Tupí industrial Dewalt 1 3/4HP	54
Figura 2.20 Sistema de intercambio rápido de herramienta	55
Figura 2.21 Mesa de posicionamiento ranurada	56
Figura 2.22 Mesa de corte por plasma de alta precisión	56
Figura 2.23 Plataforma de posicionamiento en los tres ejes X, Y y Z.....	57
Figura 2.24 Sujeción por tornillo de prensado	57
Figura 2.25 Router CNC con transmisión de movimiento por cadena.....	58
Figura 2.26 Traslación vertical con carga vertical.....	63
Figura 2.27 Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura vertical, coordenada “Z”	65
Figura 2.28 Traslación horizontal con carga lateral, coordenada “X”.....	69
Figura 2.29 Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura horizontal, coordenada “X”	71
Figura 2.30 Traslación horizontal con carga normal	74
Figura 2.31 Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura horizontal, coordenada “Y”	76
Figura 2.32 Transmisión de movimiento horizontal	80
Figura 2.33 Tarjeta interface Rev. 5 de la firma Campbell designs.....	85
Figura 2.34 Stepper drive con un L297 y dos L298.....	86
Figura 2.35 Stepper Gecko Drive G202.....	87

Figura 2.36 Servodrive Gecko G340-----	87
Figura 2.37 Sensor Optotransistor -----	88
Figura 2.38 Elementos de mando para el Router CNC-----	89
Figura 2.39 Autocad Guardar como, extensión DXF-----	91
Figura 2.40 Entorno del programa Mach3Mill-----	92
Figura 2.41 Control del entorno del programa Mach3Mill -----	93
Figura 2.42 Pantalla MDI del programa Mach3Mill -----	93
Figura 2.43 Cuadro de diagnóstico del programa Mach3Mill -----	94

CAPITULO 3

Figura 3.1 Mordaza y placa soporte para el acople del Tupí -----	97
Figura 3.2 Acople de ejes guías de diámetro 12 mm y tornillo M12-----	98
Figura 3.3 Acople de la placa en C y motor Z-----	99
Figura 3.4 Acople de ejes guías de diámetro 20 mm y husillo M16-----	100
Figura 3.5 Acople de placas laterales, inferior y posterior -----	101
Figura 3.6 Acople de chumaceras de diámetro 8 mm -----	102
Figura 3.7 Acople de soportes de centrado en el carro X-----	102
Figura 3.8 Acople del servomotor del eje X-----	103
Figura 3.9 Acople de husillo a bolas M25 y ejes guías Y-----	105
Figura 3.10 Mesa de trabajo del Router CNC -----	106
Figura 3.11 Acople de soportes de centrado en la mesa de trabajo-----	107
Figura 3.12 Acople del servomotor seleccionado para el carro Y-----	107
Figura 3.13 Acople de la cubierta de brocha en el Tupí-----	109
Figura 3.14 Vista superior de la tarjeta interface Breakout Board Rev. 5-----	112
Figura 3.15 Gecko Servodrive G340-----	114

Figura 3.16 Gecko Microstep Drive G202.....	115
Figura 3.17 Cuadro de selección de unidades nativas para Mach3Mill.....	117
Figura 3.18 Configuración de puertos y pines.....	118
Figura 3.19 Configuración de salidas a los ejes en el Mach3Mill.....	119
Figura 3.20 Configuración de los Switch en el Mach3Mill.....	119
Figura 3.21 Configuración del paro EPO en el Mach3Mill.....	120
Figura 3.22 Configuración de salidas a relé en el Mach3Mill.....	120
Figura 3.23 Configuración de salidas a relé y spindle en el Mach3Mill.....	121
Figura 3.24 Configuración de pasos por unidad en la Mach3Mill.....	122
Figura 3.25 Selección del eje a ser calibrado.....	122
Figura 3.26 Ingreso de la distancia para la calibración del eje seleccionado.....	123
Figura 3.27 Ingreso de la verdadera distancia recorrida.....	123
Figura 3.28 Cálculo de pasos por unidad, velocidad y aceleración.....	124
Figura 3.29 Confirmación de calibración del eje seleccionado.....	124
Figura 3.30 Sintonización de motores o <i>Motor Tunning</i> en el Mach3Mill.....	125

CAPITULO 4

Figura 4.1 Barra de selección de pantallas de control del Mach3Mill.....	133
Figura 4.2 Cuadro de diálogo para el control de la herramienta.....	133
Figura 4.3 Control de movimiento para los carros X, Y y Z.....	134
Figura 4.4 Entrada manual de datos MDI.....	134
Figura 4.5 Tarjeta de LEDs para el control de ejes del Router CNC.....	136
Figura 4.6 Cuadro de diálogo de importación de archivos DXF y HPGL.....	140
Figura 4.7 Archivo .DXF importado al Mach3Mill.....	140
Figura 4.8 Configuración de acciones por capas en el Mach3Mill.....	141

Figura 4.9 Control de ejecución del programa da manufactura	143
Figura 4.10(a) Panel en Autocad.....	147
Figura 4.10(b) Tallado de panel.....	147
Figura 4.10(c) Panel terminado	147
Figura 4.11 Varios ejemplos y pruebas hechas en el Router CNC.....	148
Figura 4.12 Tallado del logo de la carrera de Ingeniería Electromecánica.....	148

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1.1 Herramientas de corte	9
Tabla 1.2 Propiedades mecánicas del MDF.....	11
Tabla 1.3 Aislamiento térmico del MDF.....	12
Tabla 1.4 Secuencia para controlar motores paso a paso Bipolares	26
Tabla 1.5 Secuencia normal de control de motores unipolares	27
Tabla 1.6 Secuencia tipo wave drive de control de motores unipolares	27
Tabla 1.7 Secuencia tipo medio paso de control de motores unipolares	28
Tabla 1.8 Colores de los terminales para algunas marcas comerciales.....	31
Tabla 1.9 Equivalencia entre Códigos Decimal, Binario y Gray.....	39

CAPITULO 2

Tabla 2.1 Longitud del husillo a bolas a partir de su diámetro	49
Tabla 2.2 Tabla de presión específica de corte K_{SO} para fresado	61
Tabla 2.3 Datos de los motores X, Y y Z.....	84
Tabla 2.4 Características del transformador de la fuente de alimentación	89

CAPITULO 3

Tabla 3.1 Cálculo de corrientes para elementos de protección	111
Tabla 3.2 Conexiones de la Breakout Board Rev. 5.....	113
Tabla 3.3 Conexiones del drive Gecko G340.....	113
Tabla 3.4 Conexión del drive Gecko G202	114

CAPITULO 4

Tabla 4.1 Características de la PC instalada	132
Tabla 4.2 Medición de ciclos de trabajo.....	144

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se desarrolla un sistema automático de manufactura, utilizando tecnología CNC y demás recursos encontrados en el medio industrial.

En primer lugar se detallan los antecedentes previos al desarrollo del proyecto, se enumeran los recursos materiales existentes, y la parte de soporte de “hardware” y “software” desarrollado o existente para el control del proceso, todo esto en el capítulo uno.

A continuación y tomando en cuenta los antecedentes anteriormente desarrollados, se procede al cálculo de la parte física o parte mecánica que constituirá en sí el Router CNC; conjuntamente con la selección de los actuadores, elementos de control y sistema electrónico que conformará el control del Router CNC, todo esto en el capítulo dos.

A partir de los resultados obtenidos durante el diseño del proyecto se procede a la construcción e implementación del mismo, y finalmente a la realización de las pruebas de funcionamiento y puesta a punto del mismo, todo esto en los capítulos tres y cuatro.

En la culminación del proyecto se obtienen los resultados del mismo y se determinan las respectivas conclusiones y recomendaciones.

ANTECEDENTES

En la actualidad la carpintería es un trabajo netamente artesanal, por lo que demanda de mucho esfuerzo y horas de dedicación, razón por la cual no es considerado un medio que genere grandes ingresos económicos, esto sin tomar en cuenta que la mayoría de enseres que se encuentran en el hogar, oficinas, etc. son construidos de madera.

La fabricación de puertas de madera en grandes cantidades para su instalación en las nuevas y modernas edificaciones que actualmente se levantan, es una de las necesidades más primordiales dentro del campo de la construcción, debido a que éste permanece en constante evolución y no ha parado de crecer en los últimos años, generando así una demanda considerable de tales elementos.

En la mayoría de talleres y empresas artesanales a nivel nacional, el proceso de fabricación de este tipo de partes sigue siendo manual, tal es así que los fabricantes utilizan diferentes técnicas y metodologías de diseño y construcción, las cuales varían de acuerdo a la complejidad y la diversidad de formas y tamaños, dando como resultado un producto final que no goza de un buen terminado, el mismo que se lo obtiene a partir de largos procesos de tratamiento y utilizando demasiada materia prima.

En el proceso actual de fabricación de puertas de madera, un obrero tarda un día laborable en la fabricación por unidad, tomando en cuenta que el proceso se inicia en la selección y corte del tipo de madera y termina en el ensamblaje, eso sin tomar en cuenta el acabado superficial que se le da como proceso final en su fabricación, según estas condiciones actuales, la producción de puertas de madera se realiza en un tiempo demasiado extenso, lo que provoca un incremento en el precio de venta y un decremento en la oferta.

JUSTIFICACION

Con la implementación de técnicas, herramientas y metodologías de control y automatización CNC se desea desarrollar una máquina que produzca los modelos estándar de puertas más comercializados en el mercado actual en un tiempo mínimo comparado al de fabricación manual y con un costo tal que pueda estar al alcance del cliente y que cumpla con sus necesidades.

Además con la construcción del Router CNC para madera se podrá fabricar en serie los diversos tipos de puertas más comercializados del mercado, optimizando y reduciendo los recursos utilizados para el proceso de construcción, como la mano de obra, herramientas y materias primas que normalmente se suelen utilizar para el proceso.

Con el fin de atender la demanda actual con un producto de calidad y en un tiempo considerablemente menor, proponemos la construcción un sistema automático que desarrolle un nuevo método de fabricación para que se acople al trabajo en el sector productivo.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un Router CNC para la construcción de puertas de MDF.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar el sistema mecánico que permita realizar el libre desplazamiento del útil en los ejes X e Y, y la posibilidad de calibrar el eje Z para trabajar con varias profundidades constantes de manufactura.
- Seleccionar los diferentes materiales a utilizar en la construcción del sistema mecánico.
- Seleccionar actuadores, dispositivos de control y protección a ser implementados en la máquina.
- Diseñar el sistema eléctrico y de control de los diferentes dispositivos que van a dar el movimiento a los ejes de la máquina así como al sistema de corte.
- Utilizar el PC para controlar las operaciones de funcionamiento del router CNC.
- Obtener acabados superficiales de calidad y que cumplan con las necesidades de producción y con las exigencias del cliente.
- Seleccionar el software CAD/CAM apropiado.
- Construir y montar las diferentes partes de la máquina.
- Realizar las diferentes pruebas y ajustes para el funcionamiento óptimo de la máquina.

ALCANCES

- Seleccionar una estructura para el sistema mecánico y verificar su selección mediante la aplicación de teoría de diseño mecánico.
- Construir los planos de la máquina.
- Adquirir los materiales en el mercado para la construcción de la máquina previo el diseño mecánico.
- Construir y acoplar las diferentes partes de la máquina y verificar su funcionamiento en los tres ejes de coordenadas.
- Seleccionar los actuadores más adecuados para implementarse.
- Seleccionar los sensores y finales de carrera.
- Seleccionar las tarjetas electrónicas que permitan realizar la interface y el control entre la PC y los dispositivos actuadores dispuestos para la máquina.
- Seleccionar y adquirir los programas respectivos para CAD/CAM.
- Familiarizarse con los programas CAD/CAM y realizar varios diseños en los mismos para las posteriores pruebas de manufactura.

- Implementar actuadores, sensores, elementos de control y protección.
- Implementar la interface física entre el Router CNC y la PC.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los actuadores y demás elementos implementados en la máquina a través de los programas de control desde la PC.
- Calibrar parámetros de funcionamiento del sistema.
- Realizar las pruebas correspondientes, realizar nuevos ajustes y verificar acabados.

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PUERTAS.

En la actualidad la carpintería es un trabajo netamente artesanal, por lo que demanda de mucho esfuerzo y horas de dedicación, razón por la cual no es considerado un medio que genere grandes ingresos económicos, esto sin tomar en cuenta que la mayoría de enseres que se encuentran en el hogar, oficinas, etc., son construidos de madera.

El proceso de fabricación inicia con la adquisición de la materia prima, en este caso los diferentes tipos de maderas¹ utilizadas en este proceso, las mismas que son almacenadas para iniciar su proceso de secado, que puede ser tanto de forma natural o forzada.

1.1.1 SECADO NATURAL.

Este método de secado es lento y está basado en la circulación del aire entre las piezas de madera y en el efecto de los rayos solares que actúan directamente sobre su superficie.

Con este método la madera esta lista para ser trabajada en un tiempo estimado entre 10 a 12 meses, tomando en cuenta también los factores de humedad, lluvias o un mal apilamiento, los cuales retardan el proceso. En el apilamiento el calor del sol no se distribuye bien entre todas las piezas, es por esto que este tipo de secado no es uniforme en toda la torre de madera.

¹ Las maderas utilizadas en a construcción pueden ser Laurel, Canelo, Cedro, Chonta caspi, Siendo el laurel la madera de mas incidencia en la construcción de puertas.

1.1.2 SECADO FORZADO.

En este método de secado la madera es ubicada en el interior de un contenedor hermético, en el que por medio de un caldero se inyecta vapor saturado para acelerar el proceso de secado. El tiempo que toma este proceso es de apenas 30 días y se obtiene una mayor uniformidad en el secado, debido a que todas las piezas están sometidas a las mismas condiciones de temperatura y humedad. Este método a pesar de ser el más eficiente no es muy utilizado debido a su gran costo de implementación y mantenimiento.

Una vez que la madera esta seca, es almacenada en una bodega, tal como se indica en la Figura 1.1, donde se hace una preselección de acuerdo a sus dimensiones.



Figura 1.1 Bodega de almacenamiento

Con la madera ya seca se inicia el proceso de manufactura, para esto se requiere de un diseño que se ajuste a las necesidades del cliente considerando las medidas y los modelos de preferencia, varios de estos modelos de puertas comerciales se indican en la Figura 1.2



Figura 1.2 Modelos de puertas comerciales.

1.1.3 MEDIDAS ESTÁNDARES EN METROS LINEALES.

Teniendo en cuenta un espesor estándar de 4 centímetros para puertas comerciales, se tendrá las medidas que se indican en la Figura 1.3

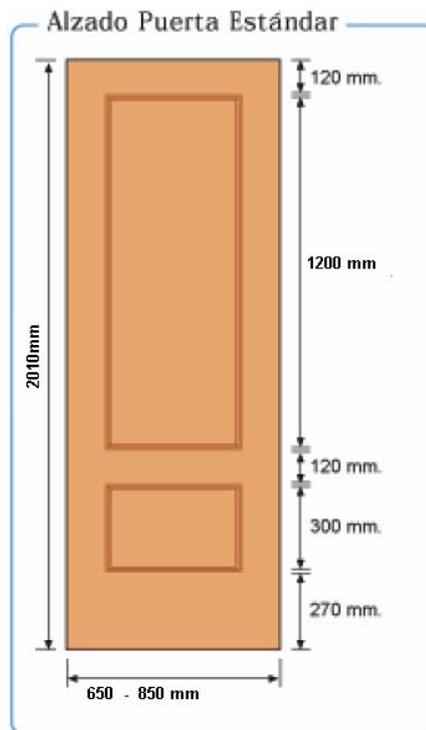


Figura 1.3 Medidas de una puerta estándar

Ahora la madera es canteada, aserrada y cortada en las medidas requeridas para el diseño. A continuación se realizan los destajes, muescas, agujeros para los tarugos, que serán los que aseguren el ensamble preciso de las diferentes partes así como los canales para los diferentes tableros, hecho esto se procede al ensamble definitivo, lijado y terminado al gusto del cliente.

El tiempo aproximado que toma el proceso de construcción es de aproximadamente once horas laborables; es decir, un día y medio laboral aproximadamente, es por esto que los costos se ven elevados; el modelo y el tipo de madera empleada constituyen los factores importantes que influyen sobre el mismo.

1.2 HERRAMIENTAS PARA MANUFACTURA EN MADERA.

La fresadora eléctrica, también llamada Tupí, que se indica en la Figura 1.4, es la herramienta utilizada para el mecanizado en madera, gracias a un potente motor que acciona una fresa, la misma que va colocada bajo la carcasa del motor y está provista de dos empuñaduras, a ambos lados.

Todo ello se asienta sobre una base, a través de la cual sobresale la fresa. Así, estando la base apoyada sobre la pieza, al ejercer presión sobre las empuñaduras la fresa entra en contacto con la pieza y realiza el tallado.

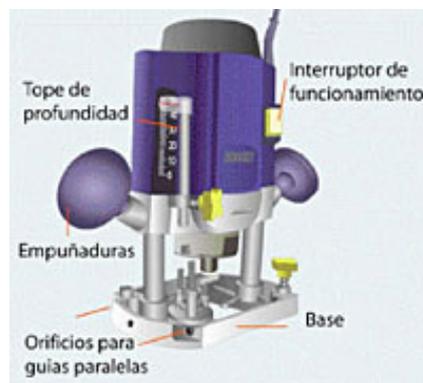


Figura 1.4 Herramienta para el fresado en madera “Tupí”.

En el Tupí se acoplan los útiles o fresas de tallado que se indican en la Tabla 1.1, con los cuales se realiza la manufactura de puertas, las fresas de perfiles especiales con mango son las que se utilizan generalmente en el tallado de puertas, en el caso de un tallado especial como alguna figura en relieve se utilizan las fresas de cantear, ranurar, recortar, escoplear y taladrar.

Brocas y fresas de cantear, ranurar, recortar, escoplear y taladrar.	
H erramientas que sirven para el trabajo de recortar tablero y escoplear. Algunas se pueden utilizar también para taladrar.	<p>Se muestran cinco tipos de herramientas numeradas del 1 al 5. El tipo 1 es una fresa de perfilado con un borde curvo. El tipo 2 es una fresa de perfilado con un borde recto. El tipo 3 es una fresa de perfilado con un borde recto y un ángulo de corte. El tipo 4 es una broca de taladrado con un extremo redondeado. El tipo 5 es una broca de taladrado con un extremo puntiagudo.</p>

Fresas con mango para máquinas portátiles.	
<p>Fresas para trabajos de cantear, redondear, ranurar... en máquinas portátiles.</p>	

Fresas y brocas con cuchillas reversibles.	
<p>Herramientas adecuadas para la utilización en máquinas CNC.</p>	

Fresas de perfiles especiales con mango.	
<p>Herramientas de características especiales que se fabrica según un modelo predefinido.</p>	

Colección de estuches.	
<p>Series de herramientas más usuales en distintos diámetros, perfiles y radios.</p>	

Tabla 1.1 Útiles de corte en madera.

1.2.1 HERRAMIENTAS DE SUJECIÓN DE PIEZAS.

Las herramientas de sujeción cumplen la función de acoplar el material a la mesa de trabajo para proceder a su manufactura, su descripción se indica a continuación.

1.2.1.1 Sujeción por bridas.

Es un tipo de fijación vertical, da excelentes resultados para piezas de formas complicadas o de grandes dimensiones.

Las bridas pueden ser planas o acodadas. Este tipo de fijación requiere frecuentemente accesorios de apoyo, indispensables para el equilibrio de piezas especiales. Las piezas que por su forma y tamaño no pueden fijarse con un tornillo de mordazas; y se sujetan a la mesa mediante bridas.

La forma de las bridas es diferente, según las necesidades particulares de sujeción. Las bridas pueden tener el extremo posterior plano, el cual se apoya sobre gradillas o sobre soportes de altura regulable; la parte anterior puede ser plana o quebrada.

Para todos estos tipos resulta esencial que la brida quede horizontal. En la Figura 1.5 se indica la brida plana (S1) y quebrada (S2).

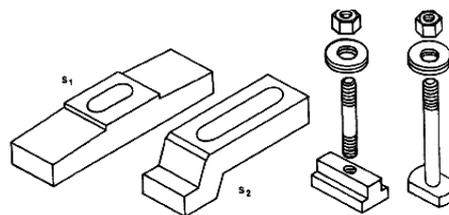


Figura 1.5 Bridas Plana-Quebrada

Existen además, bridas curvas (B), como se indica en la Figura 1.6, las que presentan la ventaja de no fletear y tienen mayor facilidad de aplicación, ya que pueden sujetar piezas de diferente altura sin que varíe la altura del apoyo del otro extremo. Si se debe fijar con bridas una pieza con una superficie ya mecanizada se interpone una planchita P, de metal blando, entre la brida y la pieza, a fin de evitar que esta brida quede marcada.

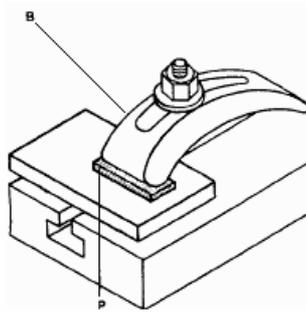


Figura 1.6 Bridas curvas

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL MDF²

1.3.1 PROPIEDADES MECÁNICAS.

La gran homogeneidad en la fabricación de este tipo de tableros y el estricto control de los procesos productivos y de calidad ofrecen una insuperable resistencia mecánica. Los tableros de MDF poseen además propiedades más uniformes que la madera sólida, aserrada u otros tipos de tableros, los cuales mantienen defectos como ojos, nudos, orificios, etc.

En la Tabla 1.2 se indican varias características generales comparativas entre tres materiales derivados de la madera.

TABLERO	DENSIDAD
	gr/cm³
Aglomerado	0.5 - 0.8
Contrachapado	0.5 - 0.6
MDF	0.6 - 0.75

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas del MDF³

1.3.2 AISLAMIENTO TÉRMICO.

Los tableros de MDF ofrecen incomparables propiedades térmicas, fundamentales cuando se los utiliza en la construcción de tabiquería, pisos y techos, pues evitan la transmisión

² <http://www.elchichedemama.com.ar/mdf.htm>

³ Catálogo de productos, Aglomerados Cotopaxi, 2005

excesiva de temperatura en los climas fríos o calientes. Esto se debe a que poseen un bajo coeficiente de conductividad térmica que ofrece ventajas similares a un aislante térmico, equivale a un tercio del aislamiento térmico de la lana de vidrio, pero es diez veces superior a la del concreto; en la Tabla 1.3 se indica esta característica tanto para el MDF como para otras fibras de madera.

TABLERO	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
	kcal/m²
Aglomerado	0.09
Contrachapado	0.10
MDF	0.10
Hormigón	1.00
Acero	39.00
Aluminio	172.00

Tabla 1.3 Aislamiento térmico del MDF.

1.3.3 COMPORTAMIENTO ACÚSTICO.

Los tableros, por su conformación leñosa, combinan adecuadamente la masa con la porosidad obteniéndose un aceptable aislamiento contra el ruido. La atenuación acústica está entre 150 - 500 Hz que equivale a 28 - 32 dB⁴

1.3.4 COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO.

Son combustibles; sin embargo, en la práctica ofrecen cierta resistencia y seguridad ante el fuego, siendo su comportamiento muy superior al de otros materiales de construcción.

No pierden su resistencia mecánica (estabilidad) pues solo arde la cara expuesta al fuego a una velocidad aproximada⁴ de 0.7 mm/min

1.3.5 COMPORTAMIENTO ANTE LA HUMEDAD.

Se comportan higroscópicamente en relación a su composición de madera. Su grado de humedad depende de la humedad ambiente y del tiempo de climatización. Las condiciones

⁴ www.elrincondela.madera.org/support/sup%uuhm.htm

ambientales normales de humedad en ningún caso afectan al tablero. Los tableros ofrecen una inigualable resistencia y estabilidad a la humedad en comparación con otros tipos de tableros. A menos que se trate de tableros resistentes a la humedad o para uso exterior, debe evitarse el contacto directo con la lluvia, también debe evitarse usarlo en sitios como muros de lavaderos, duchas, etc.

1.3.6 MAQUINABILIDAD.

Pueden trabajarse con herramientas típicas de carpintería, cortar en cualquier sentido, cepillar cantos, perforar, calar y atornillar, al igual que la madera aserrada. El MDF a diferencia de otros materiales, retiene los clavos, tornillos y otros herrajes con firmeza y sin producirse rajaduras, lo que ofrece una ventaja notoria frente a otro tipo de tablero.

1.3.7 ACABADOS.

Tienen un excelente acabado debido a su sistema de lijado que le brinda una superficie apta para recibir directamente cualquier tipo de recubrimiento como pintura, barniz o laca. La superficie neutra de los tableros no reacciona químicamente con sustancias usualmente presentes en pinturas o pegamentos. No obstante, se debe evitar aplicar pinturas o adhesivos muy diluidos así como pegar papel tapiz impermeable usando pegamentos acuosos.

1.4 NORMAS DE SEGURIDAD⁵

Las normas de seguridad son elementos esenciales en la utilización de máquinas de mecanizado para talleres de carpintería.

1.4.1 PROTECCIÓN PERSONAL.

- Los trabajadores deben utilizar anteojos de seguridad contra impactos, debido al peligro que representa para los ojos las virutas y fragmentos que pudieran salir proyectados.
- Las virutas secas se deben retirar con un cepillo o brocha adecuados, estando la máquina parada. Para virutas húmedas o aceitosas es mejor emplear una escobilla de goma.

⁵<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=121>

- Se debe llevar la ropa de trabajo bien ajustada. Las mangas deben llevarse ceñidas a la muñeca.
- Se debe usar calzado de seguridad.
- Es muy peligroso trabajar llevando anillos, relojes, pulseras, cadenas en el cuello, bufandas, corbatas o cualquier prenda que cuelgue, así como el cabello suelto.

1.4.2 ANTES DE TRABAJAR.

Se debe verificar que:

- El dispositivo de sujeción de piezas, debe estar fuertemente anclado a la mesa de la máquina.
- La pieza a trabajar está correcta y firmemente sujeta al dispositivo de sujeción.
- Sobre la mesa de la fresadora no hay piezas o herramientas abandonadas que pudieran caer o ser alcanzados por la máquina.
- Las carcasas de protección de las poleas, engranajes, cadenas y ejes, están en su sitio y bien fijadas.

1.5 ROUTERS PARA EL PROCESO DE MANUFACTURA EN MADERA.

En modelo básico de un Router CNC se indica en la Figura 1.7; éste se forma por el acoplamiento de tres estructuras móviles que corresponden a los ejes X, Y y Z; y una herramienta de fresado con la que se realiza el proceso de manufactura.



Figura 1.7 Router para manufactura en madera.

En la actualidad con el desarrollo de la tecnología se pueden encontrar este tipo de máquinas para el trabajo de manufactura en madera.

La tecnología CNC es la que gobierna este tipo de trabajos, la misma que ha sido difundida a nivel mundial y que goza de buena aceptación en el ámbito industrial y de la producción.

En general un Router CNC se encarga de trabajos de manufactura en diferentes tipos de material, así tenemos en metal, madera, fibras, plásticos, etc.

El control de un Router CNC está instalado en un computador, al cual se conecta mediante los puertos físicos disponibles en éste, generalmente al puerto paralelo y serial.

En el computador se encuentran los programas CAD/CAM. En los programas CAD se realizan los diseños a ser posteriormente fabricados, y por medio de los programas CAM el diseño es transformado en señales, las cuales son enviadas al controlador (tarjetas de control de motores o actuadores) para que éste administre los movimientos de la máquina.

Dependiendo de la tecnología aplicada en el Router CNC, éste puede tener programas que permitan la conversión de los diseños hechos en formatos DXF en programas CAD a códigos G (código que interpreta el programa CAM a usar).

Los factores que predominan en la adquisición de un Router pueden ser:

- La facilidad de trabajo.
- Aplicación.
- Costo beneficio.
- Durabilidad (brindará por ejemplo 10 años de buen servicio antes de degradarse).

Los materiales de construcción influirán en la durabilidad y eficiencia de la máquina. De aquí que un Router CNC puede ser construido desde la forma más casera, con materiales como madera o plástico, que en este caso dicho Router carecerá de precisión; hasta un Router tecnificado construido con los materiales de la más alta calidad y con un control óptimo para trabajos de precisión y excelencia.

1.5.1 TIPOS DE ROUTERS CNC⁶

Existen varios tipos de Routers CNC, los cuales se clasifican por:

⁶ <http://www.homeshopcnc.com/page2.html>.

1. El número de ejes que manejan.
2. El tipo de material que trabajan.

1.5.1.1 El número de ejes que manejan.

Estas máquinas pueden tener varios ejes, por ejemplo:

- Dos ejes, el cabezal con la broca únicamente se mueve en dirección “x” y “z”.
- Tres ejes, el fresado básico, se mueve en “x”, “y” y “z”.
- Cuatro ejes, un cabezal indexado.
- Cinco ejes, un cabezal indexado con pivote hacia arriba y hacia abajo.

La estructura de un Router CNC de cinco ejes se indica en la Figura 1.8, esta máquina tiene cuatro ejes cuyo movimiento es lineal y uno de movimiento circular, el que se denomina eje con pivote hacia arriba y hacia abajo.

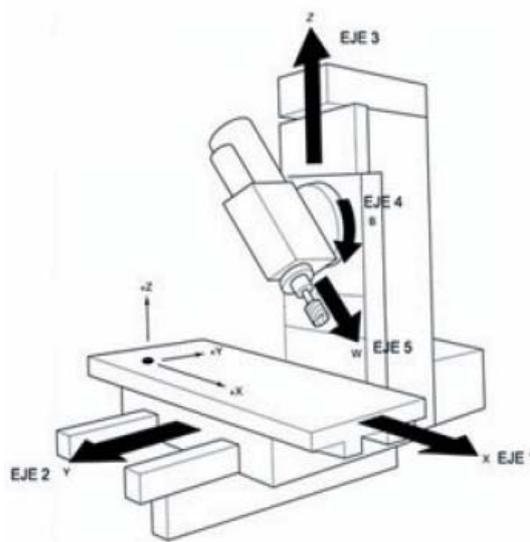


Figura 1.8 Router CNC de 5 ejes.

1.5.1.2 El tipo de material que trabajan.

Por lo general un Router CNC se diseña según su aplicación, de aquí a que pueden fabricarse Routers para trabajar con plásticos, madera o metal, como se detalla a continuación.

a. Plástico

Hay gran cantidad de plásticos para trabajos en manufactura, generalmente los trabajos realizados en plásticos son los grabados, el material plástico típico utilizado es el PEAD (Poliestireno de Alta Densidad).

Los materiales plásticos como los PEAD son de color blanco, brillante, de fácil limpieza y muy resistentes a la corrosión, se los puede encontrar en espesores de hasta de 10 milímetros y en placas de hasta 1 x 2 metros.



Figura 1.9 Trabajos de manufactura en plástico con Routers CNC.

Además del plástico existen materiales similares como la fibra de vidrio, en la cual se realizan por lo general trabajos de grabado, como se indica en la Figura 1.9, la selección de los útiles dependerán del tipo de manufactura a realizar.

b. Madera.

Este tipo de Routers CNC son diseñados para la manufactura en cualquier tipo de madera o fibra MDF, por lo general se los utiliza en tallados de formas especiales.

Su utilización se ha difundido por el ahorro notable de tiempo que genera y por la productividad que conlleva la manufactura de estilos especiales de tallado en forma fácil.

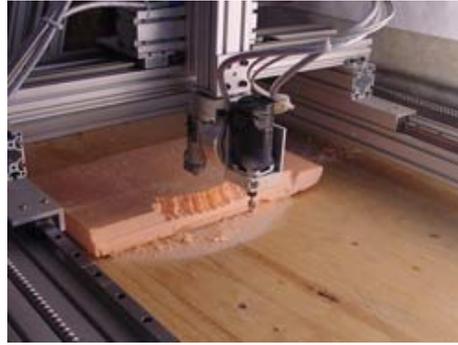


Figura 1.10 Router para manufactura de planchas de laurel.

Para la manufactura en madera, las herramientas de tallado, grabado, lijado, corte, etc., están disponibles en el mercado, un típico trabajo de manufactura en madera se indica en la Figura 1.10, en la cual se puede apreciar que se está haciendo un diseño en los tres ejes X, Y y Z.

c. Metal.

Este tipo de Routers requiere la utilización de diseños más minuciosos en sus partes principales, tanto en el diseño mecánico como en el de control.

Con este tipo de máquina se diseñan las más exigentes formas de tallados y acabados, como la construcción de partes de maquinaria o de automóviles que requieran precisión, etc.

Cada Router es diseñado para trabajar con diferentes tipos de metales, sin tener ningún problema, dependiendo de los trabajos a realizar los Routers CNC pueden construirse de varios tamaños.



Figura 1.11 Router CNC para el diseño de placas PCB.

En la Figura 1.11 se indica un Router CNC cuya mesa es de 500 mm por 500 mm y una altura libre de 100 mm; el cual es utilizado para trabajos de grabado en materiales de espesores mínimos, como en trabajos de grabado de placas conmemorativas y para el diseño de placas PCB para diseños electrónicos.

Para trabajos en planchas metálicas como acero comercial, se requerirá el diseño de Routers CNC más robustos, para que se pueda realizar trabajos de manufactura en este tipo de materiales.

Hay que tomar muy en cuenta que el tipo de material a utilizar debe ser mecanizable, para la obtención de trabajos óptimos y con acabados excelentes.

Los tipos de materiales a utilizar pueden ser aceros maquinables, aluminio, bronce, cobre, aleaciones, etc.

Dependiendo del tipo de trabajo estos Routers CNC pueden realizar trabajos de tallado, corte, acabados, etc., de aquí que en el caso del corte se han implementado Routers CNC cuyas herramientas puedan ser máquinas de corte por chorro de agua, o con arco de plasma como en el caso de la Figura 1.12, en la cual se puede ver el proceso real de corte de una placa de acero.

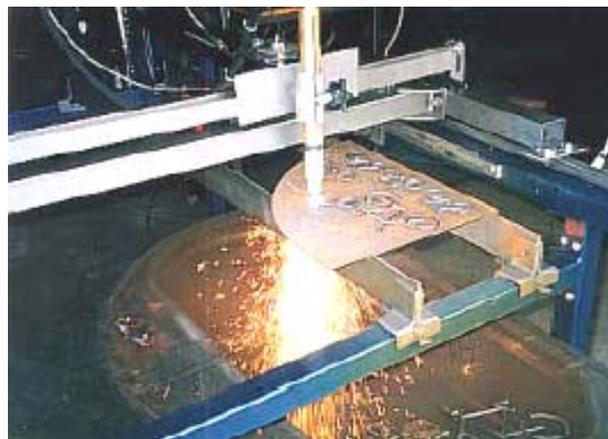


Figura 1.12 Router de corte por arco de plasma.

Dependiendo del diseño, cada Router CNC puede ser construido de diferentes materiales, como por ejemplo de fibras plásticas resistentes, madera, materiales metálicos o de combinaciones de estos.

1.6 FUNDAMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN Y TEORÍA CNC.

Desde el aparecimiento de la computadora, y conjuntamente con ésta, nuevas y modernas teorías de manejo, mejoramiento y producción de nuevos productos, se han dado grandes avances en lo que se refiere al desarrollo de la automatización, tal es el caso, en la actualidad se cuentan con infinidad de recursos, con los cuales la implementación de un sistema automatizado es un aspecto que ya es factible realizar.

La automatización y la teoría CNC buscan la mejora indiscutible del funcionamiento de ciertas máquinas o ciertos procesos, en los cuales se ha visto la necesidad de desarrollo o la necesidad de producción de un cierto producto.

1.6.1 AUTOMATIZACIÓN⁷

La automatización es una técnica que permite el mejoramiento del funcionamiento de una determinada máquina o proceso de producción, de tal manera que se obtenga sus más altos rendimientos y el aumento de la productividad.

La automatización incorpora tres funciones básicas:

- Control automático de la máquina.
- Algún sistema de autorregulación o de realimentación.
- Un manejo coordinado del material.

1.6.1.1 Ventajas de la automatización.

- Mejora la calidad y uniformidad de los productos, minimiza tiempos del ciclo y duraciones, y reduce los costos.
- Mejora la productividad y el control de la producción, reduciendo los costos de manufactura.
- Reduce problemas de operarios, aburrimiento y posibilidades de errores humanos.
- Reduce el daño manual por manipulación que se le puede dar a las piezas a mecanizar.
- Aumenta el nivel de seguridad para el personal, especialmente para los que trabajan bajo condiciones peligrosas y que requieren de mucha precisión.

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n>

- Reduce el espacio físico en la planta de manufactura y el movimiento del material.

1.6.1.2 Automatización industrial.

Se logra programando sobre los controles locales de un sistema las instrucciones de control que se deseen y cerrando los lazos de control precisos, para que los valores de las variables controladas estén dentro del intervalo fijado por las señales de consigna.

Los sistemas automatizados tienen funciones adicionales a las básicas de ejecución de tareas y monitorización del proceso; como la gestión de menús de producción; la toma automatizada de decisiones, generación de históricos, gestión de alarmas, emisión de informes, etc. han de ser atendidas en procesos de cierta complejidad.

Los sistemas digitales que utiliza la informática industrial, son actualmente capaces de implementar sobre la pantalla de un ordenador el control de ciertos procesos con indicadores luminosos, pulsadores, interruptores y aparatos de medida cableados de forma rígida, con altos costes de instalación y mantenimiento.

Existen tres clases muy amplias de automatización industrial:

a. Automatización fija.

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto y se justifica económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas.

b. Automatización programable.

Se utiliza cuando el volumen de producción es de medio a bajo y existe una diversidad de productos a obtener. En este caso el equipo es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto, el cual se realiza a través de un programa (software).

c. Automatización flexible.

Es la más adecuada en la utilización de un rango de producción medio. Éstos poseen características de los dos anteriores.

1.6.2 CONTROL NUMÉRICO (CN).

Es un método que se basa en el manejo de instrucciones alfanuméricas para el control del movimiento de las partes de una máquina, luego de que estas instrucciones sean ingresadas en un panel de control, se interpretan y se transforman en señales eléctricas de salida, las mismas que hacen que los actuadores controlen los movimientos de las partes de la máquina.

Las señales controlan las variables del sistema, como velocidades, alimentación, etc., y varían de acuerdo a la aplicación y a las variantes que se presentan. Esta información es guardada en dispositivos de almacenamiento para su uso posterior.

1.6.3 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)⁸

Se considera **Control Numérico por Computador (CNC)** (en inglés *Computer Numerical Control*) a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real.

Para maquinar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

1.6.3.1 Programación en el control numérico.

Se pueden utilizar dos métodos, la programación manual y la programación automática.

a. Programación manual.

En este caso, el programa pieza se escribe únicamente por medio de razonamientos y cálculos que realiza un operario. El programa de mecanizado comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza.

Al conjunto de informaciones que corresponde a una misma fase del mecanizado se le denomina bloque o secuencia, que se numeran para facilitar su búsqueda. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y

⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n>

funciones tecnológicas del mecanizado. De tal modo, un bloque de programa consta de varias instrucciones.

Esta programación se da en el momento en el que el operario está preparando la máquina CNC para la realización del trabajo, o en el caso de cambio de material, herramienta, etc.

b. Programación automática.

En este caso, los cálculos los realiza un computador, que suministra en su salida el programa de la pieza en lenguaje de máquina. Por esta razón recibe el nombre de programación asistida por computador.

1.6.4 CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN⁹

En sus inicios se desarrollaron varios sistemas de codificación y cada constructor utilizaba el suyo particular. Posteriormente se optó por normalizar estos códigos para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas.

Los caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma DIN 66024 y 66025, son entre otros los siguientes:

- N: es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. En el caso del formato N03, el número máximo de bloques que pueden programarse es 1000, desde N999 a N000.
- X, Y, Z: son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta (planos cartesianos). Dichas cotas se pueden programar en forma absoluta respecto a cero o relativa respecto a una cota.
- G: es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control acerca de la forma, de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.
- M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se utilizan para indicar que la máquina herramienta debe realizar operaciones tales

⁹ <http://www.tecnoedu.com/Denford/GM.php>

como parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc. La dirección “M” va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

- F: es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min.
- S: es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en RPM con cuatro dígitos.
- I, J, K: son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación se realiza en el plano X-Y, se utilizan las direcciones I y J. Análogamente, en el plano X-Z, se utilizan las direcciones I y K, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.
- T: es la dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas.

1.7 ACTUADORES, SENSORES Y ELEMENTOS DE CONTROL.

1.7.1 MOTORES.

Son un tipo de máquinas eléctricas, las cuales transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para accionar diferentes máquinas, mecanismos y dispositivos que son usados en la industria. En Router CNC se utilizan los servomotores y los motores paso a paso.

1.7.1.1 Motores paso a paso¹⁰

Un motor paso a paso es un convertidor electromagnético incremental que transforma pulsos eléctricos en movimientos angulares de un eje. Este movimiento angular, se repite exactamente con cada pulso sucesivo que el circuito de control inyecta al motor. La rotación angular puede ser horaria o antihoraria dependiendo del orden de la secuencia de pulsos aplicados a sus bobinas.

¹⁰ <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Los motores paso a paso poseen una elevada capacidad de posicionamiento. Esta característica los hace ideales para sistemas que requieran un control exacto de dirección, velocidad y posición de un movimiento.

El único error que puede tener este tipo de motor es su propio error de paso que está en el orden del 5% aproximadamente. Este error no se acumula, no depende del ángulo total girado ni del número de veces que se repita la posición final.

Según la construcción de las bobinas del estator, se puede diferenciar entre motores "bipolares" y motores "unipolares"

a. Motor paso a paso bipolar.

Estos motores tienen generalmente cuatro cables de salida como se puede ver en la Figura 1.13. Necesitan ciertos procedimientos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

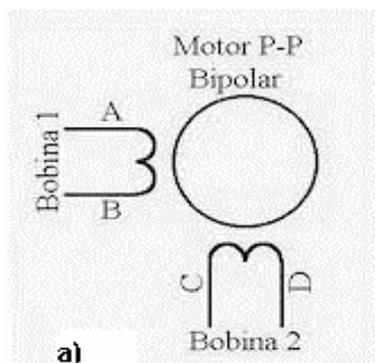


Figura 1.13 Motor a pasos bipolar.

b. Motor paso a paso unipolar.

Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno, un motor de 6 cables se indica en la Figura 1.14: el control de este tipo de motores suele ser más sencillo en comparación al de los motores bipolares.

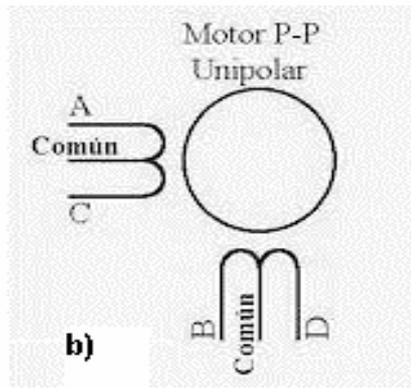


Figura 1.14 Motor a pasos unipolar.

c. Secuencias para manejar motores paso a paso bipolares.

Como se mencionó anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.

A continuación se puede ver la Tabla 1.4 la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo bipolares:

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	0	1	0
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0

Tabla 1.4 Secuencia para controlar motores paso a paso Bipolares.

d. Secuencias para manejar motores paso a paso unipolares.

Existen tres secuencias posibles para el manejo de este tipo de motores, las cuales se detallan en los ítems siguientes. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para invertir el sentido de giro, se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

d.1 Secuencia normal.

Es la secuencia más utilizada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención, su representación binaria se indica en la Tabla 1.5

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

Tabla 1.5 Secuencia normal de control de motores unipolares.

d.2 Secuencia del tipo wave drive.

En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor, su representación binaria se indica en la Tabla 1.6

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Tabla 1.6 Secuencia tipo wave drive de control de motores unipolares.

d.3 Secuencia del tipo medio paso.

En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma que brindan un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero dos bobinas y luego solo una y así sucesivamente. Como se observa en la Tabla 1.7, la secuencia completa consta de ocho movimientos en lugar de cuatro.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Tabla 1.7 Secuencia tipo medio paso de control de motores unipolares.

e. Sistemas de control motores paso a paso.

Para los motores paso a paso, los sistemas de control reciben las consignas del sentido de giro y la velocidad y generan la correspondiente secuencia de impulsos eléctricos para aplicar a los extremos de las bobinas del estator.

Este tipo de motores funcionan en lazo abierto y si los cambios en las secuencias son muy rápidos se originan errores de posicionamiento.

Para realizar el control de los motores paso a paso, es necesario generar una secuencia determinada de impulsos. Además es necesario que estos impulsos sean capaces de entregar la corriente necesaria para que las bobinas del motor se exciten; por lo general, el diagrama de bloques de un sistema con motores paso a paso es el que se indica en la Figura 1.15

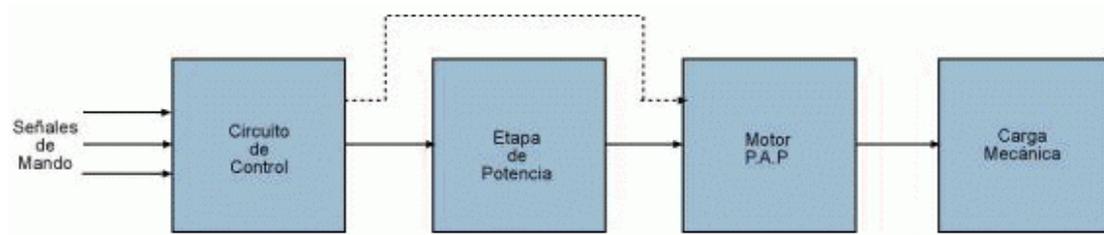


Figura 1.15 Diagrama de bloques de un sistema con motor paso a paso.

1.7.1.2 Servomotor¹¹

Un servomotor es básicamente un motor eléctrico de corriente continua con un gran par, que permite situar su eje de salida en una determinada posición angular, mediante una señal externa de control, su apariencia física se indica en la Figura 1.16



Figura 1.16 Apariencia de un servomotor.

Las características fundamentales que se deben buscar en cualquier servomotor son:

- El par de salida del motor sea proporcional a su voltaje de control aplicado (desarrollado por el amplificador).
- La dirección del par es determinada por la polaridad instantánea del voltaje de control.

Hay dos tipos de servomotores, los de corriente continua y los de corriente alterna.

a. Servomotores de corriente continua¹²

Son motores de alto rendimiento que por lo general se usan como motores primarios en computadoras, maquinaria controlada numéricamente; son de peso ligero, sus tiempos de respuesta van de 5 y 1.5 mS, su apariencia física se indica en la Figura 1.16

Estos servomotores se caracterizan por tener un torque continuo desde 0.4 Nm hasta 30 Nm y están diseñados para proveer confiabilidad y larga vida; los servomotores DC pueden ser de dos tipos, de imán permanente o con escobillas y tipo brushless o sin escobillas.

¹¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>

¹² <http://html.rincondelvago.com/servomotores.html>



Figura 1.16 Apariencia física de un servomotor DC.

a.1 Servomotores de imán permanente.

Estos servomotores están diseñados para soportar las condiciones más arduas de trabajo y exceder los requerimientos del control de movimiento industrial, se caracterizan por ser motores de imán permanente y utilizar escobillas, como se indica en la Figura 1.17

Tienen muchas opciones eléctricas y mecánicas que se ajustan a diferentes aplicaciones, como en tacómetros, máquinas CNC, etc.



Figura 1.17 Servomotor DC con escobillas.

a.2 Servomotores de aeromodelismo.

Son motores pequeños, de torques bajos, su conexión se realiza mediante tres cables, dos de alimentación y el tercero de control. La señal de control es una PWM de frecuencia variable, con la cual se controla la velocidad y posición del servomotor, variando el ancho del pulso de dicha señal de control.

Fabricante	Terminal Positivo	Terminal Negativo	Entrada de señal
Hitec	Rojo	Negro	Amarillo
Futaba	Rojo	Negro	Blanco
JR	Rojo	Marrón	Naranja
Airtronics	Rojo	Negro	Naranja
Fleet	Rojo	Negro	Blanco
Kraft	Rojo	Negro	Naranja

Tabla 1.8 Colores de los terminales para algunas marcas comerciales.

En la Tabla 1.8 se indica la descripción de los terminales de conexión de los servomotores de ciertas marcas utilizadas especialmente en aeromodelismo.

a.3 Servomotores brushless.

Son un tipo de servomotores de corriente continua sin escobillas, se caracterizan por tener una vida útil muy elevada, elevado rendimiento, una gama elevada de revoluciones, una densidad de potencia elevada, están libres de mantenimiento.

Su construcción es robusta, incluyen sensores de efecto hall o encoder absolutos para la detección de la posición del rotor, tienen un bajo momento de inercia, su apariencia física se indica en la Figura 1.18, su costo es elevado.

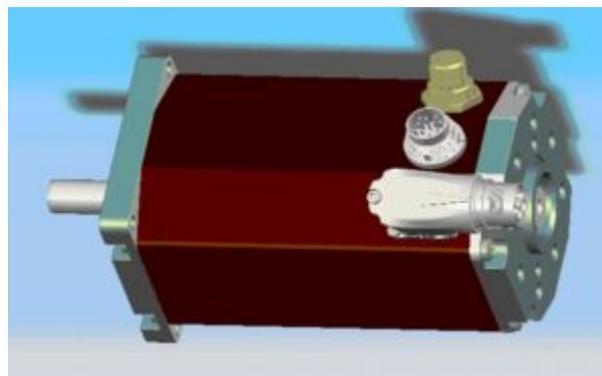


Figura 1.18 Apariencia de un servomotor DC Brushless.

b. Servomotores de corriente alterna.

Estos servomotores poseen un par de impulso muy elevado, el ancho de banda de potencia amplio mediante un margen de par constante de parada de 0,34 hasta 50 Nm; su control se realiza a través de drives por lo general industriales; los servomotores de corriente alterna pueden ser de dos tipos, síncronos y brushless.

b.1 Servomotor AC síncrono.

Estos servomotores tienen una alta densidad de potencia y permiten un accionamiento y un posicionamiento exactos, están dotados de un sistema de encoder absoluto que permite una sintonización automática de los parámetros del motor y del regulador de corriente. Esto simplifica en gran medida la puesta en marcha del sistema de accionamiento, su apariencia se indica en la Figura 1.19



Figura 1.19 Servomotor AC síncrono Schneider Electric Motion.

b.2 Servomotor AC brushless.

En este tipo de servomotor el control de velocidad y posición se la realiza mediante drives con conmutación sinusoidal; se utilizan en ambientes industriales, su costo de adquisición es elevado, su apariencia física se indica en la Figura 1.20



Figura 1.20 Servomotor AC brushless.

1.7.2 SENSORES¹³

Los sensores utilizados en sistemas de automatización y control CNC se dividen en:

- Sensores de proximidad.
- Sensores de presencia.
- Sensores de posición angular.

1.7.2.1 Sensores de Proximidad.

Éstos detectan la presencia de un objeto dentro de un radio de acción. Esta detección puede hacerse con o sin contacto con el objeto, estos sensores son:

a. Sensores ultrasónicos¹⁴

Como se indica en la Figura 1.21, el sensor envía una señal que rebota en el objeto y retorna al receptor, activando una salida; el mismo transductor se utiliza para la transmisión y la recepción, es necesario un amortiguamiento rápido para detectar objetos a pequeña distancia.

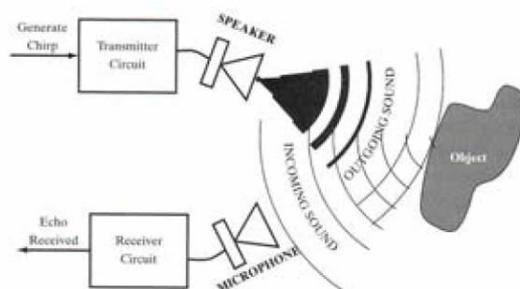


Figura 1.21 Funcionamiento de un sensor ultrasónico.

Se utilizan para la medición de distancias en una variación del mismo como sensor de proximidad, mapeado (detección de todos los objetos más próximos alrededor de él), en robótica, controles de nivel, etc.

¹³ http://www.schillig.com.ar/Sensores_de_Proximidad_fr.htm

¹⁴ http://www.otocoup.com.ar/complte_pro%20d_ak.htm

b. Sensores ópticos¹⁵

En este caso una luz infrarroja se envía y rebotará sobre la superficie reflectante del objeto y es captada por un receptor. Los sensores ópticos pueden ser de tipo:

- Sensor fotoeléctrico de barrera.
- Sensor fotoeléctrico de tipo reflex.

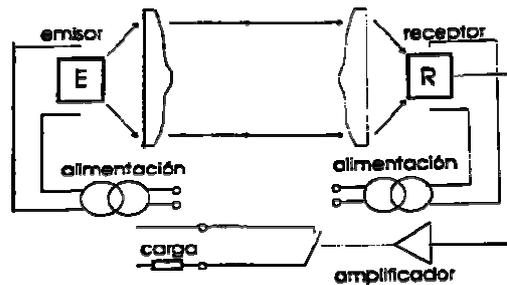


Figura 1.22 Sensor fotoeléctrico de barrera.

En la Figura 1.22 se indica un sensor fotoeléctrico de barrera, en el cual el emisor suele ser un diodo emisor de luz y el receptor está constituido por un fototransistor o un fotodiodo.

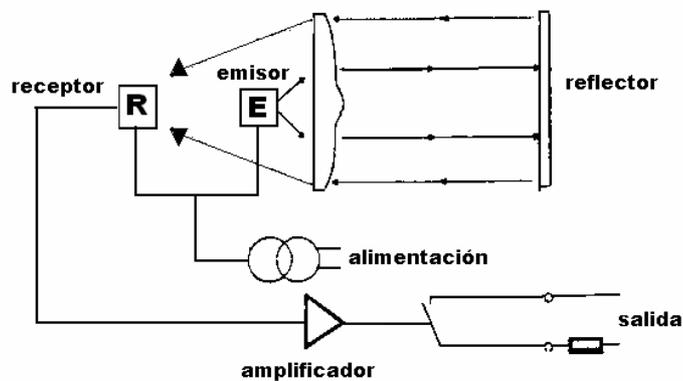


Figura 1.23 Sensor fotoeléctrico de tipo reflex.

En la Figura 1.23 se indica un sensor de tipo reflex, en el cual el emisor y receptor se concentran en un solo bloque; su instalación es más sencilla pero dispone de una menor distancia de detección que el de barrera, se utilizan en el control de procesos en ambientes limpios.

¹⁵ <http://www.imm.cnm.csic.es/castell/memoria2000/l6.pdf>

1.7.2.2 Sensores de Contacto¹⁶

Son los que entran en contacto físico con el objeto a detectar, se dividen en:

a. Sensores binarios.

Son los conocidos microinterruptores, limit switch, interruptores de botón, etc. tales que cuando entran en contacto con la parte móvil de la máquina CNC u objeto, posibilitan abrir o cerrar algún tipo de circuito de control. Son de bajo coste y son recomendados en sistemas de precisión, sus formas más comerciales se indican en la Figura 1.24

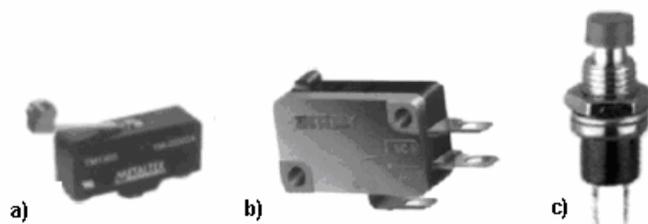


Figura 1.24 Limit Switch (a), Microinterruptor (b), Interruptor de botón (c).

1.7.2.3 Sensores analógicos¹⁷

Estos sensores ofrecen una señal de salida proporcional a una fuerza local en la entrada al sensor. Se utilizan en sistemas de detección táctil, en sistemas de robótica, se clasifican en Inductivos, de Efecto Hall o de Lengüeta y Capacitivos, cada uno de estos se detalla a continuación.

a. Sensores inductivos.

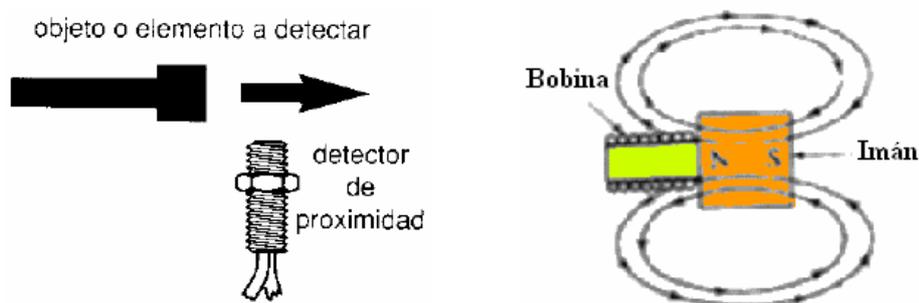


Figura 1.25 Sensores Inductivos.

¹⁶ http://www.industrialtec.com/viewtisensor.php?t=3164&star=0&=_fr.htm

¹⁷ <http://www.detectsystems.com/info/sen%20step=45.php>

Como se indica en la Figura 1.25, éstos detectan objetos metálicos, no entran en contacto físico; se basan en una bobina arrollada la cual se encuentra junto a un imán permanente empaquetado en una capsula, se utilizan en bandas transportadoras y control de máquinas en industrias en general.

En condiciones estáticas no hay cambios en las líneas de flujo, cuando un objeto ferromagnético entra en el campo se induce un impulso de corriente, cuya amplitud y forma son proporcionales a la velocidad de cambio en el flujo.

b. Sensores de Efecto Hall o de Lengüeta.

Estos sensores detectan cuerpos magnéticos al combinarlos con un imán permanente. Cuando el material entra en el campo de acción del detector, el campo magnético se debilita y esta variación es captada. Se utilizan en las nuevas tecnologías de control de posición para servomotores DC brushless, su aspecto básico se indica en la Figura 1.26

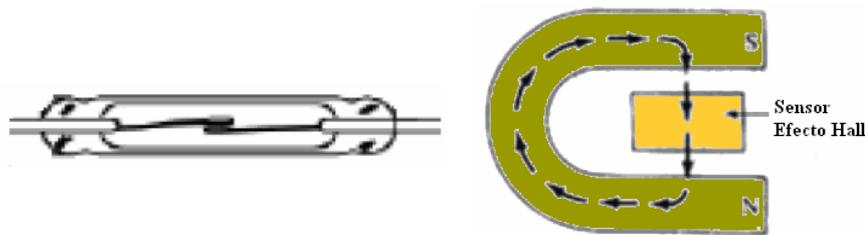


Figura 1.26 Sensor de Efecto Hall.

c. Sensores Capacitivos.

Estos sensores detectan cualquier tipo de materiales sólidos y líquidos. Se basan en la detección de un cambio de capacidad inducida por una superficie que se lleva cerca del elemento sensor. Se utilizan en la detección de nivel, control de humedad, etc., su apariencia física se indica en la Figura 1.27



Figura 1.27 Sensor capacitivo de la firma VariKont.

1.7.2.4 Sensores de posición angular¹⁸

Este tipo de sensores tienen la función de detección de la posición angular en servomotores y en sistemas de control rotatorio, pueden ser de dos tipos, digitales y analógicos, cada uno de estos se detalla a continuación.

a. Sensores Digitales “Encoders”

Como se indica en la Figura 1.28, un encoder consta de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, para codificar un desplazamiento en una salida discreta, y un LED que envía un haz de luz que atraviesa el disco codificado hasta el LED receptor. Al llevar una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje.

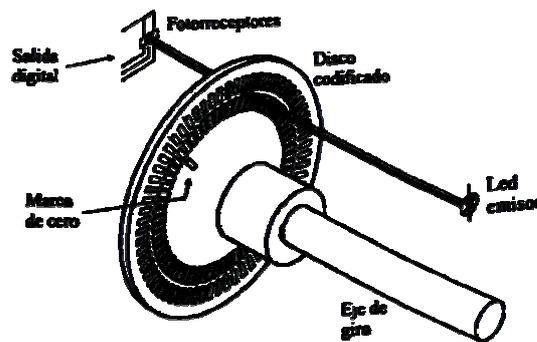


Figura 1.28 Partes de un encoder básico (incremental o relativo).

a.1 Tipos de encoders.

Los encoders pueden ser de tipo incrementales o relativos y encoders absolutos, cada uno de estos se detalla a continuación.

a.1.1 Encoders Incrementales (Relativos).

En este encoder los pulsos generados son acumulados en un contador y el contaje es la indicación del desplazamiento, el punto de origen puede fijarse o programarse en el dispositivo de lectura. Se utilizan para el control de servomotores.

¹⁸ <http://www.cnczone.com/forums/member.php?u=servotutorial=22249>

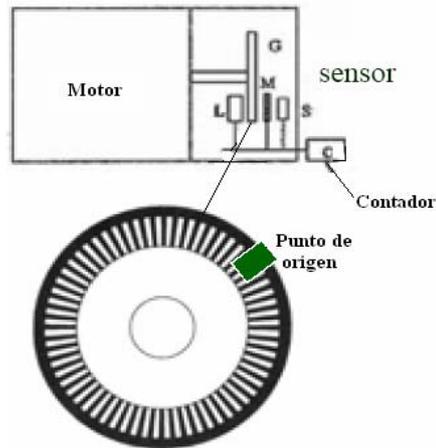


Figura 1.29 Conexión de un encoder incremental o relativo.

En la Figura 1.29 se indican las partes principales de un encoder incremental, un disco ranurado que va entre emisor y receptor del sensor óptico, y todo el encoder se acopla en la parte posterior del servomotor.

En el caso de un fallo en el suministro eléctrico, cuando se reinician es necesaria la activación de un periodo especial de puesta en marcha de dicho sistema para que los encoders regresen a su posición inicial.

a.1.2 Encoders Absolutos.

Estos encoders no necesitan de un periodo de reinicio en caso de corte del fluido eléctrico. Se utilizan en el control de servomotores, los discos ranurados son los que se indican en la Figura 1.30.

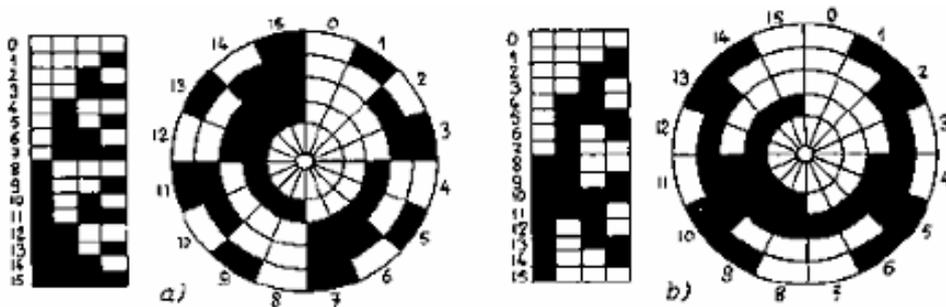


Figura 1.30 Disco en código binario y disco en código gray (b).

Su funcionamiento es muy similar al de los incrementales. Los sectores de división representan la potencia de dos y cada serie de señales se codifica en código binario o gray, y cada serie de código tiene su equivalente en decimal según la Tabla 1.9

Código Decimal	Código Binario	Código Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101

Tabla 1.9 Equivalencia entre Códigos Decimal, Binario y Gray.

b. Sensores Analógicos.

Este tipo de sensores utilizan una señal analógica para obtener la posición del elemento giratorio, son más exactos que los encoders pero su costo también es mayor, y pueden ser de dos tipos, los resolvers o captadores angulares de posición y los sincro resolver, cada uno de estos se detalla a continuación.

b.1 Resolvers (Captadores angulares de posición).

Los resolvers son otra alternativa a los encoders. Se basan en la utilización de una bobina solidaria al eje excitada por una portadora, generalmente con 400Hz, y por dos bobinas fijas situadas a su alrededor. El giro de la bobina móvil hace que el acoplamiento con las bobinas fijas varíe, consiguiendo una señal que se utiliza para el control de giro del motor.

La señal de salida debe ser convertida a digital por medio de convertidores resolver/digital, por lo que lo hace un sistema más caro pero de precisión, las partes principales de un resolver se indican en la Figura 1.31 y la disposición del conexionado de las bobinas se indica en la Figura 1.32

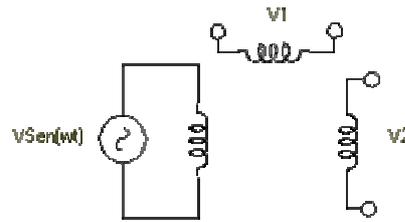
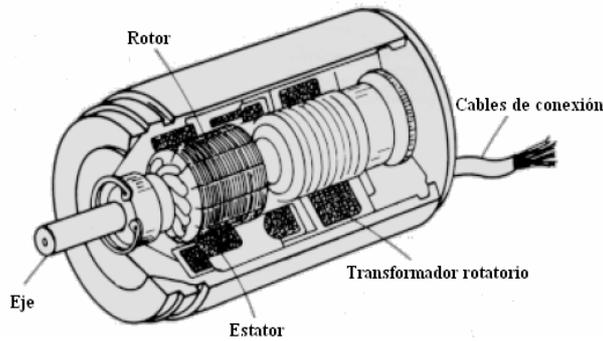


Figura 1.31 Partes de un resolver.

Figura 1.32 Sistema de bobinas.

b.2 Sincro Resolver.

El funcionamiento de éstos elementos es análogo al de los resolvers, excepto que las bobinas fijas forman un sistema trifásico en estrella tal como se indica en la Figura 1.33

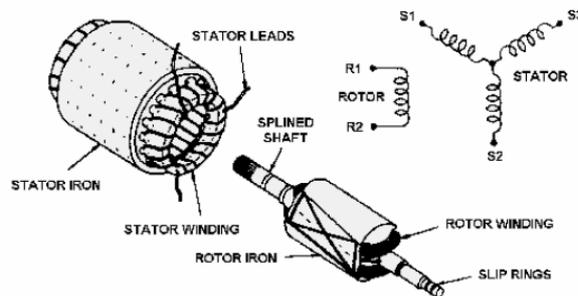


Figura 1.33 Constitución interna de un Sincro – Resolver.

Las ventajas de estos son su robustez mecánica durante el funcionamiento y su inmunidad a la contaminación, humedad, altas temperaturas y vibraciones, imponen poca carga mecánica al funcionamiento del eje. Se utilizan en líneas de producción de máquinas de precisión.

CAPITULO 2

DISEÑO Y SELECCIÓN.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DEL ROUTER CNC¹⁹

2.1.1 SISTEMA MECÁNICO.

El sistema mecánico lo constituyen las estructuras que forman parte del Router CNC, en las cuales van acoplados los diferentes sistemas de guiado, sistemas de transmisión de potencia, actuadores, sensores, etc., que serán seleccionados en las secciones siguientes.

Las estructuras o carros X, Y y Z se indican en la Figura 2.1 y se nombran de esta forma porque su movimiento se da a lo largo de los ejes X, Y y Z respectivamente; cabe indicar además que en Routers CNC pequeños es recomendable que el movimiento en el eje Y lo realice la mesa de trabajo por cuanto la carga que va a soportar será pequeña; y en Routers CNC de mayor tamaño se recomienda que el movimiento en el eje Y lo realiza el carro X; dado que su peso será menor al del material situado en la mesa.

¹⁹ <http://es.geocities.com/aerogallecs/Routersupport.htm>

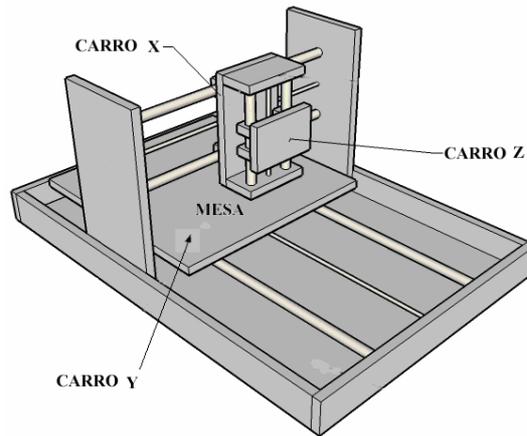


Figura 2.1 Estructuras móviles de un Router CNC.

2.1.1.1 Mesa de trabajo.

La mesa de trabajo es el lugar de alojamiento de la materia prima, sobre la cual se realizará el proceso de manufactura; el tipo de mesa de trabajo varía según su aplicación, en la Figura 2.2 se indica una mesa de tipo ranurada para procesos de tallado y en la Figura 2.3 una mesa para realizar trabajos de corte; los criterios de selección se indica en la Sección 2.2.7



Figura 2.2 Mesa de trabajo ranurada.

Figura 2.3 Mesa de trabajo para corte.

2.1.1.2 Herramienta.

El tipo de herramienta irá de acuerdo al proceso de manufactura, para procesos de tallado especialmente en madera se utiliza un TUPI como herramienta específica para el efecto, en el caso de procesos de corte se utilizan cortadoras por arco de plasma, cortadoras láser o cortadoras por chorro de agua.

La herramienta siempre estará ubicada en la base móvil del carro Z, un ejemplo de un tipo de Tupí acoplado en el carro Z se indica en la Figura 2.4



Figura 2.4 Herramienta de tallado para Router CNC.

2.1.1.3 Sistema de guías.

El sistema de guías tiene por objeto darle estabilidad a las estructuras móviles del Router CNC, permitiendo sus desplazamientos en forma continua, sin vibraciones, desvíos o atascamientos que perjudiquen al proceso de manufactura.



Figura 2.5 Sistema de guiado por ejes.

Los sistemas de guiado para Routers CNC pueden utilizar ejes guías como en el caso de la Figura 2.5; o sistemas especiales de guiado, los detalles de selección para cada uno de éstos se detallan en la sección 2.2.2

2.1.1.4 Sistema de transmisión de potencia.

El sistema de transmisión de potencia es el que genera el desplazamiento de los carros X, Y y Z, para el efecto se utilizan tornillos de potencia, husillos a bolas y cremalleras, las características para la selección de cada uno se ubica en la sección 2.2.3

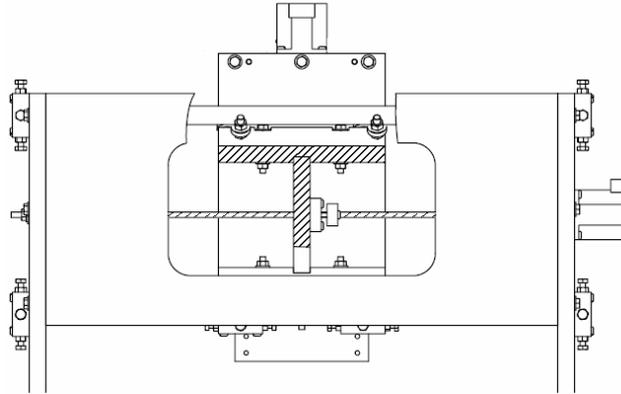


Figura 2.6 Transmisión por tornillo de potencia, eje X.

En la Figura 2.6 se indica el acople de un tornillo de potencia, el cual está incorporado conjuntamente y en forma paralela con el sistema de guiado.

2.1.1.5 Sistema de extracción de viruta.

El sistema de extracción de viruta elimina del ambiente de trabajo el material que es desprendido durante la manufactura, y evita que este material sea inhalado por el operador o que alguna viruta sea disparada hacia éste, causándole daños en su salud; los criterios de selección se indican en la sección 2.2.5

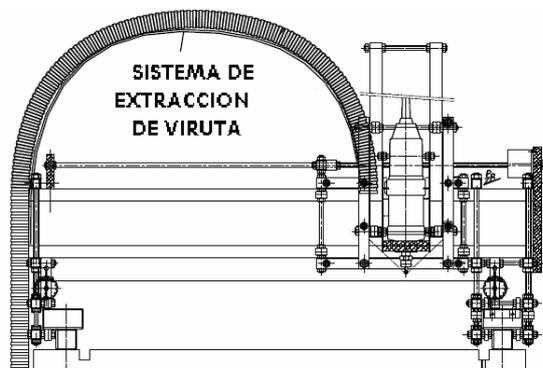


Figura 2.7 Sistema de extracción de viruta independiente.

En la Figura 2.7 se indica un sistema de extracción de viruta independiente, en el cual el material es concentrado alrededor del útil de tallado y posteriormente es aspirado hasta un sistema de almacenamiento.

2.1.1.6 Sistema de sujeción.

Los elementos de sujeción se detallan en el capítulo uno, éstos son los más utilizados para trabajos en madera, y se adaptan muy bien a las condiciones de trabajo y al tipo de mesa de sujeción seleccionada.

2.1.2 SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control es el que se indica en la Figura 2.8, en la cual se considera una etapa de control ubicada en la PC para comandar al Router CNC mediante Software, una etapa de potencia ubicada en los actuadores y elementos de control de posición que permiten el movimiento de los carros y una interface que permite la unión de las dos etapas anteriores mediante el uso de buffers u optoacopladores.

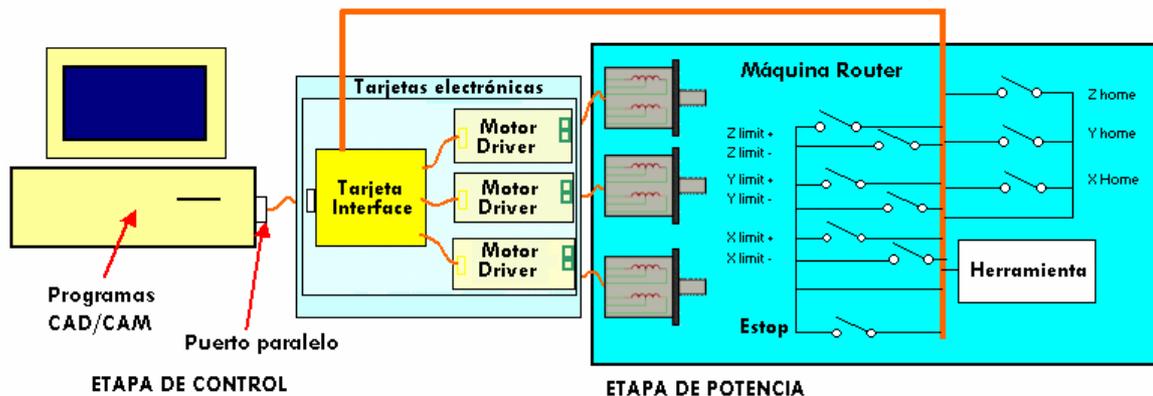


Figura 2.8 Sistema de control del Router CNC.

2.1.2.1 Etapa de control.

Esta etapa la conforman los programas CAD/CAM que están instalados en una PC; en los programas CAD se realizan los diseños de manufactura; y en los programas CAM estos diseños son transformados en códigos G, y son enviados a la etapa de potencia a través del puerto paralelo mediante señales eléctricas.

2.1.2.2 Etapa de potencia.

En la etapa de potencia se ubica la herramienta que realiza el tallado; los actuadores o motores que generan el movimiento y que son controlados a través de drives; y los elementos de control de posición de los carros X, Y, Z, ubicados en el Router CNC, que realizan el control de la posición inicial, final y el paro de emergencia.

2.1.2.3 Tarjeta interface.

Es la que se encarga del acoplamiento entre las etapas de control y potencia, dependiendo de la tecnología utilizada, el acoplamiento puede hacerse mediante buffers o acoplamiento directo, o mediante optoacopladores logrando un aislamiento físico y la protección de la etapa de control en el caso de alguna retroalimentación desde la etapa de potencia, durante algún evento de falla.

El acoplamiento con buffers como el 74LS245 o el 74HC244 es directo, con éstos es necesario tener mayor precaución durante el conexionado, sus costos son reducidos comparados con los optoacopladores y la tarjeta interface puede construirse sin mayores complicaciones.

2.1.2.4 Funcionamiento del sistema CNC.

En los programas CAD se realizan los diseños de manufactura, se los guarda generalmente con las extensiones DXF, HPGL, etc., que se importan desde los programas CAM y éstos generan los archivos de extensiones TAP, que contienen las trayectorias que seguirá la herramienta durante el proceso de manufactura; estas trayectorias se representan mediante códigos G, que son enviados en forma de señales eléctricas desde la PC al Router CNC a través del puerto paralelo e interface; dichas señales eléctricas de control son:

Step. Es una señal de reloj de frecuencia variable, que lleva los pasos que controlan el movimiento de los actuadores para completar una distancia de tallado.

Dir. Es una señal de dirección; en el caso de ser de uno o cero lógico se puede hacer girar al actuador en forma horaria o antihoraria, según la configuración en el programa CAM.

Común. Es una señal fija que puede ser 5VDC o GND según los requerimientos de conexionado del drive.

Todas estas señales son recibidas por los drive, y con éstas se realiza el control de los actuadores, ya sean servomotores o motores paso a paso.

2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL SISTEMA MECÁNICO.

2.2.1 MATERIALES.

La utilización de ciertos materiales afectará directamente la vida útil del Router CNC, es por eso que se ha dispuesto la adquisición de materiales utilizados en máquinas herramientas, para tener un Router CNC de calidad.

2.2.1.1 SAE1045.

Es un material que tiene una buena resistencia a esfuerzos de flexión, por sus cualidades y alta resistencia a la tensión, es útil en aplicaciones en la que se necesite rigidez, es de fácil maquinado, se comercializa en forma de planchas y ejes, se utiliza especialmente en pernos y en partes de máquinas herramientas.

2.2.1.2 Acero plata (K-510 de Aceros Bohler).

Es un acero especial para máquinas herramienta, es utilizado en ejes roscados de gran longitud, piñones y piezas en donde se requiere una superficie dura y un núcleo tenaz, soporta grandes cargas y desgates, aunque para una mejor conservación del material se suele realizar tratamientos térmicos para mejorar su nivel de resistencia a la flexión.

2.2.1.3 Nylon A6/6.

Es una poliamida con excelentes cualidades; la dureza, la capacidad de amortiguación de golpes, ruidos y vibraciones, es ideal para la construcción de engranajes, cremalleras, perfiles, excéntricos, piñones, soportes de partes especiales, etc., su apariencia física se indica en la Figura 2.9, generalmente son de color blanco a amarillo siendo este último de mayor calidad.



Figura 2.9 Apariencia del Nylon A6/6.

2.2.1.4 Fundición de Aluminio AA2024.

Es producido a partir de la fundición de láminas, barras o tubos, es resistente a la flexión, se utiliza en partes de máquinas móviles por su bajo peso y alta rigidez, es fácil de maquinar.

2.2.1.5 Acero DF2.

Es un tipo de acero al carbono, de altas características de rigidez especialmente en longitudes mayores de 2 metros; es excelente para trabajos de maquinado, se puede encontrar en dimensiones exactas, sus características generales son cercanas a las del acero K-510.

2.2.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

Para Routers CNC los sistemas de transmisión de movimiento más utilizados son por tornillos de potencia, por husillos a bolas y por cremallera, como se detalla a continuación.

2.2.2.1 Transmisión de movimiento por tornillos de potencia.

Es un sistema de transmisión de movimiento muy utilizado en maquinaria; al accionarse, produce el desplazamiento lineal en los diferentes carros de fresadoras, tornos y máquinas herramienta, su precisión depende de la calidad de fabricación.



Figura 2.10 Tornillo de rosca trapecial.

El tipo de rosca es diferente al de los tornillos normales, tienen un paso muy grande; su perfil puede ser de rosca redonda (husillos a bolas); rosca cuadrada utilizada en tornillos de banco, mordazas, etc.; y rosca trapecial ACME como la que se indica en la Figura 2.10, la cual es utilizada generalmente en máquinas que soportan grandes esfuerzos, como prensas, máquinas herramienta, etc.

2.2.2.2 Transmisión de movimiento por husillos a bolas.

Los husillos a bolas son similares a los tornillos de potencia, con la diferencia que en éstos se elimina completamente la fricción y la precisión es realmente exacta, la apariencia de éstos se indica en la Figura 2.11



Figura 2.11 Transmisión de movimiento por husillos a bolas.

Ciertas empresas especializadas en la fabricación y utilización de husillos a bolas proporcionan la Tabla 2.1, para dimensionar la longitud del husillo a partir de su diámetro, y recomiendan utilizar cremalleras para la transmisión de movimiento en el caso de que la longitud de movimiento sea mayor a 5000 mm.

DIAMETRO DEL EJE	LARGO MAXIMO
16	500 mm
20	1400 mm
25	2100 mm
30	3000 mm
35	3700 mm
40	4100 mm
45	5000 mm

Tabla 2.1 Longitud del husillo a bolas a partir de su diámetro.

2.2.2.3 Transmisión de movimiento por cremallera.

Este sistema de transmisión de movimiento consiste en una barra considerada como un engranaje de diámetro infinito de diente recto o helicoidal acoplada a una rueda dentada, con este acoplamiento se obtiene el movimiento lineal requerido; dos variantes de cremalleras son las que se indican en la Figura 2.12

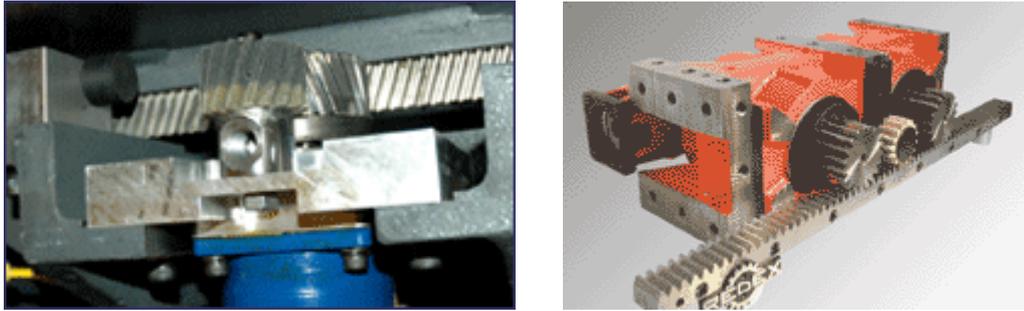


Figura 2.12 Tipos de cremalleras helicoidales.

Las cremalleras son utilizadas en máquinas CNC de longitudes mayores a 5000 mm por facilidad de construcción; sin embargo se hacen necesarios dos sistemas iguales, a cada lado de la estructura para tener continuidad de movimiento, lo que encarece el sistema; pueden adquirir velocidades hasta cinco veces las de los husillos, su lubricación es sencilla.

Según las características de los sistemas de transmisión mencionados y la longitud necesaria para el proceso de manufactura, se seleccionan husillos a bolas para la construcción del Router CNC.

2.2.3 SISTEMAS DE GUÍAS.

Los sistemas de guías propuestos para sistemas CNC son los ejes guías y los sistemas especiales de guiado, cada uno se detalla a continuación.

2.2.3.1 Ejes guías.

Los ejes guías pueden ser macizos, en el caso del manejo de grandes cargas; y ejes huecos o tubos, si la carga a manejar es ligera o las dimensiones del Router CNC son reducidas; los elementos que permiten el desplazamiento de los carros correspondiente a los ejes X, Y y Z son los bocines, rolineras, rodamientos circulares y rodamientos lineales.



Figura 2.13 Sistema de guiado por ejes.

En la Figura 2.13 se indica un sistema de guiado por ejes en los carros X y Z, además se utiliza un sistema de acople por rodamientos lineales, con lo cual se obtiene un eficiente funcionamiento del Router CNC.

a. Sistema de guiado por bocines.

Los bocines se utilizan en la mayoría de las máquinas herramienta e industriales en general, permite el deslizamiento de estructuras móviles a través de ejes guías, su desventaja es su nivel de fricción; se construyen de bronce por su alta resistencia a la fricción.



Figura 2.14 Bocines de deslizamiento.

En la Figura 2.14 se indica la apariencia de los bocines, los cuales están construidos de bronce y hierro fundido, que son los materiales comúnmente utilizados en este tipo de elementos por su bajo nivel de fricción.

b. Sistema de guiado por rolineras.

Estos elementos se deslizan en base a un rodamiento circular acoplado en su interior, y la superficie de contacto con los ejes guías es de una forma especial, como se indica en la Figura 2.15, para un acople lo más eficiente posible.

El nivel de fricción es mínimo, sin embargo las superficies de contacto tienden a desgastarse con el tiempo; su sistema de ajuste y calibración debe realizarse con cuidado para evitar desviaciones o vibraciones de las estructuras móviles.



Figura 2.15 Sistema de guiado por rolineras.

c. Sistema de guiado por rodamientos circulares.

Este sistema de guiado en ejes utiliza rodamientos circulares que están directamente en contacto con los ejes guías, su forma de acople se indica en la Figura 2.16

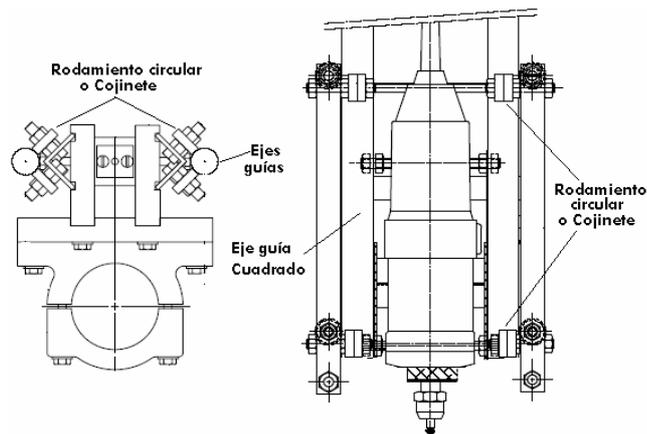


Figura 2.16 Sistema de guiado por rodamientos circulares en un carro Z.

Se puede utilizar ejes guías redondos o tubos cuadrados; el nivel de fricción es mínimo; su desventaja es la complicación durante su calibración por eso se exige una óptima construcción de los elementos mecánicos para evitar desviaciones o atascamientos en lo posible.

d. Sistema de guiado por rodamientos lineales.

Este sistema de guiado lineal es muy eficiente, por cuanto el eje guía se encuentra directamente acoplado con los rulimanes, que son los que se deslizan a través del mismo para producir el movimiento lineal.

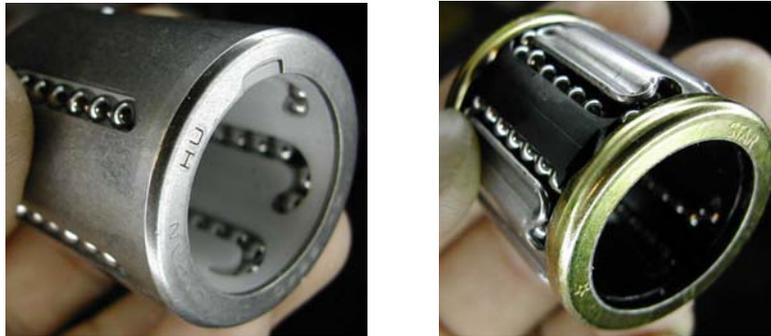


Figura 2.17 Sistema de guiado por rodamientos lineales.

En la Figura 2.17 se indica la apariencia de un rodamiento lineal, en el que se puede ver que los rulimanes están dispuestos de tal forma que recirculan en un canal cerrado, produciendo el movimiento lineal deseado; en estos elementos el nivel de fricción producido es prácticamente nulo, el proceso de montaje y calibración es relativamente fácil, son elementos fáciles de adquirir.

2.2.3.2 Sistemas especiales de guiado.

Son sistemas de guiado que utilizan elementos de rodadura que anulan al mínimo la fricción y hacen mucho más eficiente el trabajo de manufactura. Sus costos de adquisición son elevados.



Figura 2.18 Router CNC con un sistema de guiado especial.

Un tipo de estos sistemas es el de guías con patines, el cual se indica en la Figura 2.18. Por lo general se utilizan en maquinaria de precisión, gracias a su carrera ilimitada; pueden ser

adaptadas a cualquier movimiento lineal. Constan de una guía con anillos de rodadura rectificadas.

Según las características mencionadas, se selecciona para el Router CNC, un sistema de guiado por ejes y como elementos de acople a los rodamientos lineales, con lo cual se tendrá un movimiento en los tres ejes muy eficiente.

2.2.4 SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA.

La selección de la herramienta depende del tipo de trabajo a realizar, en el tallado de puertas la herramienta apropiada comercialmente es el Tupí, en el mercado existe una variedad de marcas como DeWalt, Perles, Bosch, y Black & Decker, cuyas potencias varían entre 1/2HP hasta 4 o 5 HP. La justificación de la selección de las características de potencia y velocidad del Tupí se indica en la Sección 2.3.5



Figura 2.19 Tupí industrial Dewalt 1 3/4HP.

En la Figura 2.19 se indica la apariencia del Tupí seleccionado para el Router CNC, los útiles de fresado son comúnmente utilizados y se encuentran disponibles en el mercado. El detalle de éstos se indica en la sección 1.2.

2.2.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTA.

En ciertos modelos de Tupí el sistema de extracción de viruta puede venir incorporado en el mismo, como una cubierta que recubre al útil del Tupí y aprovecha la velocidad del mismo para conducir la viruta por conductos hasta recipientes de almacenamiento.

En sistemas de extracción independientes, la viruta es concentrada alrededor del útil de tallado y posteriormente es extraída mediante un sistema de aspiración, es un sistema más eficiente.

Según estas características se selecciona un sistema independiente de extracción de viruta, el cual es fácil de adquirir y acoplar al Router CNC.

2.2.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO DE ÚTIL.

El sistema de intercambio de útil puede ser en forma manual utilizando un mandril o un sistema de intercambio rápido como el que se indica en la Figura 2.20 en el cual todos los útiles se acoplan en bases en forma de cono, los que pueden ser cambiado con facilidad, y en forma automática utilizando sistemas especiales en los cuales se intercambia el útil para cada trabajo de tallado de forma automática.



Figura 2.20 Sistema de intercambio rápido de herramienta.

Dado que en el Router CNC solo se necesitará un cambio de dos o tres útiles como máximo, se utilizará un sistema de intercambio de útil manual, por ser un sistema fácil de utilizar y el tiempo de cambio es relativamente corto.

2.2.7 SELECCIÓN DE LA MESA DE TRABAJO.

La selección de la mesa de trabajo depende del tipo de manufactura a realizar, existe tres tipos de mesas de trabajo, las cuales se describen a continuación.

2.2.7.1 Mesa de posicionamiento ranurada.

Es ideal para trabajos de manufactura en madera, fibras y metal, en ésta la materia prima es fijada en la mesa para evitar movimientos que causen errores de fabricación, se la puede construir en grandes dimensiones, se puede fabricar de MDF para trabajos en madera o de acero para trabajos de fresado y matricería.



Figura 2.21 Mesa de posicionamiento ranurada.

En la Figura 2.21 se indica un tipo de mesa de posicionamiento ranurada, con la cual se podrá fijar el material en cualquier espacio de ésta y tener un ajuste óptimo.

2.2.7.2 Mesa para corte.

La mesa de corte se utiliza en sistemas CNC para corte por plasma, láser, por chorro de agua, etc., para la manufactura de planchas de acero o algún otro tipo de material metálico; ya que por el desprendimiento de material fundido durante el corte, es necesario mantener un espacio para la libre caída del desalojado.



Figura 2.22 Mesa de corte por plasma de alta precisión.

En la Figura 2.22 se indica una típica mesa para corte, en la que se puede ver el espacio libre que se deja para la manufactura, y en la cual el material solo puede ser fijado por sus extremos.

2.2.7.3 Mesa tipo plataforma.

Este sistema tiene una excelente precisión, y permite el libre montaje de planchas de material de diferentes dimensiones, tiene un brazo (eje Y) sostenido en una base principal (eje X), este brazo además lleva el mecanismo de movimiento del eje Z.

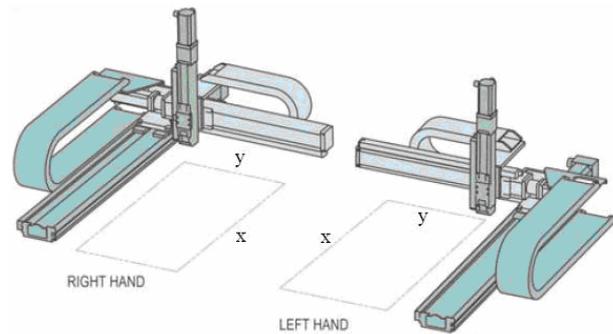


Figura 2.23 Plataforma de posicionamiento en los tres ejes X, Y y Z.

En la Figura 2.23 se indica la apariencia de este tipo de mesa, su forma permite el posicionamiento de las estructuras móviles como se desee, por lo general este sistema se construye en grandes dimensiones.

Según las características mencionadas se selecciona para el Router CNC una mesa de trabajo ranurada, en la cual se podría alojar el tablero de MDF con seguridad y realizar el tallado sin dificultad.

2.2.8 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUJECIÓN.

El sistema de sujeción depende del diseño de la mesa de trabajo, los elementos de sujeción pueden ser tornillos de prensado o grapas, con los que se podrá fijar el material desde sus bordes y evitar su contacto con el útil, los detalles de construcción del sistema de sujeción seleccionado se indica en el Anexo A.

En la Figura 2.24 se indica un típico sistema de sujeción por tornillo de prensado y tuerca tipo mariposa, éste es un sistema eficiente y es el que se selecciona para el Router CNC.

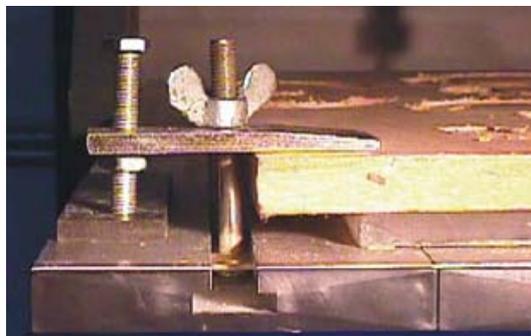


Figura 2.24 Sujeción por tornillo de prensado.

2.2.9 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ACOPLE ACTUADOR – HUSILLO.

Puede hacerse en forma directa, por engranajes, bandas o cadenas; todo dependerá de las necesidades de velocidades, torques, precisión y tipo de motor que se necesite.

El acople directo se utiliza en motores a pasos, por sus velocidades bajas; un acople con engranajes para disminuir la velocidad y aumentar el torque en el caso de servomotores, un acople por bandas o cadenas en Routers CNC de grandes dimensiones, aunque por lo general éstas son propensas a mayores desgastes.

En la Figura 2.25 se indica un sistema de actuador - husillo por medio de cadenas, éste es un sistema que brinda una gran transmisión de potencia pero el nivel de precisión es bajo.

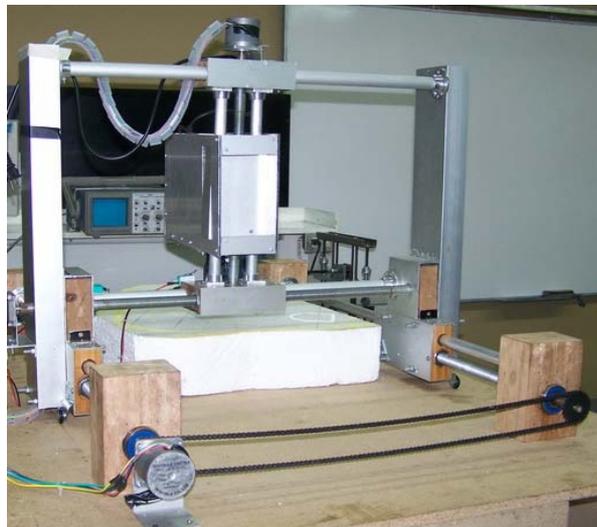


Figura 2.25 Router CNC con transmisión de movimiento por cadena

Según las características mencionadas, en el caso de seleccionarse un motor paso a paso para generar el movimiento en alguna de las estructuras móviles, se selecciona un acople directo entre el motor y el tornillo; y en el caso de seleccionarse un servomotor se implementará un acople por engranajes; la selección de estos actuadores se indica en la sección 2.4.1.

2.3 DISEÑO MECÁNICO.

2.3.1 DISEÑO DE LA MESA DE TRABAJO.

El tipo de mesa a utilizar será de tipo ranurada (sección 2.2.7) y tomando en cuenta el tamaño de una puerta normal, el tamaño de la mesa de trabajo en X será de 2100mm, en Y será de 1100mm y en Z será de 120mm.

Entonces la superficie de la mesa será de $X * Y = 2100 \times 1100 = 2.31 \times 10^6 \text{ mm}^2$.

2.3.2 CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE²⁰

Como la manufactura de puertas es un proceso de fresado, se tomarán en cuenta las formas de cálculo del mismo, los parámetros de inicio para el cálculo son:

a (mm) = 5	Profundidad de corte medida en milímetros ²¹
b (mm) = 45	Ancho del fresado (Tamaño de útiles comerciales)
V' (cm ³ /kWmin) = 150	Cantidad admisible de viruta para MDF ²²

El Tupí es seleccionado de acuerdo a la investigación previa del tipo de máquinas utilizadas en la manufactura en madera, y su disponibilidad en el mercado, el Tupí seleccionado tiene los siguientes datos de placa: 1.75HP y n = 2450RPM de velocidad.

Se transforma la potencia del Tupí a kW.
$$\frac{1.75\text{HP} \cdot 0.746\text{kW}}{1\text{HP}} = 1.3055 \text{ kW} \quad \text{Ec. 2.1}$$

La cantidad máxima de viruta, en centímetros cúbicos por minuto, se calcula con la siguiente expresión.

$$V = V'P \quad \text{Ec. 2.2}$$

En donde:

V' (cm ³ /kWmin) = 150	Cantidad admisible de viruta para MDF
P (kW) = 1.3055	Potencia del Tupí en kW (dato de placa)

Entonces:

$$V = \left(\frac{150\text{cm}^3}{\text{kWmin}} \right) (1.3055\text{kW}) = \frac{195.825 \text{ cm}^3}{\text{min}}$$

La velocidad de avance S' en milímetros por minuto se calcula con la siguiente expresión.

²⁰ <http://www.scielo.cl/scielo.php?sci=issuetoc&pid=0718-221X20070002&Ing=es%nrn=iso>

²¹ Datos de diseño proporcionados por personal técnico especializado en diseño de carpintería.

²² <http://www.workbench.com/forums/showthread.php?t=28511>

$$S' = \frac{1000.V}{a.b} \quad \text{Ec. 2.3}$$

En donde:

$V (\text{cm}^3/\text{min}) = 195.825$	Cantidad máxima de viruta
$a (\text{mm}) = 5$	Profundidad de corte medida en milímetros
$b (\text{mm}) = 45$	Ancho del fresado

Entonces:

$$S' = \frac{(1000)(195.825\text{cm}^3/\text{min})}{(5\text{mm})(45\text{mm})} = \frac{870.333 \text{ mm}}{\text{min}}$$

El avance s' en milímetros por revolución se calcula con la siguiente expresión.

$$s' = \frac{S'}{n} \quad \text{Ec. 2.4}$$

En donde:

$S' (\text{mm}/\text{min}) = 870.333$	Velocidad de avance
$n = 2450\text{RPM}$	Velocidad del Tupí

Entonces:

$$s' = \frac{870.33\text{mm}/\text{min}}{2450\text{rev}/\text{min}} = \frac{0.355 \text{ mm}}{\text{rev}}$$

El área de corte en milímetros cuadrados se calcula con la siguiente expresión.

$$AC = \frac{s'.b}{2} \quad \text{Ec. 2.5}$$

En donde:

$s' (\text{mm}/\text{rev}) = 0.355$	Avance
$b (\text{mm}) = 45$	Ancho del fresado

Entonces:

$$AC = \frac{(0.355\text{mm}/\text{rev})(45\text{mm})}{2} = \frac{7.99 \text{ mm}^2}{\text{rev}}, \quad \text{o solo } 7.99 \text{ mm}^2$$

El espesor de la viruta en milímetros se calcula con la siguiente expresión.

$$e = \left(\frac{S'}{Z.N} \right) \sqrt{\frac{a}{b}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

En donde:

S' (mm/min) = 870.333	Velocidad de avance
$Z = 2$	Número de cuchillos para fresas comerciales
n (RPM) = 2450	Velocidad del Tupí
a (mm) = 5	Profundidad de corte medida en milímetros
b (mm) = 45	Ancho del fresado

Entonces:

$$e = \left(\frac{870.33 \text{ mm/min}}{(2)(2450 \text{ RPM})} \right) \sqrt{\frac{5 \text{ mm}}{45 \text{ mm}}} = 0.059 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \quad \text{o solo } 0.059 \text{ mm.}$$

La constante de proporcionalidad se calcula con la siguiente expresión.

$$K = K_{SO} \cdot e^{-z} \quad \text{Ec. 2.7}$$

En donde:

$K_{SO} = 19$	Presión específica de corte para plásticos (Tabla 2.3), se escogen los valores para plásticos por ser los materiales más cercanos al MDF
e (mm) = 0.059	Espesor de la viruta
$z = 0.3$	Factor de corrección (Tabla 2.2)

MATERIAL	K_{SO} en N/mm^2	z
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

Tabla 2.2 Tabla de presión específica de corte K_{SO} para fresado.

Entonces.

$$K = \left(\frac{19 \text{ N}}{\text{mm}^2} \right) (0.059 \text{ mm})^{-0.3} = 44.36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Finalmente la fuerza de corte se calcula con la siguiente expresión.

$$F = K \cdot AC \quad \text{Ec. 2.8}$$

En donde:

K (N/mm^2)	44.36	Constante de proporcionalidad
AC (mm^2)	7.99	Área de corte

Entonces:

$$F = \left(44.36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (7.99 \text{ mm}^2) = 342.04 \text{ N}$$

La fuerza de corte en libras es $F = \frac{342.04 \text{ N}}{9.8 \text{ N}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 76.78 \text{ lb}$

2.3.3 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORTE.

La velocidad de corte se calcula con la siguiente expresión.

$$V_c = \frac{\pi \cdot b \cdot n}{1000} \quad \text{Ec. 2.9}$$

En donde:

$$\begin{aligned} b \text{ (mm)} &= 45 && \text{Ancho del fresado} \\ n \text{ (RPM)} &= 2450 && \text{Velocidad del Tupí} \end{aligned}$$

Entonces:

$$V_c = \frac{(\pi)(50\text{mm})(2450\text{rev})}{1000\text{min}} = 384.8 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Sin embargo esta velocidad es teórica, se recomiendan²³ valores alrededor de los 1500 mm/min, esta velocidad debe ser calibrada durante las pruebas de funcionamiento del Router CNC, y la velocidad de corte en metros por segundo será.

$$V_c = \frac{1500 \text{ mm}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.3.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE CORTE P_C .

La potencia de corte se calcula con la siguiente expresión.

$$P_C = F_C \cdot V_C \quad \text{Ec. 2.10}$$

En donde:

$$\begin{aligned} F_C \text{ (N)} &= 342.04 && \text{Fuerza de corte} \\ V_C \text{ (m/s)} &= 0.025 && \text{Velocidad de corte} \end{aligned}$$

Entonces:

$$P_C = (342.04\text{N}) \left(0.025 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 8.55 \text{ W}$$

Si se considera el rendimiento (η) de un motor al 80%, la potencia eléctrica (P_e) necesaria en el cabezal del Tupí deberá ser:

$$P_e = \frac{P_C}{\eta} = \frac{8.55\text{W}}{0.8} = 10.7 \text{ W} \quad \text{Ec. 2.11}$$

²³ <http://frs-cnc.com/foro/viewforum.php?f=7>

Además si se toma en cuenta un factor de seguridad de 1.5 en el mecanizado, se obtiene:

$$P_e = (10.7)(1.5) = 16.05 \text{ W}$$

Es la potencia mínima en el Tupí, para satisfacer el trabajo de fresado y dado que se ha seleccionado un Tupí de 1¾ HP, la demanda de potencia queda satisfecha.

2.3.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VERTICAL “Z” O CARRO “Z”.

El carro Z tiene la disposición física que se indica en la Figura 2.26, las medidas d1, d2, d3 y d4 son tomadas de los planos mecánicos del Anexo A; dado que el tallado de una puerta estándar no sobrepasa de los 50 mm se ha dispuesto una altura de 120 mm tomando en cuenta que ésta es la altura máxima que puede alcanzar un relieve.

Cuando el sistema de fuerzas es aplicado, según se indica en la Figura 2.26, se pueden utilizar las ecuaciones que se indican a continuación para calcular las cargas en cada parte del carro Z.

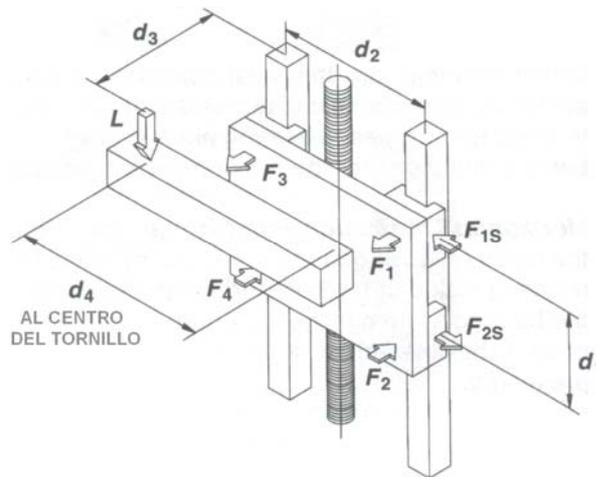


Figura 2.26 Traslación vertical con carga vertical.

Esta configuración es para aplicaciones verticales. Es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías, esto significa que estas ecuaciones pueden usarse aún cuando la orientación de la carga no es vertical, con tal que la carga conserve la relación con las guías. Las ecuaciones para el efecto son:

$$F_1 = F_3 = \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$F_2 = F_4 = -\frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$F_{1S} = F_{3S} = \frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$F_{2S} = F_{4S} = -\frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.15}$$

En donde:

L	Fuerza ejercida por la carga en Newton, dada la fuerza de corte del material W_1 y la fuerza ejercida por el peso del Tupí W_2 .
$d_1 = 100 \text{ mm}$	Dimensiones del carro vertical en milímetros (Anexo A).
$d_2 = 120 \text{ mm}$	
$d_3 = 125 \text{ mm}$	
$d_4 = 0 \text{ mm}$	
$F_1, F_2, F_3, F_4,$ $F_{1S}, F_{2S}, F_{3S}, F_{4S}$	Correspondientes a las fuerzas de reacción ejercidas sobre la estructura del carro en Newton.

La fuerza ejercida por la carga se calcula con la siguiente expresión:

$$L = W_1 + W_2 \quad \text{Ec. 2.16}$$

En donde:

$W_1 = 76.78 \text{ lb.}$	Fuerza de corte
$W_2 = 8 \text{ lb.}$	Peso del Tupí

Entonces:

$$L = (76.78 + 8)\text{lb} = 84.78\text{lb}$$

El valor de esta fuerza en Newton será:

$$L = \frac{(84.78)\text{lb}}{2.2\text{lb}} \frac{1\text{kg}}{1\text{kg}} \frac{9.8\text{N}}{1\text{kg}} = 377.67 \text{ N}$$

Como la carga del peso del Tupí esta paralela al tornillo y en el centro del carro Z; entonces, $d_4 = 0$, es decir que $F_{1S} = F_{3S} = F_{2S} = F_{4S} = 0$, es decir:

$$F_1 = F_3 = \frac{377.67\text{N}}{2} \left(\frac{125\text{mm}}{100\text{mm}} \right) = 236.04 \text{ N}$$

$$F_2 = F_4 = -\frac{377.67\text{N}}{2} \left(\frac{125\text{mm}}{100\text{mm}} \right) = -236.04 \text{ N}$$

De este cálculo se selecciona el mayor valor, o sea: $F = 236.04 \text{ N}$

2.3.5.1 Flechas o Ejes Guías de la coordenada “Z”

Como el Tupí va a trabajar por lo general en lo más bajo de su recorrido, se distribuyen las siguientes distancias, $d_1 = 20 \text{ mm}$, $d_2 = 100 \text{ mm}$ y $d_3 = 130 \text{ mm}$; además las fuerzas sobre los puntos B y C corresponden a $F = 236.04 \text{ N}$ (Ec. 2.12). Estos datos se presentan en la Figura 2.27 que corresponde al diagrama de cuerpo libre de fuerzas y de momentos para los ejes guías del carro “Z”.

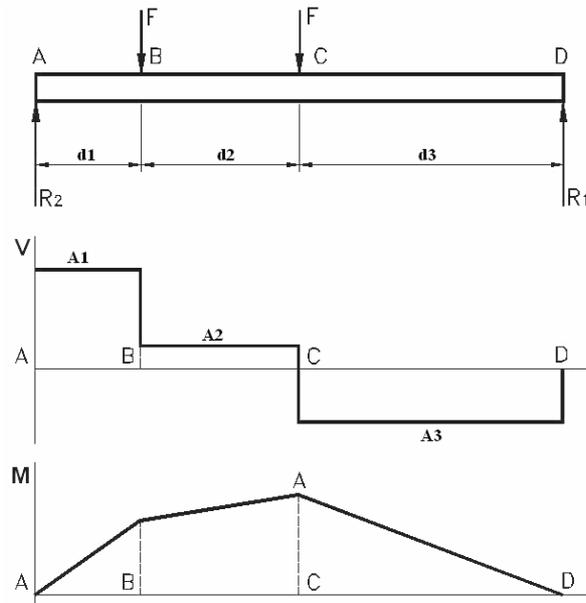


Figura 2.27 Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura vertical, coordenada “Z”

Con el diagrama de cuerpo libre de la Figura 2.27 se procede a calcular el momento flector máximo para los ejes, mediante la sumatoria de momentos flectores (Ec. 2.17) y la sumatoria de fuerzas en el eje Y (Ec. 2.18).

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec. 2.17}$$

$$F \cdot d_1 + F(d_1 + d_2) - R_1(d_1 + d_2 + d_3) = 0$$

$$R_1 = \frac{F \cdot d_1 + F(d_1 + d_2)}{d_1 + d_2 + d_3} = \frac{(236.04\text{N})(20\text{mm}) + (236.04\text{N})(20\text{mm} + 100\text{mm})}{20\text{mm} + 100\text{mm} + 130\text{mm}} = 132.18 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$R_2 - F - F + R_1 = 0$$

$$R_2 = 2F - R_1 = 2(236.04\text{N}) - 132.18\text{N} = 339.09 \text{ N}$$

El cálculo de las áreas siguientes servirá para la obtención del momento flector máximo

$$A_1 = R_2 d_1 = (339.09\text{N})(20\text{mm}) = 6798.18 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$A_2 = (R_2 - F) d_2 = (339.09\text{N} - 236.04\text{N})(100\text{mm}) = 10386.11 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$A_3 = (R_2 - F - F) d_3 = (339.09\text{N} - 236.04\text{N} - 236.04\text{N})(130\text{mm}) \quad \text{Ec. 2.21}$$

$$A_3 = -17184.29 \text{ Nmm}$$

$$A_3 = R_1 d_3 = (132.18\text{N})(130\text{mm}) = 17184.29 \text{ Nmm} \text{ (Comprobando lo anterior)} \quad \text{Ec. 2.22}$$

De las tres áreas se escoge la mayor $A = 17184.29 \text{ Nmm}$, es la que corresponde al momento flector máximo de la estructura vertical "Z" según el diagrama de la Figura 2.27.

El esfuerzo normal máximo que soporta el material se calcula con la siguiente expresión.

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. 2.23}$$

Donde:

$$S_y \text{ (N/mm}^2\text{)} = 276 \quad \text{Resistencia a la fluencia en el acero DF2}^{24}$$

$$n = 2 \quad \text{Factor de seguridad}^{25} \text{ entre 1.5 y 2.5}$$

Entonces:

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

El módulo de resistencia para el material seleccionado se calcula con la siguiente expresión.

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde:

$$M \text{ (Nmm)} = 17184.29 \quad \text{Momento flector máximo}$$

$$\sigma_{\max} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 138 \quad \text{Esfuerzo normal máximo}$$

Entonces:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} = \frac{17184.29\text{Nmm}}{138\text{N/mm}^2} = 124.52 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía del carro Z se calcula con la siguiente expresión.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.S}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.25}$$

Donde:

$$S \text{ (mm}^3\text{)} = 124.52 \quad \text{Módulo de resistencia del material}$$

²⁴ Catálogo de aceros especiales IBCA, Edición 2006

²⁵ Resistencia de Materiales, Robert Mott, Tercera Edición

Entonces:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32(124.52\text{mm}^3)}{3.14}} = 10.82 \text{ mm}$$

Considerando que en el mercado no existe tal diámetro, se escoge uno de 12mm de amplia comercialización en nuestro medio.

2.3.5.2 Cálculo del tornillo de potencia para el carro “Z”.

El peso total para el cálculo del tornillo se calcula con la siguiente expresión.

$$F = W_1 + W_2 + W_3 \quad \text{Ec. 2.26}$$

Donde:

W_1 (lb) = 8	Peso del Tupí
W_2 (lb) = 6	Peso de la estructura en la que está acoplado el Tupí
W_3 (lb) = 76.78	Fuerza de corte

Entonces:

$$F = 8 \text{ lb} + 6 \text{ lb} + 76.78 \text{ lb} = 90.78 \text{ lb}$$

El área transversal del tornillo de potencia trapecial se calcula con la siguiente expresión.

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Donde:

F (lb) = 90.78	Peso total para el cálculo del tornillo Z
σ (lb/in ²) = 1000	Esfuerzo admisible del material (Acero SAE1045) ²⁶

Entonces:

$$A = \frac{90.78\text{lb}}{1000\text{lb/in}^2} = 0.09078 \text{ in}^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Donde:

A (in ²) = 0.09078	Área transversal del tornillo de potencia
----------------------------------	---

Entonces:

$$d = \sqrt{\frac{(4)(0.09078\text{in}^2)}{\pi}} = 0.33 \text{ in}$$

El diámetro en milímetros será: $d = \frac{0.33\text{in} \cdot 25.4\text{mm}}{1\text{in}} = 11.08 \text{ mm}$

²⁶ Catálogo de aceros especiales IBCA, Edición 2006

El tornillo será construido de 12 mm de diámetro tipo TPN 12x2 H4/h4-L, con una clase de tolerancia H4/h4 para el acoplamiento (tornillo-tuerca), de longitud de tuerca de 30 mm (Norma INEN 514-516), para asegurar la precisión, desplazamiento y para reducir notablemente el juego.

2.3.5.3 Cálculo de torques y potencia en el tornillo del carro “Z”.

El valor del peso total para el cálculo del tornillo (Ec. 2.26), en Newton será:

$$F = \frac{90.78\text{lb}}{2.2\text{lb}} \frac{1\text{kg}}{1\text{kg}} \frac{9.8\text{N}}{1\text{kg}} = 404.40 \text{ N}$$

Las dimensiones típicas de construcción del tornillo de potencia²⁷ M12 son:

$$\begin{aligned} d_e &= 12 \text{ mm} && \text{diámetro exterior del tornillo.} \\ d_m &= 11 \text{ mm} && \text{diámetro medio del tornillo.} \\ p &= 2 \text{ mm} && \text{paso.} \\ \mu &= 0.15 && \text{coeficiente de fricción.} \end{aligned}$$

El torque necesario para que suba el carro Z se calcula con la siguiente expresión.

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left[\frac{p + \pi \cdot \mu \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot p} \right] \quad \text{Ec. 2.29}$$

Donde:

$$\begin{aligned} F \text{ (N)} &= 404.40 \text{ N} && \text{Peso total para el cálculo del tornillo} \\ d_m \text{ (mm)} &= 11 && \text{Diámetro medio del tornillo} \\ p \text{ (mm)} &= 2 && \text{Paso del tornillo} \\ \mu &= 0.15 && \text{Coeficiente de fricción en el tornillo} \end{aligned}$$

Entonces:

$$T = \frac{(404.40\text{N})(11\text{mm})}{2} \left[\frac{2\text{mm} + (\pi)(0.15)(11\text{mm})}{(\pi)(11\text{mm}) - (0.15)(2\text{mm})} \right] = 466.40 \text{ Nmm}$$

El torque necesario para que baje el carro Z se calcula con la siguiente expresión.

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left[\frac{\pi \cdot \mu \cdot d_m - p}{\pi \cdot d_m + \mu \cdot p} \right] \quad \text{Ec. 2.30}$$

Entonces:

$$T = \frac{(404.40\text{N})(11\text{mm})}{2} \left[\frac{(\pi)(0.15)(11\text{mm}) - 2\text{mm}}{(\pi)(11\text{mm}) + (0.15)(2\text{mm})} \right] = 203.14 \text{ Nmm}$$

²⁷ Prontuario máquinas, Larburu, Primera Edición.

De los cuales se toma el mayor, es decir $T = 466.40 \text{ Nmm}$, que es el torque que se requiere para mover la carga, a más de la fricción entre el tornillo y la tuerca.

La potencia necesaria para impulsar el tornillo se calcula con la siguiente expresión.

$$P = 2\pi \cdot f \cdot T \quad \text{Ec. 2.31}$$

Donde:

$$\begin{aligned} f \text{ (RPM)} &= 330 && \text{Frecuencia de giro del tornillo}^{28} \\ T \text{ (Nmm)} &= 446.04 && \text{Torque para subir el carro } z \end{aligned}$$

Entonces:

$$P = (2)(\pi) \left(300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) (466.40 \text{ Nmm}) \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 14.65 \text{ W}$$

2.3.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HORIZONTAL “X” O CARRO “X”

Cuando una carga lateral se aplica al sistema de movimiento en el eje X, tal como se indica en la Figura 2.28, las cargas en las guías cambian en forma individual, requiriendo de las ecuaciones que se indican a continuación para el cálculo de los esfuerzos en los ejes.

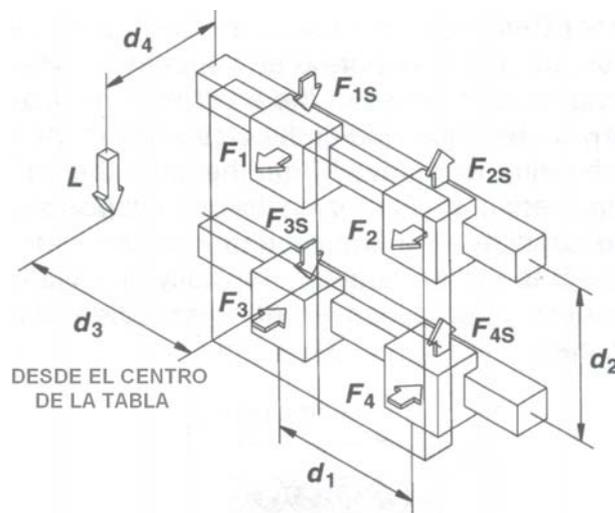


Figura 2.28 Traslación horizontal con carga lateral, coordenada “X”

Cada eje guía tendrá como resultante una carga normal y una carga lateral. La orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías es de importante consideración. Esto significa que las ecuaciones siguientes pueden usarse, aún cuando la orientación de la carga no es horizontal, con tal que ésta conserve relación con las guías

²⁸ www.Routerland.com.ar/support=%.php

$$F_1 = F_2 = \frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.32}$$

$$F_3 = F_4 = -\frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.33}$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ec. 2.34}$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ec. 2.35}$$

En donde:

L Fuerza ejercida por la carga en Newton, dado el peso del carro "Z" y herramienta W_1 más la fuerza de corte W_2 .
 d_1, d_2, d_3 y d_4 Dimensiones del carro "X" en milímetros.
 F_1, F_2, F_3, F_4 Fuerzas ejercidas sobre la estructura del carro "X" en Newton.
 $F_{1s}, F_{2s}, F_{3s}, F_{4s}$

La fuerza L ejercida por la carga se calcula con la siguiente expresión:

$$L = W_1 + W_2 \quad \text{Ec. 2.36}$$

Donde:

W_1 (lb) = 25 Peso del carro vertical y la herramienta
 W_2 (lb) = 76.78

Entonces:

$$L = 25 \text{ lb} + 76.78 \text{ lb} = 101.78 \text{ lb}$$

La fuerza L en Newton es:

$$L = \frac{(76.78 + 25) \text{ lb}}{2.2 \text{ lb}} \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 453.40 \text{ N}$$

Las distancias indicadas en la Figura 2.28 son tomadas del Anexo A, y son $d_1 = 100 \text{ mm}$, $d_2 = 150 \text{ mm}$, $d_3 = 0$ y $d_4 = 175 \text{ mm}$, entonces:

$$F_1 = F_2 = \frac{453.40 \text{ N}}{2} \left(\frac{175 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \right) = 264.48 \text{ N}$$

$$F_3 = F_4 = -\frac{453.40 \text{ N}}{2} \left(\frac{175 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \right) = -264.48 \text{ N}$$

La carga L que genera el carro vertical, esta localizada en el centro del carro horizontal de la coordenada X, por tanto $d_3 = 0$. Entonces:

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{453.40\text{N}}{4} = 113.35 \text{ N}$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{453.40\text{N}}{4} = 113.35 \text{ N}$$

De estas fuerzas calculadas se escoge la mayor, o sea $F = 264.48 \text{ N}$.

2.3.6.1 Flechas o ejes guías de la coordenada “X”.

Para este cálculo se toma el dato de la fuerza $F = 264.48 \text{ N}$, y las distancias $L_1 = 100 \text{ mm}$ y $L_T = 1100 \text{ mm}$ indicadas en el Anexo A; la disposición de la fuerza F en los puntos B y C en la Figura 2.29 se da tomando en cuenta que en la mitad de los ejes guías se concentrará el mayor esfuerzo. Para el cálculo de los ejes se tomará el momento flector máximo de la estructura “X”.

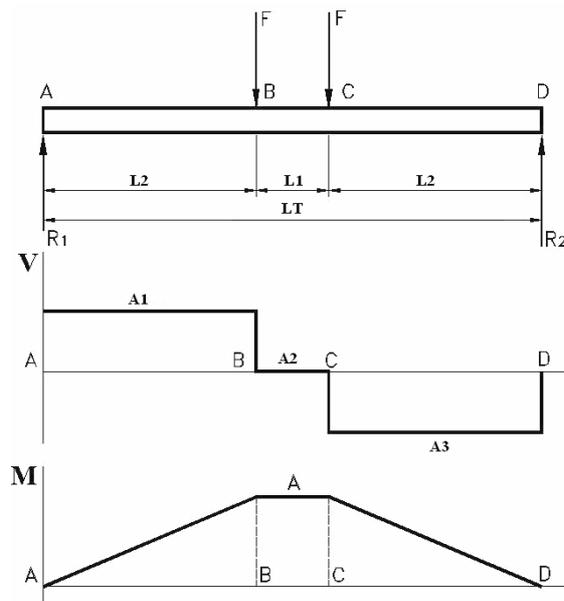


Figura 2.29 Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura horizontal, coordenada “X”

El valor de L_2 se calcula con la siguiente expresión, y tomando en cuenta la disposición de las dimensiones de los ejes guías mostradas en la Figura 2.29.

$$L_2 = \frac{L_T - L_1}{2} \tag{Ec. 2.37}$$

$$L_2 = \frac{(1100 - 100)\text{mm}}{2} = 500 \text{ mm}$$

Con el diagrama de cuerpo libre de la Figura 2.29 se procede a calcular el momento flector máximo para los ejes, mediante la sumatoria de momentos flectores (Ec. 2.38) y la sumatoria de fuerzas en el eje Y (Ec. 2.39).

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec. 2.38}$$

$$F.L_2 + F(L_1 + L_2) - R_2 L_T = 0$$

$$R_2 = \frac{F.L_2 + F(L_1 + L_2)}{L_T} = \frac{(264.48\text{N})(500\text{mm}) + (264.48\text{N})(500\text{mm} + 100\text{mm})}{1100\text{mm}} = 264.48 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 \quad \text{Ec. 2.39}$$

$$R_1 - F - F + R_2 = 0$$

$$R_1 = 2F - R_2 = 2(264.48\text{N}) + 264.48\text{N} = 264.48 \text{ N}$$

El cálculo de las áreas siguientes servirá para la obtención del momento flector máximo

$$A_1 = R_1 L_2 = (264.48\text{N})(500\text{mm}) = 132242.87 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.40}$$

$$A_2 = (R_1 - F)L_1 = (264.48\text{N} - 264.48\text{N})(100\text{mm}) = 0 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.41}$$

$$A_3 = (R_1 - F - F)d_3 = (264.48\text{N} - 264.48\text{N} - 264.48\text{N})(500\text{mm}) \quad \text{Ec. 2.42}$$

$$A_3 = -132242.87 \text{ Nmm}$$

$$A_3 = R_2 L_2 = (264.48\text{N})(500\text{mm}) = 132242.87 \text{ Nmm} \quad \text{(Comprobando)} \quad \text{Ec. 2.43}$$

De las tres áreas se escoge la mayor $A = 132242.87 \text{ Nmm}$, es la que corresponde al momento flector máximo de la estructura “Y” como se ve en el diagrama anterior.

El esfuerzo normal máximo que soporta el material se calcula con la siguiente expresión.

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. 2.44}$$

Donde:

$$S_y \text{ (N/mm}^2\text{)} = 276 \quad \text{Resistencia a la fluencia en el acero DF2}^{29}$$

$$n = 1.5 \quad \text{Factor de seguridad}^{30} \text{ entre 1.5y 2.5}$$

Entonces:

$$\sigma_{\max} = \frac{276\text{N/mm}^2}{1.5} = 184 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El módulo de resistencia para el material seleccionado se calcula con la siguiente expresión.

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} \quad \text{Ec. 2.45}$$

²⁹ Catálogo de aceros especiales IBCA, Edición 2006

³⁰ Resistencia de Materiales, Robert Mott, Tercera Edición

Donde:

$$\begin{array}{ll} M \text{ (Nmm)} = 132242.87 & \text{Momento flector máximo} \\ \sigma_{\max} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 184 & \text{Esfuerzo normal máximo} \end{array}$$

Entonces:

$$S = \frac{132242.87 \text{ Nmm}}{184 \text{ N/mm}^2} = 718.71 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía del carro Z se calcula con la siguiente expresión.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.46}$$

Donde:

$$S \text{ (mm}^3\text{)} = 718.71 \quad \text{Módulo de resistencia del material}$$

Entonces:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(718.71 \text{ mm}^3)}{3.14}} = 19.41 \text{ mm}$$

Considerando que en el mercado no existe tal diámetro se escoge uno de 20mm de amplia comercialización en nuestro medio.

2.3.6.2 Cálculo del tornillo de potencia para el carro “X”.

Se realizará el cálculo como si fuera el tornillo de potencia, tipo trapecial, como en el caso del carro “Z”, sin embargo se seleccionará un husillo a bolas con el fin de aumentar el nivel de precisión y disminuir la fricción durante el movimiento.

El peso total para el cálculo del tornillo se calcula con la siguiente expresión.

$$F = W_1 + W_2 \quad \text{Ec. 2.47}$$

Donde:

$$\begin{array}{ll} W_1 \text{ (lb)} = 25 & \text{Peso del carro Z} \\ W_2 \text{ (lb)} = 76.78 & \text{Fuerza de corte} \end{array}$$

Entonces:

$$F = 25 \text{ lb} + 76.78 \text{ lb} = 101.78 \text{ lb}$$

El área transversal del tornillo de potencia trapecial se calcula con la siguiente expresión.

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad \text{Ec. 2.48}$$

Donde:

$$\begin{array}{lll} F \text{ (lb)} & 101.78 & \text{Peso total para el cálculo del tornillo X} \\ \sigma \text{ (lb/in}^2\text{)} & 1000 & \text{Esfuerzo admisible del material (Acero SAE1045)}^{31} \end{array}$$

³¹ Catálogo de aceros especiales IBCA, Edición 2006

Entonces:

$$A = \frac{101.78\text{lb}}{1000\text{lb/in}^2} = 0.10178\text{ in}^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.49}$$

Donde:

$$A \text{ (in}^2\text{)} = 0.10178 \quad \text{Área transversal del tornillo de potencia}$$

Entonces:

$$d = \sqrt{\frac{(4)(0.10178\text{in}^2)}{\pi}} = 0.35\text{ in}$$

El diámetro en milímetros será: $d = \frac{0.35\text{in}}{1\text{in}} \frac{25.4\text{mm}}{1\text{in}} = 12.2\text{ mm}$

Puesto que este diámetro para un husillo a bolas es imposible de adquirir se ha escogido un husillo de diámetro comercial más próximo, de 16 mm y paso 5 mm de la casa fabricante **Techno Inc.**

2.3.7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HORIZONTAL “Y” O CARRO “Y”.

Para este análisis se tomará en cuenta el diseño mostrado en la Figura 2.30, en la cual una carga normal se aplica a un sistema horizontal de guías.

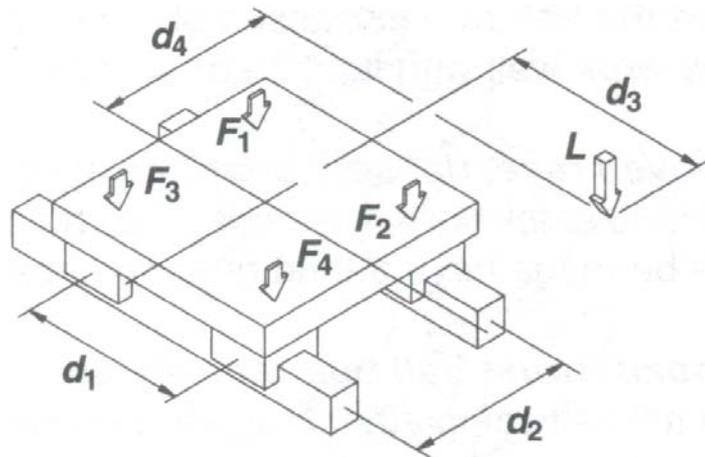


Figura 2.30 Traslación horizontal con carga normal.

Las cargas F_1 , F_2 , F_3 y F_4 son calculadas utilizando las ecuaciones siguientes. Estas ecuaciones también se aplican 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, ya que las ecuaciones pueden usarse aun cuando la orientación de la carga no es horizontal, con tal que ésta conserve relación con las guías.

$$F_1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.50}$$

$$F_2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.51}$$

$$F_3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.52}$$

$$F_4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec. 2.53}$$

Donde:

L	Fuerza ejercida por la carga en Newton, dado el peso del carro “Z”, “Y” y herramienta W ₁ más la fuerza de corte W ₂ .
d ₁ = 250 mm	
d ₂ = 1100 mm	
d ₃ = 120 mm	Dimensiones del carro “Y” en milímetros del Anexo A.
d ₄ = 0 mm	
F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄	Fuerzas ejercidas sobre la estructura del carro “X” en Newton.

La fuerza L ejercida por la carga se calcula con la siguiente expresión:

$$L = W_1 + W_2 \quad \text{Ec. 2.54}$$

Donde:

W ₁ (lb) = 65	Peso del carro “Y”, “Z” y la herramienta
W ₂ (lb) = 76.78	Fuerza de corte

Entonces:

$$L = 65 \text{ lb} + 76.78 \text{ lb} = 141.78 \text{ lb}$$

La fuerza L en Newton es:

$$L = \frac{(141.78) \text{ lb}}{2.2 \text{ lb}} \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 631.58 \text{ N}$$

Entonces:

$$F_1 = \frac{631.58 \text{ N}}{4} - \frac{631.58 \text{ N}}{2} \left(\frac{120 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} + \frac{0 \text{ mm}}{1100 \text{ mm}} \right) = 6.31 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{631.58\text{N}}{4} + \frac{631.58\text{N}}{2} \left(\frac{120\text{mm}}{250\text{mm}} - \frac{0\text{mm}}{1100\text{mm}} \right) = 309.47\text{ N}$$

$$F_3 = \frac{631.58\text{N}}{4} - \frac{631.58\text{N}}{2} \left(\frac{120\text{mm}}{250\text{mm}} - \frac{0\text{mm}}{1100\text{mm}} \right) = 6.31\text{ N}$$

$$F_4 = \frac{631.58\text{N}}{4} + \frac{631.58\text{N}}{2} \left(\frac{120\text{mm}}{250\text{mm}} + \frac{0\text{mm}}{1100\text{mm}} \right) = 309.47\text{ N}$$

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.

2.3.7.1 Flechas o ejes guías, estructura horizontal coordenada “Y”

Para este cálculo se toman los datos de las fuerzas F_3 y F_4 calculadas con las ecuaciones 2.53 y 2.54 respectivamente, y las distancias $L_1 = 250\text{ mm}$ y $L_T = 2100\text{ mm}$ indicadas en el Anexo A, la disposición de la fuerza F en los puntos B y C en la Figura 2.31 se da tomando en cuenta que en la mitad de los ejes guías se concentrará el mayor esfuerzo. Para el cálculo de los ejes se tomará el momento flector máximo de la estructura “Y”.

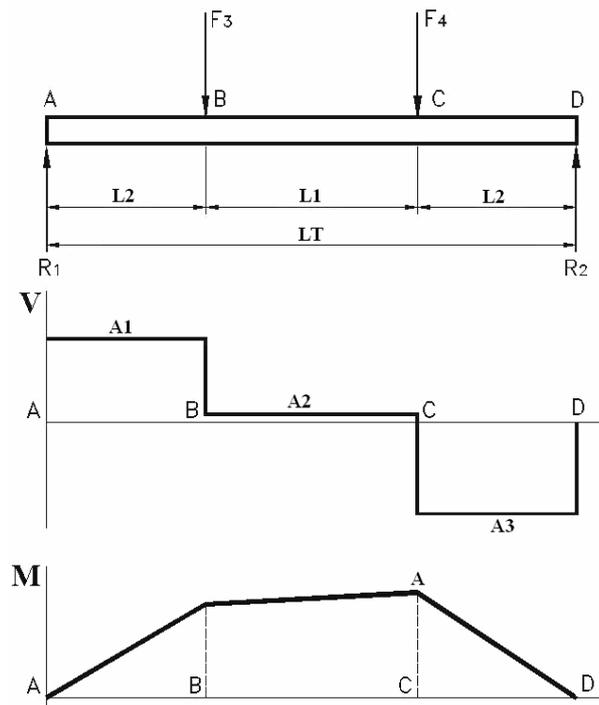


Figura 2.31 Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura horizontal, coordenada “Y”

El valor de L_2 se calcula con la siguiente expresión, y tomando en cuenta la disposición y las dimensiones de los ejes guías mostradas en la Figura 2.31.

$$L_2 = \frac{L_T - L_1}{2} \quad \text{Ec. 2.55}$$

$$L_2 = \frac{2100\text{mm} - 250\text{mm}}{2} = 925 \text{ mm}$$

Con el diagrama de cuerpo libre de la Figura 2.31 se procede a calcular el momento flector máximo para los ejes, mediante la sumatoria de momentos flectores (Ec. 2.56) y la sumatoria de fuerzas en el eje Y (Ec. 2.57).

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec. 2.56}$$

$$F_3 \cdot L_2 + F_4(L_1 + L_2) - R_2 L_T = 0$$

$$R_2 = \frac{F_3 \cdot L_2 + F_4(L_1 + L_2)}{L_T} = \frac{(6.31\text{N})(925\text{mm}) + (309.47\text{N})(500\text{mm} + 925\text{mm})}{2100\text{mm}} = 175.94 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 \quad \text{Ec. 2.57}$$

$$R_1 - F_3 - F_4 + R_2 = 0$$

$$R_1 = F_3 + F_4 - R_2 = 6.31\text{N} + 309.47\text{N} - 175.94\text{N} = 139.85 \text{ N}$$

El cálculo de las áreas siguientes servirá para la obtención del momento flector máximo

$$A_1 = R_1 L_2 = (139.85\text{N})(925\text{mm}) = 129362.33 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.58}$$

$$A_2 = (R_1 - F_3)L_1 = (139.85\text{N} - 6.31\text{N})(250\text{mm}) = 33383.82 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.59}$$

$$A_3 = (R_1 - F_3 - F_4)L_2 = (139.85\text{N} - 6.31\text{N} - 309.47\text{N})925 = -162746.16 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. 2.60}$$

$$A_3 = R_2 L_2 = (175.94\text{N})(925\text{mm}) = 162746.16 \text{ Nmm} \quad (\text{Comprobando}) \quad \text{Ec. 2.61}$$

De las tres áreas se escoge la mayor, $A = 162746.16 \text{ Nmm}$; correspondiente al momento flector máximo de la estructura "X", como se ve en el diagrama de la Figura 2.31.

El esfuerzo normal máximo que soporta el material se calcula con la siguiente expresión.

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. 2.62}$$

Donde:

$$S_y \text{ (N/mm}^2\text{)} = 276 \quad \text{Resistencia a la fluencia en el acero DF2}^{32}$$

$$n = 2.5 \quad \text{Factor de seguridad}^{33} \text{ entre 1.5y 2.5}$$

Entonces:

$$\sigma_{\max} = \frac{276\text{N/mm}^2}{2.5} = 110.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El módulo de resistencia para el material seleccionado se calcula con la siguiente expresión.

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} \quad \text{Ec. 2.63}$$

³² Catálogo de aceros especiales IBCA, Edición 2006

³³ Resistencia de Materiales, Robert Mott, Tercera Edición

Donde:

$$M \text{ (Nmm)} = 162746.16 \quad \text{Momento flector máximo}$$
$$\sigma_{\max} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 110.4 \quad \text{Esfuerzo normal máximo}$$

Entonces:

$$S = \frac{162746.16 \text{ Nmm}}{110.4 / \text{mm}^2} = 1474.15 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía del carro Y se calcula con la siguiente expresión.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.64}$$

Donde:

$$S \text{ (mm}^3\text{)} = 1474.15 \quad \text{Módulo de resistencia del material}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(1474.15 \text{ mm}^3)}{3.14}} = 24.67 \text{ mm}$$

Considerando que en el mercado no existe tal diámetro se escoge uno de 30mm de amplia comercialización en nuestro medio.

2.3.7.2 Cálculo del tornillo de potencia para el carro “Y”.

Se realizará el cálculo como si fuera el tornillo de potencia, tipo trapecial, como en el caso del carro “Z”; sin embargo se seleccionará un husillo a bolas, con el fin de aumentar el nivel de precisión y disminuir la fricción del movimiento.

El peso total para el cálculo del tornillo se calcula con la siguiente expresión.

$$F = W_1 + W_2 \quad \text{Ec. 2.65}$$

Donde:

$$W_1 \text{ (lb)} = 65 \quad \text{Peso de los carros X y Z en conjunto}$$
$$W_2 \text{ (lb)} = 76.78 \quad \text{Fuerza de corte}$$

Entonces:

$$F = 65 \text{ lb} + 76.78 \text{ lb} = 141.78 \text{ lb}$$

El área transversal del tornillo de potencia trapecial se calcula con la siguiente expresión.

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad \text{Ec. 2.66}$$

Donde:

$$F \text{ (lb)} = 141.78 \quad \text{Peso total para el cálculo del tornillo X}$$
$$\sigma \text{ (lb/in}^2\text{)} = 1000 \quad \text{Esfuerzo admisible del material (Acero SAE1045)}^{34}$$

³⁴ Catálogo de aceros especiales IBCA, Edición 2006

Entonces:

$$A = \frac{141.78\text{lb}}{1000\text{lb/in}^2} = 0.14178\text{in}^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.67}$$

Donde:

$$A (\text{in}^2) = 0.14178 \quad \text{Área transversal del tornillo de potencia}$$

Entonces:

$$d = \sqrt{\frac{(4)(0.14178\text{in}^2)}{\pi}} = 0.52\text{in}$$

$$\text{El diámetro en milímetros será: } d = 0.52\text{in} \frac{25.4\text{mm}}{1\text{in}} = 14.02\text{mm}$$

Hay que tomar en cuenta que con este diámetro lo más lógico es escoger un valor de 16mm; sin embargo este diámetro ya fue seleccionado para el eje X, y dado que el carro Y soportará mayor carga es necesario sobredimensionar este diámetro a uno mayor.

Entonces comercialmente se selecciona un husillo a bolas de 25 mm de diámetro y paso 5 mm, de la misma casa fabricante **Techno Inc.**

2.3.8 CÁLCULO DEL TORQUE, ESTRUCTURAS HORIZONTALES (EJE X E Y).

Para el cálculo de torques entre las dos estructuras horizontales, se analizará la correspondiente al eje X, ya que ésta soporta la carga mayor de entre las tres estructuras, y con los resultados se podrá seleccionar el actuador adecuado.

El sistema de transmisión del movimiento es el que se indica en la Figura 2.32, en el cual el movimiento de la carga es horizontal.

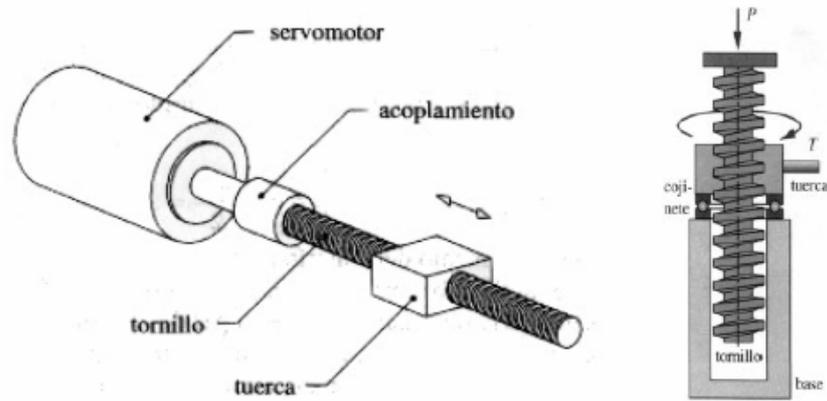


Figura 2.32 Transmisión de movimiento horizontal.

El torque requerido para la selección del actuador para mover el sistema depende de los siguientes factores:

2.3.8.1 Inercia por el peso de la plataforma o la carga en sí (I_p).

Para calcular la inercia por el peso de la plataforma se utiliza la siguiente expresión.

$$I_p = \left(\frac{W}{p^2} \right) \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \quad \text{Ec. 2.68}$$

Donde:

W (lb) 65 Peso de los carros X, Y y Z en conjunto
P (in) 5.08 Hilos por pulgadas del husillo

En una longitud de una pulgada con un paso de 5mm, la cantidad de hilos por pulgada será.

$$p = \frac{25.4\text{mm}}{5\text{mm}} = 5.08 \text{hpp} \quad \text{Ec. 2.69}$$

Entonces:

$$I_p = \left(\frac{65\text{lb}}{(5.08\text{hpp})^2} \right) \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 = 0.06 \text{lb.in}^2$$

2.3.8.2 Inercia por el tornillo (I_T).

Para el cálculo de la Inercia del tornillo (I_T) se utiliza la siguiente expresión.

$$I_T = \frac{D^4 L}{36} \quad \text{Ec. 2.70}$$

Donde:

D (mm) = 25 Diámetro del tornillo (Sección 2.1.7.2)
L (mm) = 2000 Longitud roscada del tornillo (Anexo A)

El diámetro del tornillo en pulgadas: $D = \frac{25\text{mm}}{25.4\text{mm}} \frac{1.\text{in}}{1} = 0.9842 \text{ in}$

La longitud del tornillo en pulgadas: $L = \frac{2000\text{mm}}{25.4\text{mm}} \frac{1.\text{in}}{1} = 78.74 \text{ in}$

Entonces:

$$I_T = \frac{(0.9842\text{in})^4 (78.74\text{in})}{36} = 2.05 \text{ lbin}^2$$

2.3.8.3 Inercia del motor que acciona el sistema (I_M).

La inercia de rotor del motor (I_M), se asume en base a las características técnicas de un motor DC NEMA 34³⁵ comúnmente utilizado en Router CNC; entonces $I_M = 0.35 \text{ lb.in}^2$

2.3.8.4 Inercia total.

La inercia total se calcula con la siguiente expresión.

$$I_{EQ} = I_P + I_T + I_M \quad \text{Ec. 2.71}$$

Donde:

I_P (lb.in^2) = 0.06 Inercia por el peso de la plataforma o la carga en sí

I_T (lb.in^2) = 2.05 Inercia por el tornillo

I_M (lb.in^2) = 0.35 Inercia del motor que acciona el sistema

Entonces:

$$I_{eq} = I_P + I_T + I_M = (0.06 + 2.05 + 0.35)\text{lb.in}^2 = 2.46 \text{ lb.in}^2$$

La velocidad angular de la plataforma en pasos por segundo (sps) se calcula con la siguiente expresión.

$$\omega = \frac{V_{Lmax} \cdot \text{spr} \cdot p}{60} \quad \text{Ec. 2.72}$$

Donde:

V_{Lmax} (mm/min) = 10900 Velocidad lineal máxima de la plataforma recomendada para máquinas CNC³⁶

spr = 240 Pasos por revolución o ciclos por revolución para encoders comerciales³⁷

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

Entonces:

$$\omega = \frac{V_{Lmax} \cdot \text{spr} \cdot p}{60} = \frac{(10900)(240)(5.08)}{60} = 8730 \text{ sps}$$

Los pasos incrementales θ en grados para un encoder comercial de 240 spr, se calcula con la siguiente expresión.

³⁵ La construcción de las máquinas eléctricas, Gino Reborá, Primera Edición

³⁶ Diseño y construcción del sistema automático de corte por plasma, mediante control numérico computarizado (CNC).

³⁷ www.sharp.com/catalog=eps&inc/php

$$\theta = \frac{360^\circ/\text{rev}}{240\text{pasos}} = 1.5^\circ/\text{paso} \quad \text{Ec. 2.73}$$

El torque requerido por la inercia total (T_A) se calcula con la siguiente expresión.

$$T_A = \frac{2I_{eq}\omega\pi\theta}{(24)(180)t} \quad \text{Ec. 2.74}$$

Donde:

I_{eq} (lb.in ²) = 2.46	Inercia total
ω (sps) = 8730	La velocidad angular de la plataforma
θ (°/paso) = 1.5	Pasos incrementales θ en grados para un encoder comercial de 240 spr
t (segundos) = 0.12	Tiempo de aceleración ³⁸ para un motor NEMA 34

Entonces.

$$T_A = \frac{2I_{eq}\omega\pi\theta}{(24)(180)t} = \frac{(2)(2.46)(8730)(\pi)(1.5)}{(24)(180)(0.12)} = 390.44 \text{ onz.in}$$

El torque requerido para vencer la fuerza de fricción (T_B) se calcula mediante la siguiente expresión.

$$T_B = \frac{16.F_f}{2.\pi.\pi.p.e} \quad \text{Ec. 2.75}$$

Donde:

F_f (lb) = 0.375	Fuerza de fricción requerida para mover la plataforma ³⁸
p (hpp) = 5.08	Paso del husillo en hilos por pulgada
eff (%) = 90	Eficiencia del husillo a bolas ³⁹

Entonces.

$$T_B = \frac{16F_f}{2\pi\pi p e f} = \frac{(16)(0.375)}{(2)(\pi)(5.08)(0.9)} = 0.21 \text{ onz.in}$$

Finalmente el torque requerido para mover la estructura y el husillo a bolas se calcula mediante la siguiente expresión.

$$T = T_A + T_B \quad \text{Ec. 2.76}$$

Donde:

T_A (oz.in) = 390.44	El torque requerido por la inercia total
T_B (oz.in) = 0.21	El torque requerido para vencer la fuerza de fricción

³⁸ <http://frs-cnc.com/foro/profile.php?mode=viewprofile%u=759>

³⁹ www.techo.com/support/download.cat.pdf (Catálogo de selección de husillos a bolas Techno Inc)

Entonces.

$$T = T_A + T_B = (390.44 + 0.21)\text{onz.in} = 390.65 \text{ onz.in}$$

El torque en Newton por metro:

$$T = \frac{390.65\text{onz.in}}{16\text{onz}} \frac{1\text{lb}}{2.2\text{lb}} \frac{1\text{kg}}{1\text{kg}} \frac{9.8\text{N}}{1\text{kg}} \frac{25.4\text{mm}}{1\text{in}} \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} = 2.76 \text{ Nm}$$

Con este torque se seleccionan los motores para mover los carros X e Y.

2.4 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ACTUADORES, TARJETAS, SENSORES, ELEMENTOS DE MANDO Y PROTECCIÓN.

En esta sección se especifican todos los elementos que se implementarán en la parte eléctrica y electrónica del Router CNC.

2.4.1 SELECCIÓN DE ACTUADORES.

Los actuadores utilizados en sistemas CNC son los motores paso a paso y los servomotores.

Los motores paso a paso tienen una gran precisión de movimiento (en pasos completos, medios pasos y micropasos), sin embargo su velocidad es reducida para obtener un mayor torque, por estas características se los utilizará en el movimiento del carro Z.

En los ejes X e Y se va a necesitar además de un gran torque para mover las estructuras del Router CNC, una gran precisión y velocidad que permita obtener una manufactura excelente y reducir el tiempo de mecanizado al máximo; por tales razones se utilizarán servomotores para el movimiento de los carros X e Y.

Una vez especificado el tipo de actuador que se utilizará por cada eje, se los adquiere tomando en cuenta datos necesarios de torques, detallados en la Sección 2.3.

DATO	SERVOMOTOR X	SERVOMOTOR Y	MOTOR PASO A PASO Z
Voltaje	36VDC	36VDC	24VDC
Corriente con carga	4A	4A	1.4A
RPM	3600	3600	300
Reductor	1:3	1:3	1:1
Encoder	Incremental	Incremental	N/A
Resolución encoder CPR	200	240	N/A

Tabla 2.3 Datos de los motores X, Y y Z.

En la Tabla 2.3 se indican los datos de placa de los actuadores adquiridos para el movimiento de los carros X, Y y Z.

2.4.2 SELECCIÓN DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS DE CONTROL.

El control electrónico en Routers CNC consta de las siguientes tarjetas electrónicas:

- Tarjeta interface principal (Breakout board).
- Tarjetas controladoras para servomotores (Servo Drives).
- Tarjetas controladoras para motores a pasos (Stepper Drives)
- Tarjetas de control de la herramienta (Spindle Speed drive, THC, etc.)

En el caso de la tarjeta de control de la herramienta, hay que especificar que si la máquina CNC es por ejemplo para corte con arco de plasma, con chorro de agua, etc., esta tarjeta controlará el funcionamiento de la herramienta de corte de la máquina de corte; en el caso del Router CNC, el sistema de control de de la herramienta viene incluido en la tarjeta principal, este control consta de tres relés, uno para la activación automática del Tupí, otro para el sistema de extracción de viruta y otro para uso futuro.

2.4.2.1 Selección de la tarjeta interface (Breakout Board).

De lo expuesto en la sección 2.1.2.3, se utilizará una tarjeta interface con optoacopladores por el nivel de protección que brinda, en el caso de alguna realimentación de energía producida por alguna falla. Las marcas más comercializadas para tarjetas interface son:

- | | |
|---------------------|------------|
| 1. CAMPBELL DESIGNS | 4. CAndCNC |
| 2. ROGERS MACHINE | 5. CNC4PC |
| 3. MARDUS KREUTZ. | 6. PMDX |

Estas tarjetas utilizan el puerto paralelo DB25 de la PC para su conexión, el puerto serial se utiliza para tarjetas adicionales, y el USB todavía está en desarrollo.

Hay que tomar en cuenta que esta tarjeta debe ser compatible a la vez con los drives y con los programas CAM, entonces selecciona la tarjeta interface Campbell Designs Rev. 5, por su nivel de compatibilidad, por ser una tarjeta de última tecnología, muy confiable, de fácil manejo y por su disponibilidad en el mercado, su apariencia se indica en la Figura 2.33

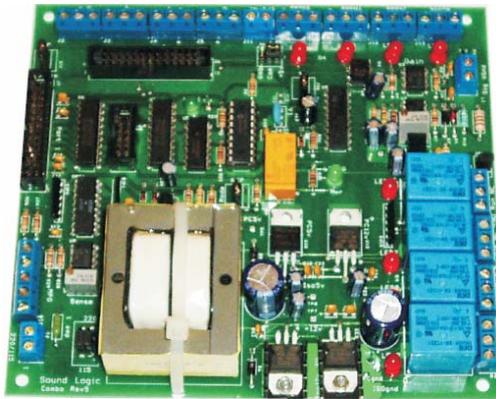


Figura 2.33 Tarjeta interface Rev. 5 de la firma Campbell designs.

Los detalles de las características y conexiones de la tarjeta seleccionada se indican en la sección 3.3.1

2.4.2.2 Selección de la tarjeta controladora para motores paso a paso (Stepper drive).

De igual forma, existen en el mercado una gran variedad de tarjetas controladoras para motores a pasos, incluso es posible el diseño de estos drives utilizando elementos electrónicos existentes en el mercado como los L297, L298, L6203, etc., un ejemplo de este tipo de tarjetas es la que se indica en la Figura 2.34 la cual es exclusiva para CNC; la selección dependerá de la corriente de consumo del motor y su compatibilidad con la tarjeta interface.

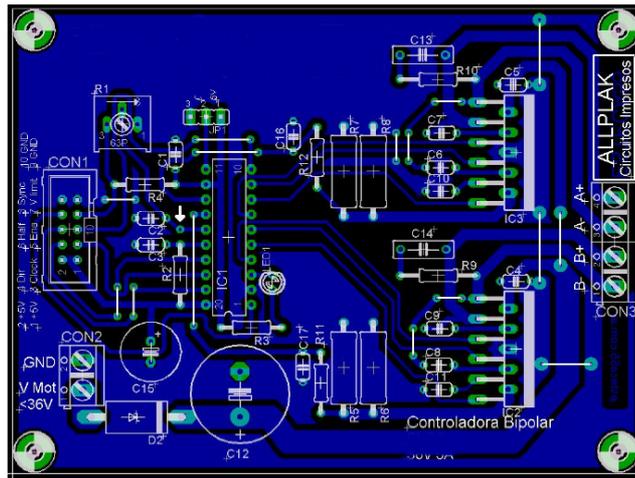


Figura 2.34 Stepper drive con un L297 y dos L298.

Las marcas de drives para motores a pasos más comercializadas son las:

- | | |
|------------------|------------------------|
| 1. Gecko Drives | 3. Viper DC Drives |
| 2. Vemaco Drives | 4. Totillos CNC Drives |

Todas estas marcas funcionan mediante un control de corriente, con el cual se varía la velocidad de funcionamiento del motor; de estas marcas se selecciona los Gecko Drives, por su nivel de compatibilidad con la tarjeta interface seleccionada, por su fácil manejo y disponibilidad en el mercado.

En la marca Gecko Drives existen varias versiones de tarjetas, de las cuales se escoge la versión G202 por el margen del corriente que controla y por las referencias de su óptimo trabajo en máquinas CNC, sus especificaciones se detallan en la sección 3.3.3 y su apariencia física se indica en la Figura 2.35.



Figura 2.35 Stepper Gecko Drive G202.

2.4.2.3 Selección de la tarjeta controladora para servomotores (Servodrive).

Estas tarjetas controladoras se pueden diseñar utilizando elementos electrónicos especiales como el PIC LM629 que es un microcontrolador MPID con el cual se puede tener el control de giro y posición mediante su programación; sin embargo en este caso se necesitaría un tiempo mayor hasta importarlo de los EEUU pues no se encuentra disponible en el mercado nacional, además de tiempo para realizar el diseño del drive, realizar pruebas y probar una incierta compatibilidad del drive con la tarjeta interfaz.

Por tales razones se prefiere en lugar de importar este elemento, importar el servodrive ya construido, para evitar complicaciones posteriores en el control del motor y fallas en el proceso de manufactura. Las marcas de servodrives más comercializadas son:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Gecko Drives | 3. Viper DC Drives |
| 2. National instruments | 4. UHU HP |

De estas marcas se seleccionan los Gecko Drives, por ser los más comercializados, por su fácil manejo y su compatibilidad con la tarjeta interface seleccionada; en esta marca existen los servodrives G320 y G340, de los cuales se selecciona la versión G340 por el nivel de corriente que controla y sus referencias del óptimo trabajo en máquinas CNC, sus especificaciones se exponen en la sección 3.3.2 y su apariencia física en la Figura 2.36



Figura 2.36 Servodrive Gecko G340.

2.4.3 SELECCIÓN DE SENSORES, ELEMENTOS DE MANDO Y PROTECCIÓN.

Estos elementos son utilizados para el control del funcionamiento del Router CNC y para la protección del mismo en caso de fallas de energía y de funcionamiento.

2.4.3.1 Selección de sensores.

Los sensores utilizados en el Router CNC se configuran como finales de carrera (*Limit Switch*) y como referencia (*Home Switch*), y son independientes por cada eje.

Estos sensores pueden ser mecánicos como pulsadores, microswitch, estos últimos se seleccionan y se acoplan como Limit Switch; y sensores electrónicos con optotransistores, los cuales se seleccionan y se acoplan como Home Switch por su continua utilización respecto de los Limit Switch.

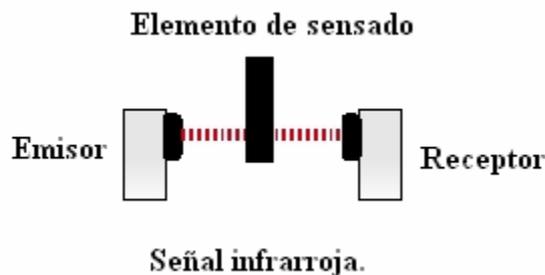


Figura 2.37 Sensor Optotransistor.

En la Figura 2.37 se indica un sensor optotransistor el cual emite un haz de luz de emisor a receptor y se activa al obstruir dicha señal.

2.4.3.2 Selección de elementos de mando.

Los elementos de mando serán los pulsadores de encendido y paro de emergencia ., que son comúnmente utilizados en máquinas industriales, estos elementos de mando se indican en la Figura 2.38

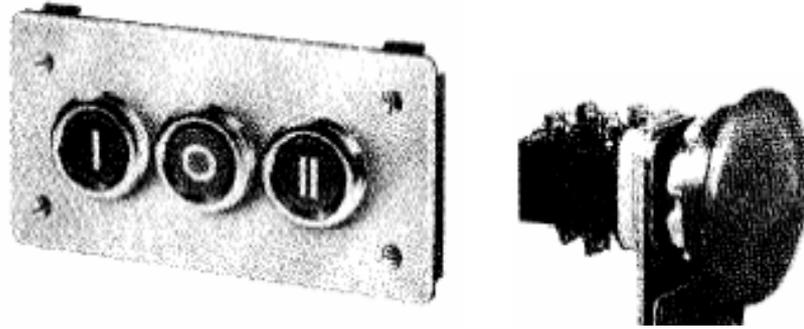


Figura 2.38 Elementos de mando para el Router CNC.

2.4.3.3 Selección de elementos de protección.

Puesto que el Router CNC se alimenta con un nivel de potencia bajo, se seleccionan fusibles ultrarrápidos, uno por cada drive y un interruptor magnetotérmico para la protección general, los valores de corrientes se calculan en la sección 3.2.2.

Las conexiones de los elementos de protección así como de todo el sistema de control electrónico se detalla en el Anexo B.

2.5 DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

La fuente de alimentación es diseñada para energizar los Gecko drives G340 y G202; los datos necesarios de diseño son los que se muestran en la Tabla 2.3, en la cual se muestran los requerimientos de voltaje y corriente para cada eje.

Para asegurar un correcto diseño de la fuente de alimentación se ha adquirido un transformador que proporcione en sus bornes tanto el voltaje como la corriente necesaria para cada actuador; el transformador seleccionado es de la marca Siemens, sus características se muestran en la Tabla 2.4

	Bornes X1 – X2	Bornes X3 – X4	Bornes X5 – X6
Voltaje	40VAC	40VAC	30VAC
Corriente	5A	5A	2.5A

Tabla 2.4 Características del transformador de la fuente de alimentación.

Según las características mostradas en la Tabla 2.4, para tener el voltaje DC necesario para alimentar a los Gecko drive, solo fue necesario filtrar estas señales mediante un puente

rectificador a 10 amperios y por un condensador electrolítico de 220 uF y 50 V por cada fuente de alimentación conectada a cada drive.

2.6 SELECCIÓN Y ESTUDIO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL.

Los programas para el control del Router CNC son los programas CAD/CAM (Diseño Asistido por Computador / Manufactura Asistida por Computador).

La función CAD/CAM es importante en operaciones de maquinado, brinda la posibilidad de describir la trayectoria de la herramienta para diversas operaciones, como torneado, fresado y taladrado con control numérico. Las instrucciones o programas se generan en computadora pueden ser modificadas por el programador para optimizar la trayectoria de las herramientas y mejorar la productividad.

2.6.1 SELECCIÓN DE LOS PROGRAMAS CAD.

Estos programas se utilizan como una herramienta para poder diseñar y visualizar los modelos de puertas antes de ser llevados a la manufactura; estos programas CAD se encuentran a disposición general y son de fácil acceso y utilización; los más utilizados son:

1. Autodesk (Autocad, Inventor, Mechanical)
2. SolidWorks
3. Eagle (Para ruteados PCB)
4. Proteus Ares (Ruteados PCB)
5. Programas de diseño gráfico

De los programas mencionados se selecciona el programa Autocad de la firma Autodesk por ser uno de los más versátiles en el diseño CAD, por su fácil adquisición y porque es uno de los programas de conocimiento general en Ingeniería.

2.6.2 ESTUDIO DEL PROGRAMA AUTOCAD⁴⁰

Puesto que éste es un programa de uso general en Carreras de Ingeniería, se puede obviar detalles de utilización, excepto por la siguiente característica relacionada con procesos CAD/CAM

⁴⁰ <http://partnerproducts.autodesk.com/catalog/default.asp?tutcad3=ES.pdf>

Los diseños deberán ser guardados con la extensión DXF, la misma que contiene todas las características del dibujo; en el menú *Archivo/Guardar Como*, buscando esta extensión en el cuadro de diálogo como se indica en la Figura 2.39

Z

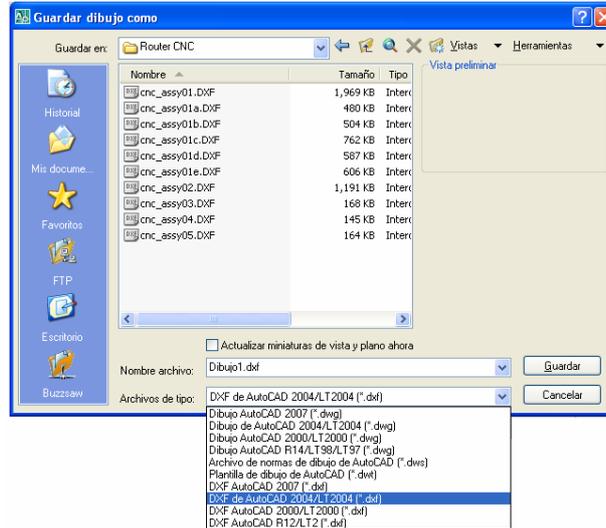


Figura 2.39 Autocad Guardar como, extensión DXF.

2.6.3 SELECCIÓN DE LOS PROGRAMAS CAM.

Estos programas llevan el dibujo a la etapa final, pues se encargan de generar un conjunto de instrucciones ejecutables de movimiento a partir de un diseño realizado en los programas CAD, los programas CAM más utilizados en sistemas CNC son:

1. Artsoft (Mach2 y Mach3)
2. Mastercam
3. SolidCam (Para SolidWorks)
4. Surfcam
5. KCam
6. Bob CAD/CAM
7. Turbo CNC
8. Visual CAM

Todos los programas CAM tienen una interface amigable para el usuario, contienen modos de edición para modificar los programas de manufactura, etapas de visualización para la simulación y en tiempo real del desarrollo del trabajo, modos de selección para configuraciones locales, selección de la herramienta, secciones para el ingreso de códigos G para el control manual del Router, etc.

La desventaja es el nivel de compatibilidad con la variedad de tarjetas electrónicas utilizadas en máquinas CNC, y su costo de adquisición.

Con estas consideraciones, se selecciona el programa Mach3 de la firma Artsoft, por ser compatible con la mayoría de tarjetas electrónicas de uso en CNC especialmente con la tarjeta Campbell Rev.5 (sección 2.4.2.1), por su costo accesible, fácil manejo y por la posibilidad de visualización de los códigos G y el proceso de manufactura en tiempo real.

2.6.4 ESTUDIO DEL PROGRAMA MACH3MILL DE ARTSOFT.⁴¹

La etapa de configuración del programa Mach3Mill se indica en la sección 3.4.2.

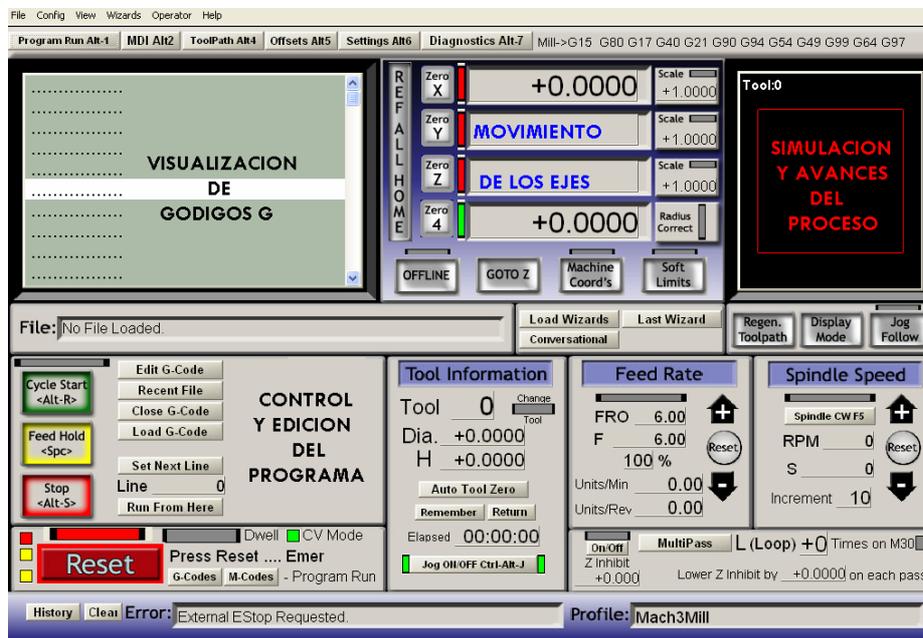


Figura 2.40 Entorno del programa Mach3Mill.

En la Figura 2.40 se indica el entorno de visualización principal del programa Mach3Mill, el cual dispone de una etapa de visualización de códigos G para ver el avance del programa; una etapa para el control y visualización del movimiento de los ejes; una etapa de simulación y visualización en tiempo real del proceso de manufactura; una etapa de control, edición, encendido/apagado del proceso, carga, y rebobinado del programa; una etapa de visualización del tipo de herramienta o “Tool information”; una etapa de control de la velocidad de avance rápido o “Feed Rate”; una etapa de control de la herramienta o “Spindle Speed”, un cuadro de diagnóstico de “Error” y un cuadro de ubicación del archivo o “Profile”.

⁴¹ <http://www.machsupport.com/artsoft/downloads/downloads.htm>

Varias de estas opciones se detallan minuciosamente en las pantallas de control que posee el Mach3Mill, y para acceder a éstas se puede dar clic en la barra que se indica en la Figura 2.41 y que se encuentra en la parte superior del entorno del Mach3Mill.



Figura 2.41 Control del entorno del programa Mach3Mill

La segunda pantalla que se utiliza en el programa Mach3Mill es la que se indica en la Figura 2.42, la cual se denomina MDI, en ésta se puede ingresar los códigos G manualmente en el cuadro de diálogo denominado Input, en el caso de requerir un control del Router CNC en esta modalidad.

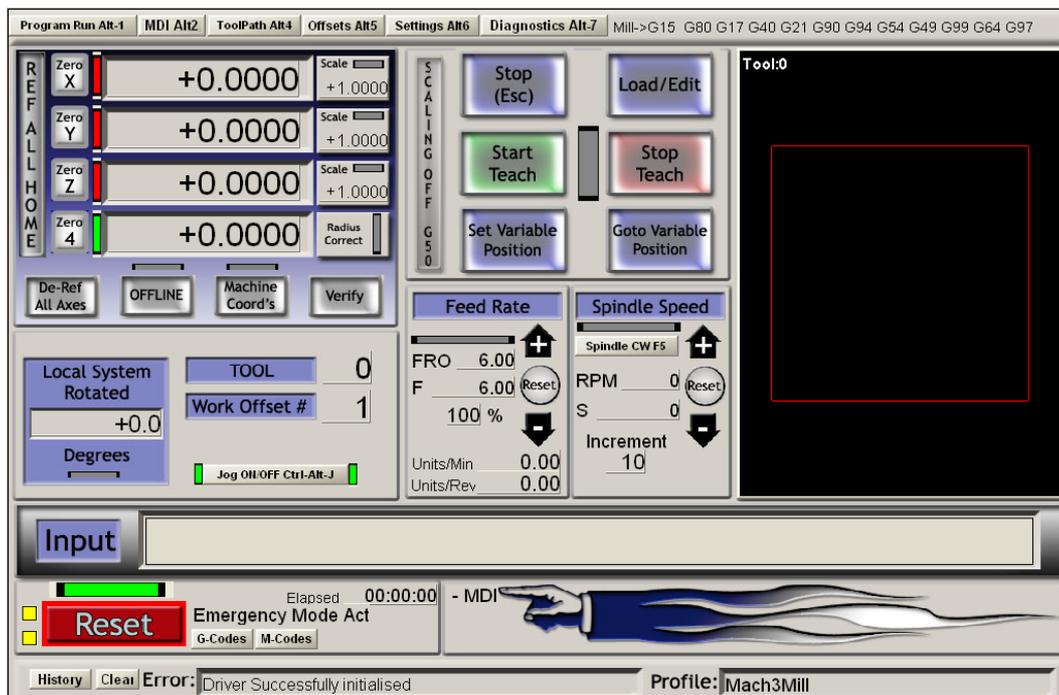


Figura 2.42 Pantalla MDI del programa Mach3Mill.

En la Figura 2.43 se indica la pantalla de diagnóstico, a la que se puede acceder al dar un clic en la opción *Diagnostics* en el cuadro de opciones que se muestra en la Figura 2.41, en esta pantalla se puede ver el estado del programa, se puede visualizar el tallado en tiempo real, el estado de las entradas *Limit*, *Home*, *EStop*, etc., controlar el avance del programa, ingresar códigos G manualmente, etc.

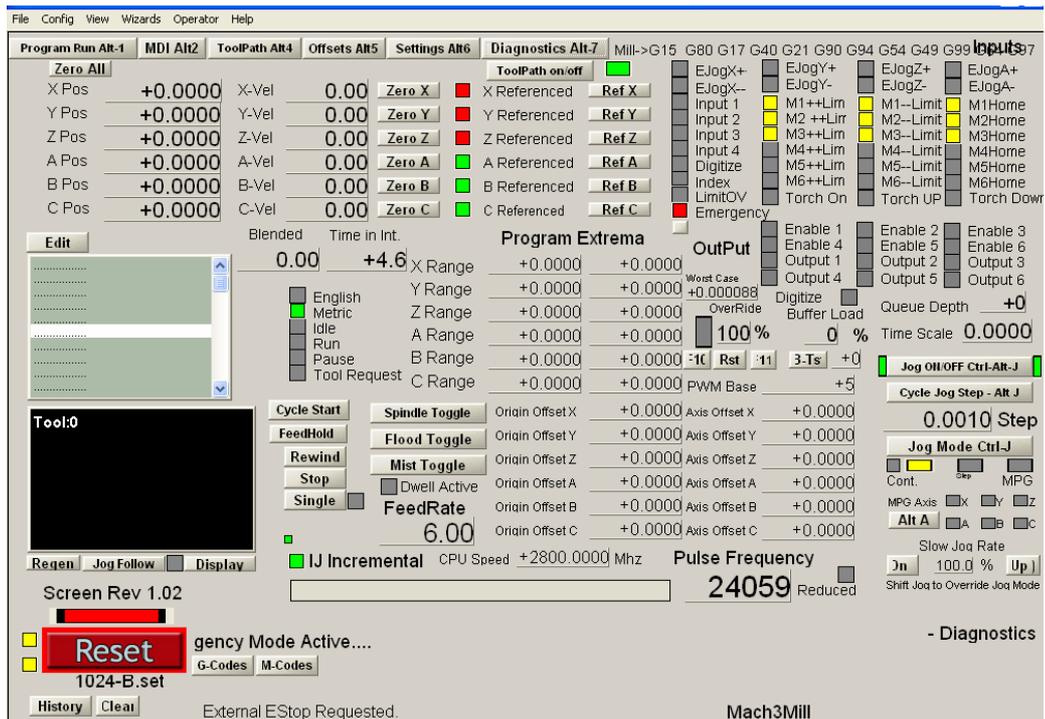


Figura 2.43 Cuadro de diagnóstico del programa Mach3Mill.

2.7 CÓDIGOS UTILIZADOS EN CNC⁴²

Los códigos más utilizados en Routers CNC se dividen en dos grupos, el primero se utiliza para ejecutar varias funciones preparatorias y el otro para las funciones misceláneas; además es posible que existan códigos específicos a una máquina particular.

2.7.1 FUNCIONES PREPARATORIAS.

Estos códigos cumplen con las funciones más importantes en programación CNC, su ejecución permite el desarrollo del proceso de manufactura debido a que rigen el sistema CNC, los más importantes son los siguientes.

- G0 Avance rápido.
- G1 Interpolación Lineal, mediante el movimiento de los ejes en direcciones rectas
- G02 Interpolación Circular en el sentido horario.
- G03 Interpolación Circular en sentido antihorario.

⁴² <http://users.bergen.org/jdefalco/CNC/>

2.7.2 FUNCIONES MISCELÁNEAS.

Estas funciones se representan mediante códigos M, y cumplen operaciones como el control del líquido enfriador, conexión y dirección del mandril, rebobinado, y fin del programa. Los códigos M van desde M00 a M99 y son asignados por el operador de la máquina, los códigos más utilizados son los siguientes.

M2	Fin del Programa.
M3	Comienzo de la rotación del mandril en el sentido horario.
M4	Comienzo de la rotación del mandril en el sentido antihorario.
M7	Inicio del aporte de rocío enfriador.
M8	Inicio del flujo del enfriador.
M9	Paro del aporte de rocío enfriador y del flujo del enfriador.

Los códigos mencionados se editan y se ejecutan línea a línea, la estructura de una instrucción se puede representar mediante el siguiente ejemplo.

G0 X500 F50

Significa que se haga un avance rápido **G0**, en el eje X moviéndose 500 unidades (milímetros o pulgadas) a una tasa de avance o velocidad de 50 unidades por minuto

CAPITULO 3

CONSTRUCCION Y MONTAJE.

3.1 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO.

La construcción del Router CNC se ha realizado siguiendo la misma secuencia desarrollada en el diseño del mismo, la cual está detallada en el Capítulo 2, y tomando en cuenta las medidas y los materiales que se indican en los planos mecánicos adjuntos en el Anexo A.

Un factor muy importante en el diseño de las estructuras que conforman el Router CNC es el peso de cada una, por consiguiente, siempre se trató de construir estas estructuras de tal forma que su peso sea lo más reducido posible, para que los actuadores puedan acoplarse con facilidad al Router, y no tener problemas posteriores en el control del movimiento de dichas estructuras o carros.

3.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL CARRO Z (EJE Z).

Este proceso se inicia con la selección y adquisición de la herramienta de fresado o Tupí, posteriormente se construye la mordaza para la sujeción del mismo, la cual se construye de Nylon A6/6 por su alta rigidez y por su bajo peso, para alivianar el carro Z al máximo; el Tupí se sujeta en la mordaza mediante pernos M6, y a su vez la mordaza se acopla a la placa soporte mediante pernos M8, tal como se indican en la Figura 3.1

La mordaza de sujeción del Tupí se acopla a una placa soporte, la misma que se construye de acero SAE1018 por ser un material rígido, maquinable y por ser comúnmente utilizado

en la construcción de máquinas herramienta, ésta placa soporte se indica en la Figura 3.1 y sus detalles de construcción se indica en el Anexo A.

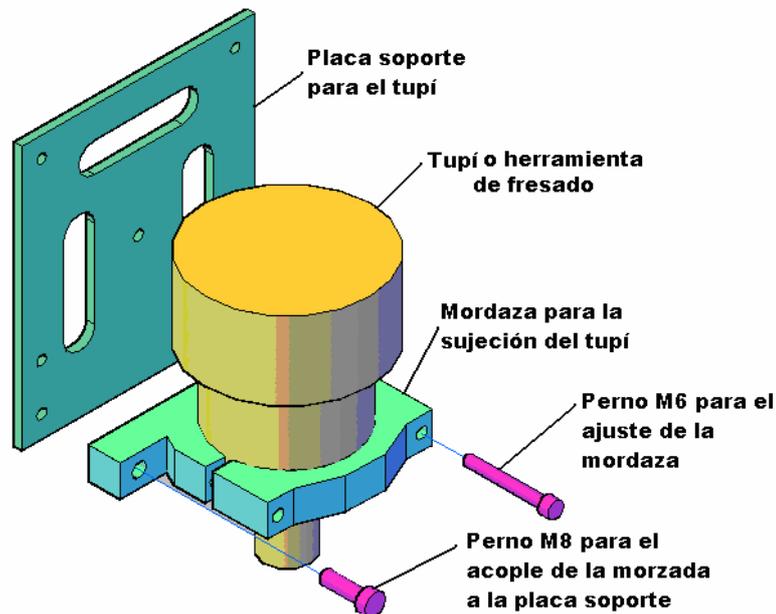


Figura 3.1 Mordaza y placa soporte para el acople del Tupí.

A continuación se adquieren los rodamientos lineales de diámetro 12 mm y se construyen las bases para acoplarlos a la placa soporte que fue mostrada en la Figura 3.1, estas bases para los rodamientos lineales se construyen de Nylon A6; y se acoplan mediante los pernos M6 tal como se indican en la Figura 3.2

Conjuntamente con las bases para los rodamientos lineales de diámetro 12 mm se acopla a la placa soporte, la tuerca M12 construida de acero SAE1040, un material especialmente utilizado para la construcción de elementos roscados; y para su acople a la placa soporte de Tupí se utilizan pernos M6, tal como se indica en la Figura 3.2

Los rodamientos lineales de diámetro 12 mm se deslizan a través de los ejes guías de diámetro 12 mm, adquiridos de material DF2, el cual está calibrado a este diámetro y soporta grandes esfuerzos de flexión, estos ejes se acoplan tal y como se indica en la Figura 3.2

La tuerca M12 se desliza a través del tornillo trapecial M12, de tal forma que genera el movimiento del Router CNC a través del eje Z, este tornillo se construye de acero

SAE1045, un material utilizado para la construcción de elementos roscados, los detalles de su acople se indican en la Figura 3.2

Los ejes guías de diámetro 12 mm y el tornillo M12 se disponen en forma vertical paralela y el perno M12 en la mitad de los ejes a fin de darle estabilidad al movimiento en el eje Z, tal como se indica en la Figura 3.2.

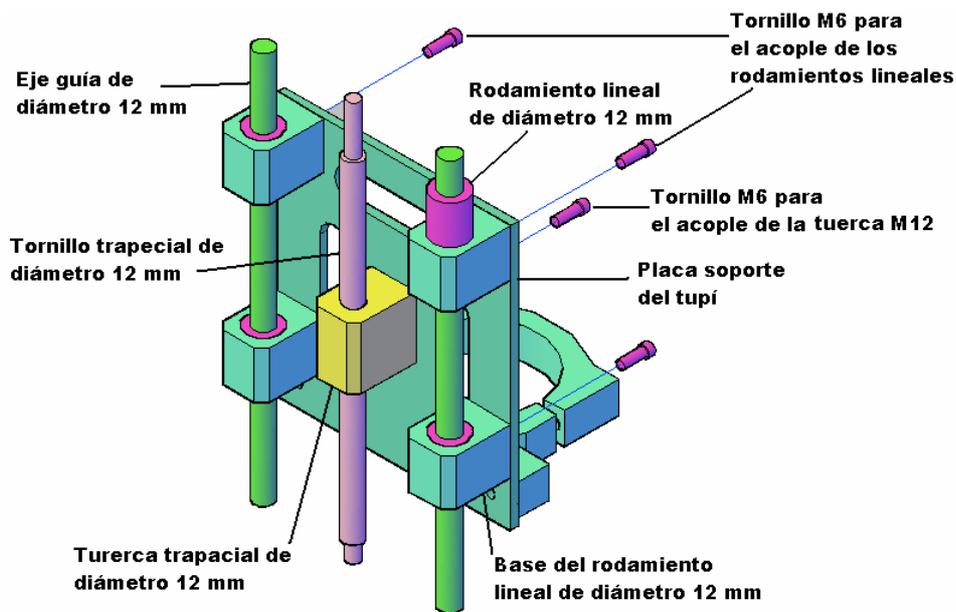


Figura 3.2 Acople de ejes guías de diámetro 12 mm y tornillo M12

Posteriormente la estructura que se mostró en la Figura 3.2 es acoplada en una placa soporte en forma de C, construida de acero SAE1018, por sus características anteriormente detalladas, en esta placa se sujetan los ejes guías de diámetro 12 mm mediante tornillos M6 y el tornillo traercial M12 mediante dos chumaceras de diámetro 8 mm, el acople de todas las partes mencionadas se indica en la Figura 3.3

En la parte superior de la placa soporte se acopla el motor a pasos que fue seleccionado según la sección 2.4.1, para generar el movimiento del Tupí a través del eje Z, este motor fue adquirido sin ningún tipo de reductor mecánico incorporado, y puesto que no tiene una velocidad elevada, se acopló directamente al tornillo M12 para producir el movimiento correspondiente, su disposición física en la placa en C se indica en la Figura 3.3

Se utilizó un bocín de acero SAE1040 para el acople entre el eje del motor Z y el tornillo M12, de esta forma se asegura una efectiva transmisión de movimiento del motor al tornillo, tal como se indica en la Figura 3.3

La forma de calibración del carro Z es muy sencilla, se acopla la estructura tal como se indica en la Figura 3.3 excepto por el tornillo M12 y el motor Z, se mueve la placa soporte del Tupí de un lado a otro a través de los ejes guías de diámetro 12 mm hasta que su movimiento se vuelva suave, para lograrlo se pueden girar los ejes independientemente, una vez que la placa soporte del Tupí se mueva con facilidad se la traslada manualmente al extremo superior de la placa en C, entonces se acoplan los ejes guías de diámetro 12 mm a la placa en C mediante pernos M6, posteriormente se traslada la placa soporte al extremo inferior de la placa en C y se ajusta el otro extremo de los ejes de diámetro 12 mm a esta placa mediante pernos M6, el resultado es un movimiento suave y estable de la placa soporte del Tupí.

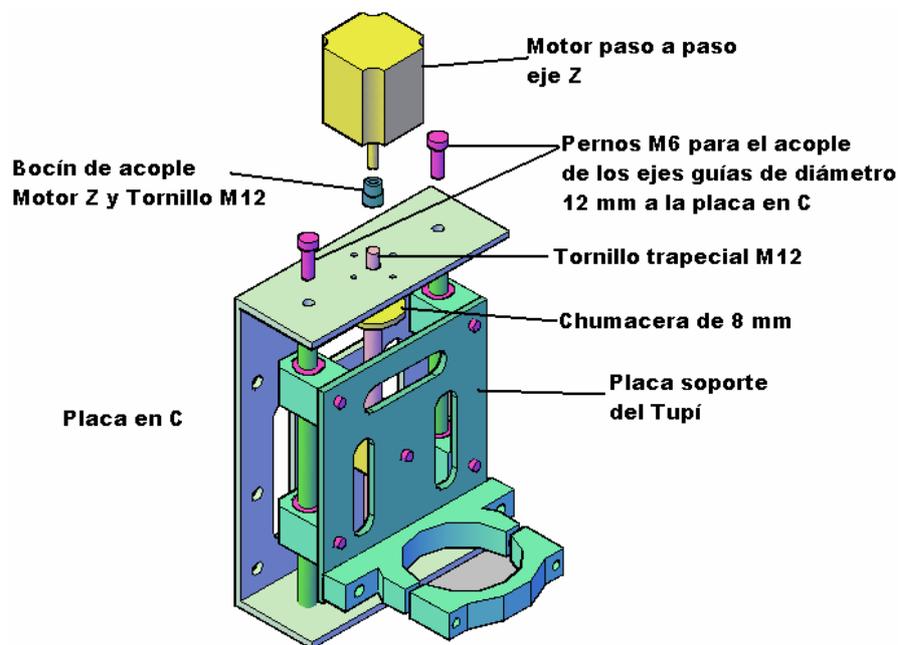


Figura 3.3 Acople de la placa en C y motor Z.

Posteriormente se coloca el tornillo M12 y se vuelve a realizar el procedimiento de calibración detallado, y finalmente se coloca el motor paso a paso del eje Z.

Para un óptimo movimiento en el eje Z, es necesario que los ejes guías de diámetro 12 mm y el tornillo M12, estén completamente paralelos entre si, esto se logra construyendo una placa en C con las medidas exactas y realizando el procedimiento de calibración anteriormente detallado las veces que sean necesarias.

3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL CARRO X (EJE X).

El siguiente paso es adquirir los rodamientos lineales de diámetro 20 mm, y construir unas bases para los mismos en Nylon A6/6 y acoplarlas en la parte posterior de la placa en C correspondiente al carro Z mediante pernos M10 para generar el movimiento a través del Router CNC a través del eje X, la disposición física de los rodamientos lineales se indica en la Figura 3.4

Los rodamientos lineales de diámetro 20 mm se deslizan a través de los ejes guías de diámetro 20 mm tal como se indica en la Figura 3.4; para darle estabilidad al movimiento del Router CNC en el eje X; estos ejes de diámetro 20 mm fueron adquiridos de acero DF2, un material de gran resistencia a la flexión y que está calibrado a este diámetro.

En la parte central de la placa en C se acopla la tuerca de precisión M16 mediante dos pernos M5, esta tuerca de precisión fue adquirida conjuntamente con el husillo a bolas M16 de la casa fabricante **Techno Inc.**, de los EEUU, por tal motivo solo fue necesario su acople una vez adquiridos cada unos de estos elementos, la razón de su adquisición en el exterior es porque en nuestro medio todavía no se fabrican este tipo de elementos con un elevado régimen de precisión.

La tuerca de precisión M16 se desliza a través del husillo a bolas M16 para producir el movimiento a través del eje X, el acople tanto de la tuerca de precisión M6 como del husillo M16 se indica en la Figura 3.4 y sus dimensiones se indican en el Anexo A.

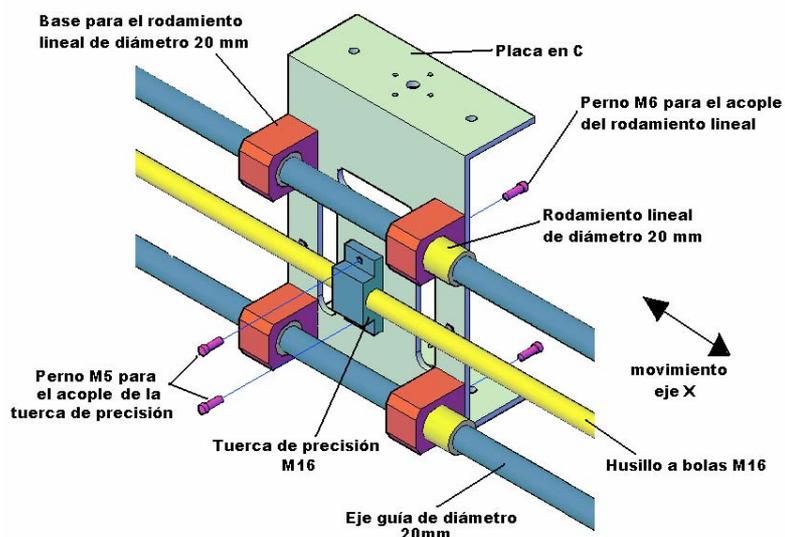


Figura 3.4 Acople de ejes guías de diámetro 20 mm y husillo M16

Tanto los ejes guías de diámetro 20 mm como el husillo a bolas M16 se acoplan a dos placas laterales construidas de fundición de aluminio AA2024, un material rígido y de bajo peso que permitirá que la estructura del carro X logre la estabilidad que se necesita para el movimiento del Router CNC a través del eje X, los detalles de construcción se indican en el Anexo A y su disposición física se indica en la Figura 3.5

El carro X se refuerza mediante una placa inferior construida de fundición de aluminio AA2024, la cual permitirá que esta estructura quede completamente fija; y además de esta placa inferior se acopla una placa ubicada en la parte posterior del Router CNC, la cual se construye de MDF, puesto que ésta es simplemente un refuerzo para el carro X, para lograr que las placas laterales queden completamente paralelas; tanto las placas inferior como posterior se acoplan a las placas laterales mediante pernos M6, (Figura 3.5).

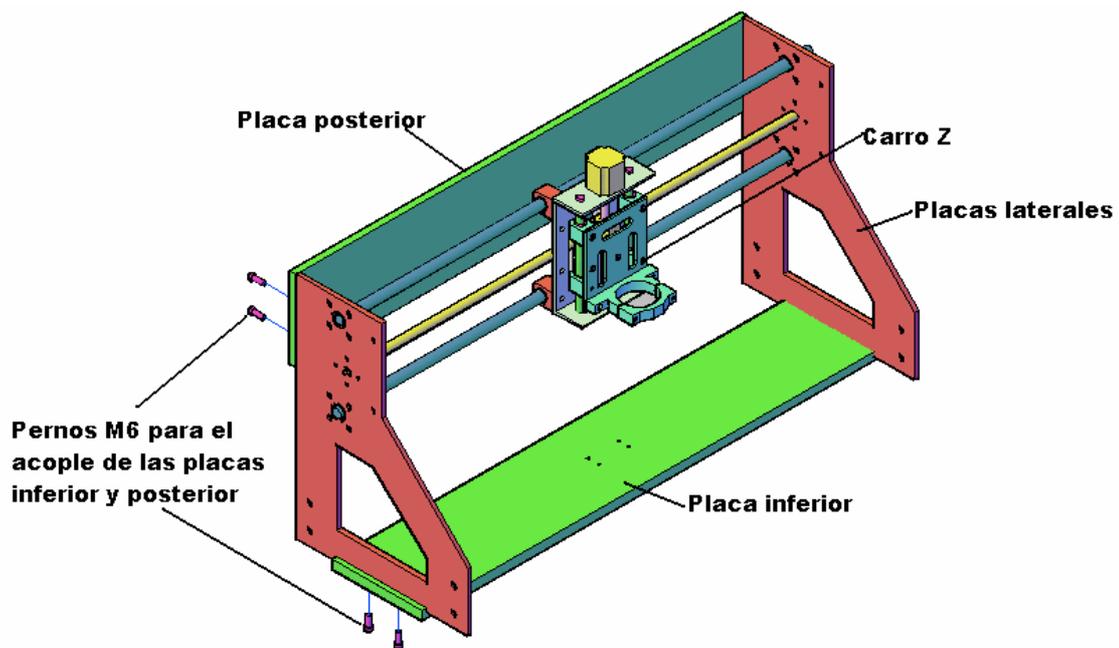


Figura 3.5 Acople de placas laterales, inferior y posterior

El husillo M16 se acopla a las placas laterales mediante dos chumaceras de diámetro 8 mm ubicadas en los extremos del mismo, estas chumaceras se acoplan mediante pernos M4 en las caras interiores de las placas laterales, tal como se indica en la Figura 3.6

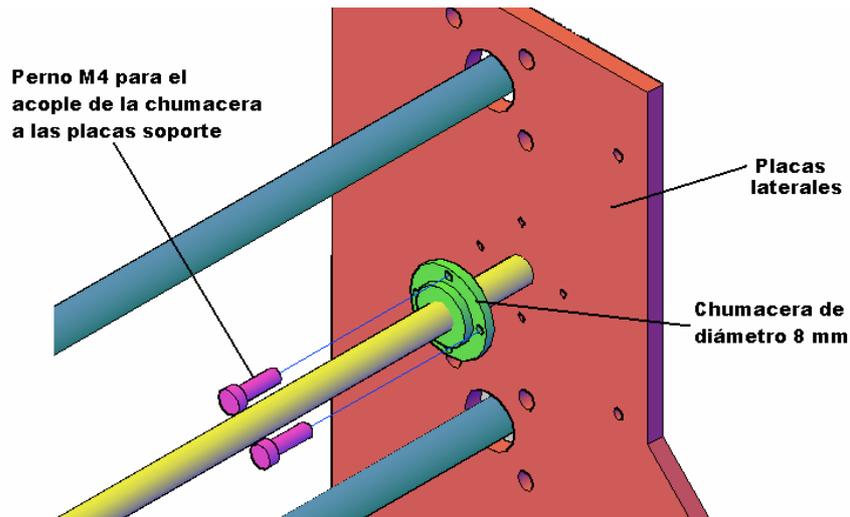


Figura 3.6 Acople de chumaceras de diámetro 8 mm.

Posteriormente se aseguran los ejes de diámetro 20 mm a las placas laterales mediante soportes de centrado, contruidos de Nylon A6/6 por sus características detalladas anteriormente, los cuales servirán para sujetar y acoplar los extremos de los dos ejes a las placas laterales.

Los soportes de centrado de forma de cubo alojan en su centro al extremo de un eje guía y lo centran mediante cuatro pernos M8 ubicados en sus cuatro caras laterales y lo acoplan a la placa lateral mediante pernos M10, los detalles de construcción de los soportes de centrado se indican en el anexo A y su disposición física en el Router CNC se indica en la Figura 3.7.

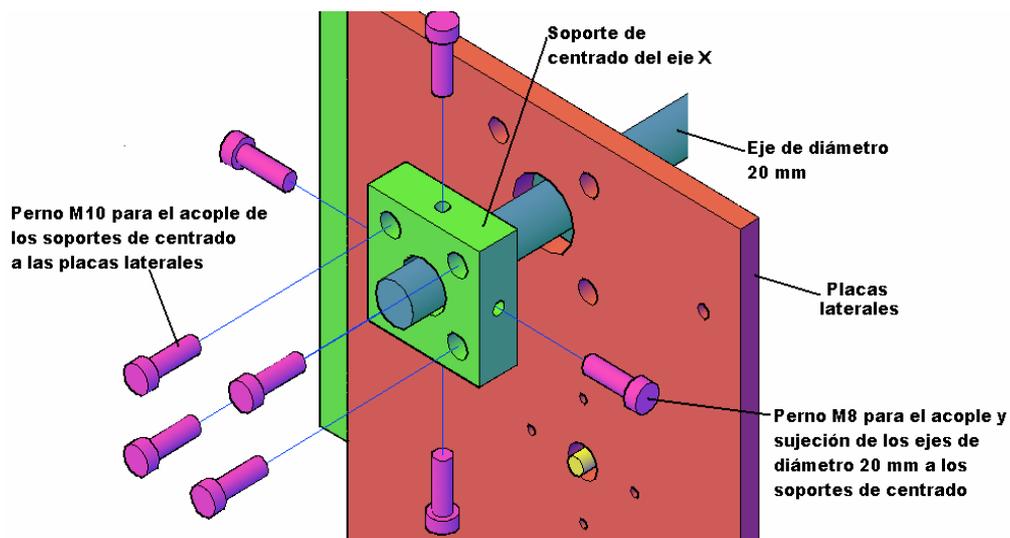


Figura 3.7 Acople de soportes de centrado en el carro X.

Los soportes de centrado no se utilizaron en el carro Z porque en éste las dimensiones de los ejes de diámetro 12 mm son relativamente pequeñas, y el centrado de los ejes es sencillo, por lo que simplemente se lo realiza con pernos M6.

A continuación se acopla el actuador que generará el movimiento del Router CNC a través del eje X, el elemento seleccionado es un servomotor, según la sección 2.4.1; el cual se acopla al husillo M16 (Figura 3.8); este servomotor fue adquirido con un reductor 1:3 incorporado en el mismo, por lo cual se vuelve necesario realizar pruebas posteriores del mismo para verificar su óptimo funcionamiento, principalmente las pruebas con las que se demuestre que el movimiento del servomotor venza la fuerza de corte ejercida por el material a tallar.

La sujeción del servomotor X se realiza mediante una mordaza construida de Nylon A6/6 por sus características detalladas anteriormente, y a su acople a la placa lateral mediante pernos M6, tal como se indica en la Figura 3.8, el servomotor se acopla en la placa lateral izquierda del carro Z, mirando al Router CNC de frente.

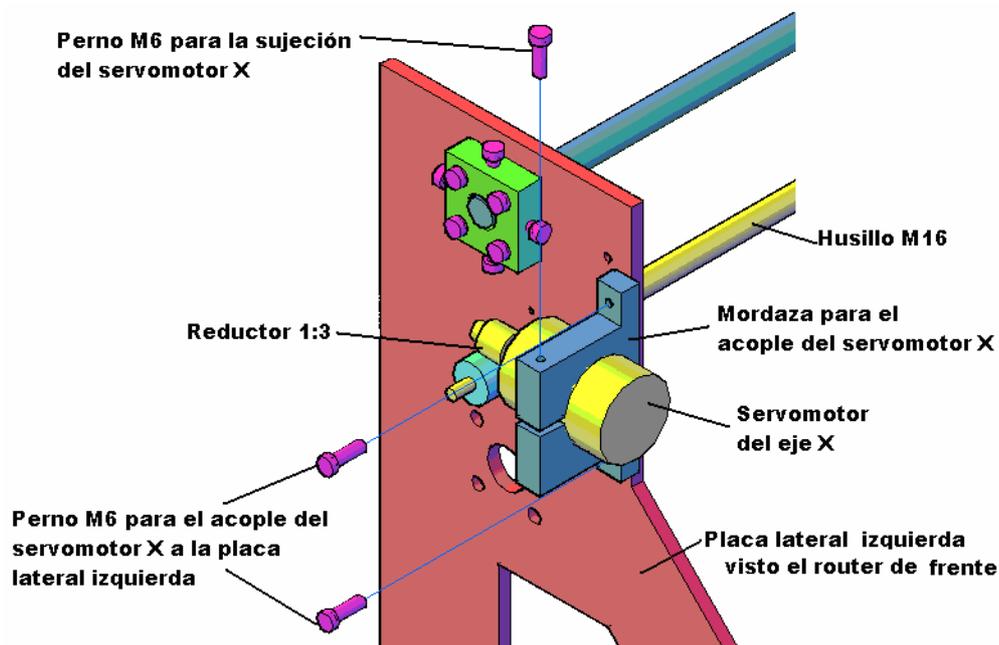


Figura 3.8 Acople del servomotor del eje X.

Para la calibración del carro X se acoplan todas las partes que se detallaron anteriormente, excepto por el husillo M16, la tuerca de precisión M16 y el servomotor X; en primer lugar se mueve manualmente el carro Z de un lado a otro a través de los ejes guías de diámetro

20 mm hasta obtener un movimiento suave del Router CNC a través del eje X, para lograrlo se pueden girar los ejes guías independientemente; a continuación se traslada el carro Z a uno de los extremos de su recorrido para sujetar los extremos de los ejes de diámetro 20 mm mediante los soportes de centrado, posteriormente se traslada el carro Z hasta el otro extremo de su recorrido en el eje X y se sujetan los otros extremos de los ejes de diámetro 20 mm mediante los soportes de centrado restantes, éste procedimiento se lo puede realizar las veces que sean necesarias, hasta que el movimiento del carro Z sea óptimo; finalmente se acopla la tuerca de precisión M16, el husillo a bolas M16 y el servomotor X, entonces el carro X está listo para realizar las pruebas de funcionamiento posteriores.

3.1.3 CONSTRUCCIÓN DEL CARRO Y (EJE Y).

La construcción de este carro se inicia con la adquisición de los rodamientos lineales de diámetro 30 mm, los mismos que se insertan en unas bases de Nylon A6/6 (por sus características detalladas anteriormente), y éstas a su vez se acoplan a las placas laterales del carro X mediante pernos M8, tal como se indica en la Figura 3.9.

En la parte central de la placa inferior del carro X se acopla la tuerca de precisión M25 mediante pernos M5, esta tuerca se desliza a través del husillo a bolas M25 para generar el movimiento del Router CNC a través del eje Y; la disposición en la placa inferior del carro X se indica en la Figura 3.9.

Los rodamientos lineales de diámetro 30 mm se deslizan a través de los ejes guías de diámetro 30 mm, para darle estabilidad al movimiento del Router CNC en el eje Y, estos ejes guías fueron adquiridos de material DF2 por sus características detalladas anteriormente.

Siempre será necesario que los ejes guías y los husillos estén limpios y lubricados, para evitar atascamientos y daños posteriores que perjudiquen en los procesos de manufactura.

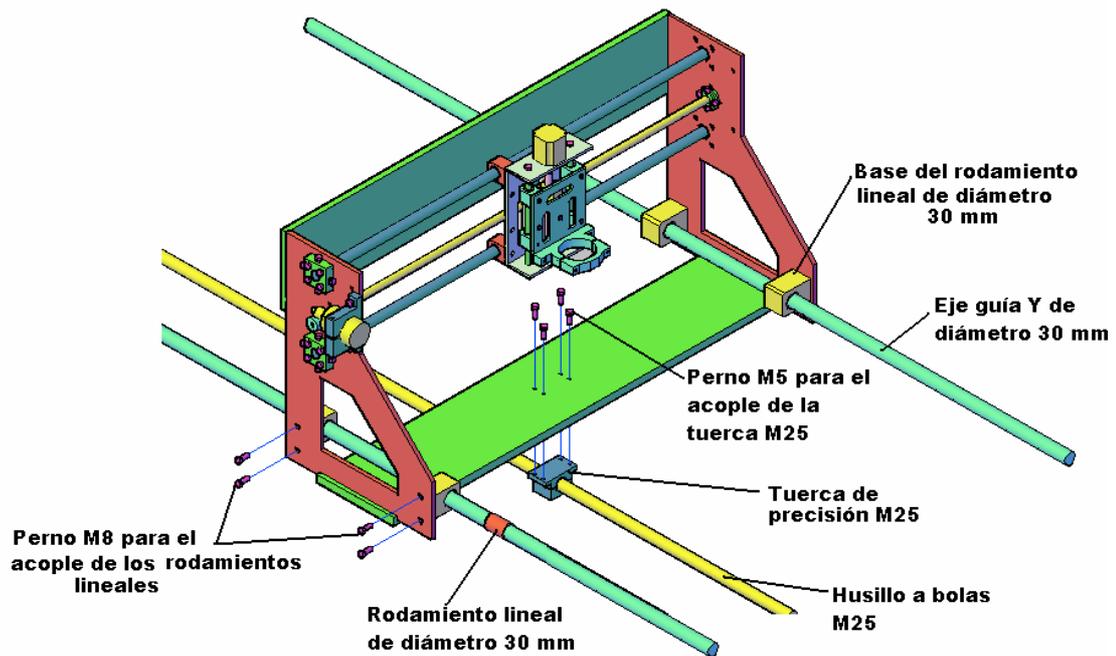


Figura 3.9 Acople de husillo a bolas M25 y ejes guías Y

La estructura que se mostró en la Figura 3.9 ahora se acopla a la mesa del Router CNC, la misma que está formada por dos tableros, uno frontal y otro posterior, además un tablero superior ranurado, sobre el cual irá la puerta a ser tallada y una estructura metálica sobre la cual se acoplan los tableros anteriormente mencionados mediante pernos M6, tal como se indica en la Figura 3.10, los tableros se construyeron de MDF y la estructura metálica de tubo cuadrado de 38 mm de arista, de hierro; conformando así una base firme sobre la cual se asentarán los carros que conforman el Router CNC, para realizar los trabajos de manufactura.

El tablero superior es ranurado, sus características de construcción se indican en el Anexo A; la disposición de las ranuras en el mismo se aprovecha para acoplar en éstas los elementos de sujeción para las puertas a ser talladas, de tal forma que la materia prima quede bien sujeta y no se tenga deformaciones durante su proceso de manufactura por movimientos innecesarios de la misma.

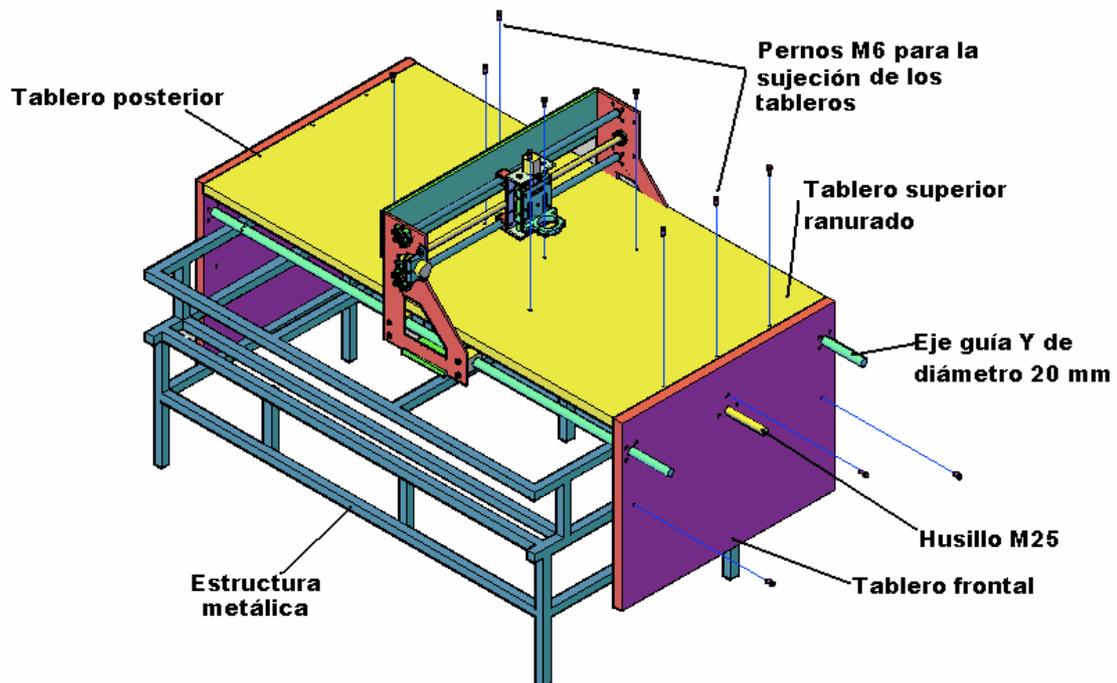


Figura 3.10 Mesa de trabajo del Router CNC.

A continuación se construyen los soportes de centrado, similares a los construidos para el carro X, pero tomando en cuenta el diámetro de los ejes guías acoplados en el eje Y, estos soportes se construyen de hierro fundido, un material duro y capaz de soportar el peso producido por los carros X, Y y Z, su disposición física en el Router CNC se indica en la Figura 3.10, la sujeción de los ejes guías de diámetro 30 mm se realiza mediante pernos M8 y su acople a los tableros frontal y posterior mediante pernos M10.

El husillo a bolas M25 se acopla en las caras interiores de los tableros frontal y posterior mediante dos chumaceras de diámetro 20 mm en cada extremo del mismo, de forma similar al acople que se dio en el husillo M16, que se mostró en la Figura 3.6

Tanto los ejes guías de diámetro 30 mm como el husillo M25, quedan acoplados por debajo del tablero superior ranurado, de tal forma que están protegidos de cualquier tipo de agente dañino que pueda afectar a la constitución de los mismos, sin embargo su limpieza y lubricación debe ser regularmente verificada.

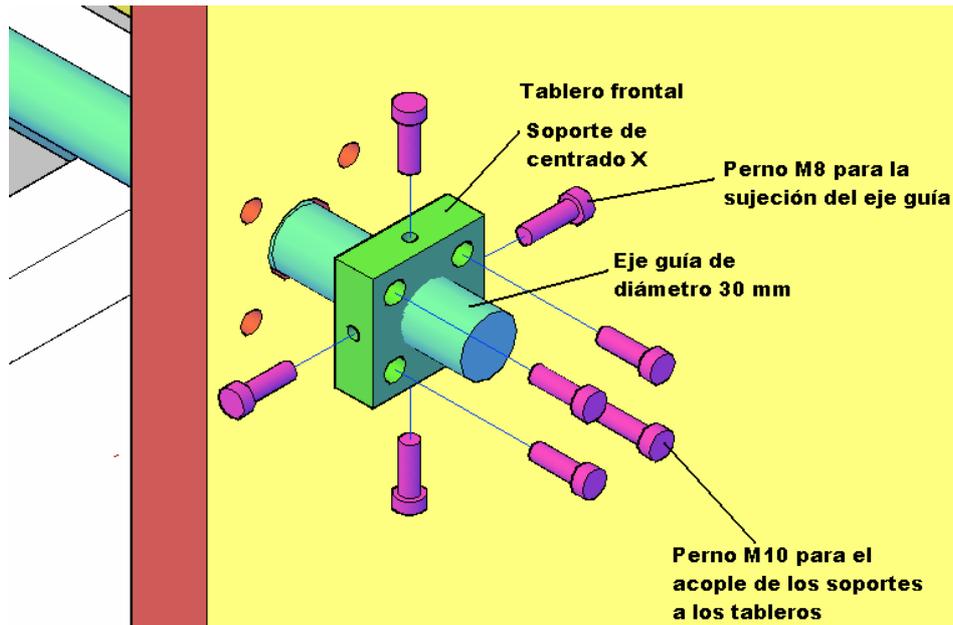


Figura 3.11 Acople de soportes de centrado en la mesa de trabajo.

A continuación se acopla el actuador que generará el movimiento del Router CNC a través del eje Y, el actuador seleccionado es un servomotor según la sección 2.4.1; el cual se acopla al husillo M25 tal como se indica en la Figura 3.12

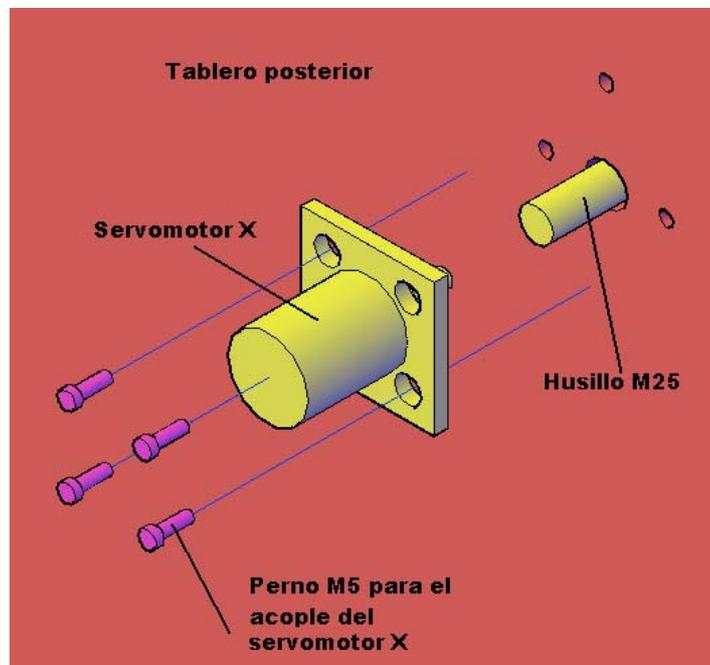


Figura 3.12 Acople del servomotor seleccionado para el carro Y.

El servomotor para el carro Y, fue adquirido con un reductor 1:10 incorporado en el mismo, entonces se optó por acoplarlo al husillo M25 y dejarlo listo para realizar pruebas posteriores de funcionamiento, de tal forma que se pueda verificar si el movimiento que genera a través del eje Y, pueda superar la fuerza de corte que genera el material a ser tallado, el servomotor Y se acopla al tablero posterior mediante pernos M5.

La calibración de la estructura que conforma el eje Y es compleja, por cuanto sus dimensiones son mayores respecto a las de los carros X y Z, y además porque se debe tomar en cuenta también el proceso de nivelación del tablero ranurado superior que conforma la mesa de trabajo, pues en éste se asentará la puerta a ser tallada y si no se toman en cuenta estos detalles de calibración, los resultados en el proceso de manufactura serán deficientes.

Para la calibración de esta estructura se utilizó un “Nivel” (instrumento de medición para trabajos de albañilería) y una tira de MDF completamente recta, una vez acopladas todas las partes del Router CNC mencionadas, el proceso se inicia nivelando los ejes guías de diámetro 30 mm con la ayuda de los soportes de centrado, además de situarlos de tal forma que queden completamente paralelos entre sí; el husillo M25, la tuerca de precisión M25 y el servomotor Y no se acopla todavía; el carro X debe moverse manualmente de un lado a otro entre los extremos de su recorrido a través del eje Y hasta que su movimiento se torne suave, para lograrlo se deben girar los ejes guías de diámetro 30 mm.

Una vez logrado un movimiento suave del carro X, se lo traslada hasta uno de sus extremos, entonces los ejes guías de diámetro 30 mm deberán ser sujetados definitivamente mediante los soportes de centrado respectivos, luego se traslada el carro X al otro extremo y se repite el mismo procedimiento; al final se tiene un movimiento a través del eje Y completamente calibrado, este procedimiento se lo puede realizar cuantas veces sean necesarias hasta obtener un movimiento óptimo.

A continuación se acopla en husillo M25, la tuerca de precisión M25 y el servomotor seleccionado para el eje Y.

Luego se procede a nivelar el tablero superior de la mesa de trabajo, el mismo que está asentado sobre la estructura metálica; se utilizarán rodela planas para levantar las partes del tablero que se encuentran hundidas, estas rodela se insertarán entre el tablero y la

estructura metálica para el efecto; además se dispondrán de pernos M6 a lo largo del tablero para nivelar la mesa en su totalidad.

Finalmente se acopla el sistema de extracción de viruta, el cual irá directamente dispuesto en el Tupí; este sistema se forma de dos partes, la primera la constituye una cubierta construida con cerdas de brocha, acopladas en una base de Nylon A6/6; las cuales rodean al útil del Tupí e impiden que la viruta se desprenda libremente y contamine el ambiente de trabajo; su disposición física se indica en la Figura 3.13.

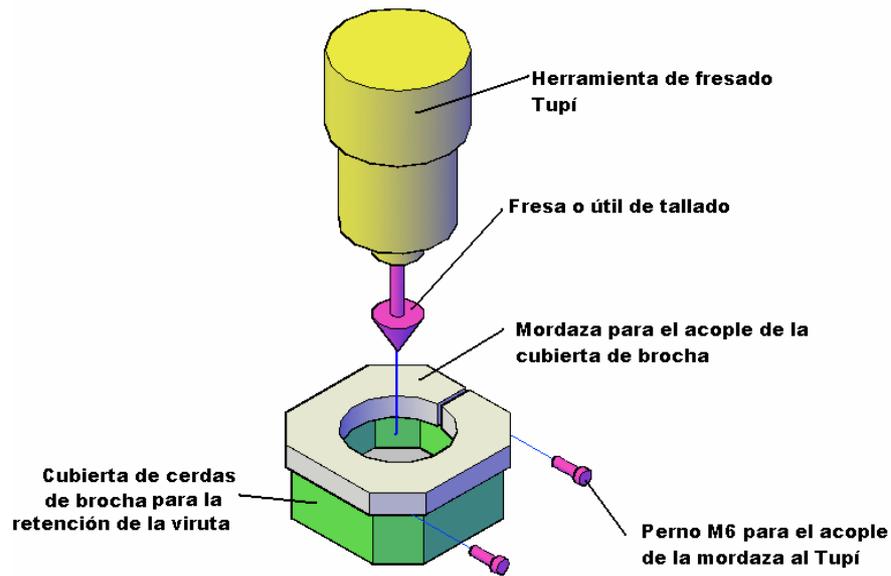


Figura 3.13 Acople de la cubierta de brocha en el Tupí.

La segunda parte del sistema de extracción de viruta la constituye una aspiradora o algún aparato industrial para el efecto, que permita la eliminación de la viruta generada durante el proceso de manufactura y que esté diseñado para trabajar en este tipo de ambientes; éste aparato de aspiración de viruta se conecta al punto de desprendimiento de la misma mediante una manguera, conjuntamente con la cubierta de brocha mencionada anteriormente.

Una vez culminado el proceso de construcción de la estructura metálica del Router CNC, se procede a implementar el sistema de control electrónico y posteriormente realizar las pruebas de funcionamiento y calibraciones finales.

3.2 ACOUPLE DE ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.

3.2.1 ACOUPLE DE LIMIT SWITCH, HOME SWITCH Y PARO DE EMERGENCIA ESTOP.

Los *Limit Switch* son elementos que se acoplan en los extremos de los recorridos de los carros X, Y y Z para detectar el final de sus recorridos y los *Home Switch* son los elementos que se acoplan en un punto situado entre los *Limit Switch*, para indicar el origen o punto de partida para el proceso de tallado; como *Limit Switch* se utilizarán finales de carrera de accionamiento mecánico por su óptimo funcionamiento y rendimiento; y como *Home Switch* se utilizarán sensores ópticos por su precisión para fijar el origen de coordenadas (0, 0, 0), del cual partirá el proceso de manufactura.

El paro de emergencia *EStop* será el elemento de accionamiento mecánico típico utilizado como paro de emergencia en los tableros de control de máquinas industriales; este elemento se acoplará en el tablero posterior del Router CNC, por su fácil acceso en el caso de darse alguna situación insegura durante el proceso de manufactura.

El accionamiento del paro de emergencia *EStop* permitirá que el Router CNC interrumpa por completo el proceso de manufactura, inmovilizando a los actuadores de los ejes X, Y y Z; y desconectando la alimentación del Tupí; hasta que cualquier problema surgido sea solucionado, luego del cual se puede liberar el paro de emergencia y continuar con el proceso de manufactura.

3.2.2 IMPLEMENTACIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.

Puesto que el Router CNC necesita una alimentación monofásica 110VAC/60Hz, que es una alimentación en baja tensión, el sistema de protección se puntualiza contra cortocircuitos, siendo los fusibles los elementos seleccionados para el efecto; los valores de corriente para la adquisición de estos elementos se tomarán de la Tabla 3.1.

	I con carga	I del fusible	I total	I del interruptor
Motor X	$I_1 = 3A$	$If_1 = 2 I_1 = 6A$	$I = I_1 + I_2 + I_3$ $I = 9.5A$	$I_t = 2I = 19A$
Motor Y	$I_2 = 4A$	$If_2 = 2 I_1 = 8A$		
Motor Z	$I_3 = 2.5A$	$If_3 = 2 I_1 = 5A$		

Tabla 3.1 Cálculo de corrientes para elementos de protección.

Entonces se instalarán tres fusibles ultrarrápidos de valores comerciales de 6, 8 y 5 amperios para la protección de cada Gecko Drive, y además de estos se implementará un interruptor termomagnético de 19 amperios o aproximado para la protección general de sistema, todas las conexiones se indican en el Anexo B, estos elementos se ubicarán en la caja de control.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO.

El sistema de control electrónico constará de la tarjeta interface Breakout Board Rev. 5 de la firma Campbell y tres Gecko Drive, uno por cada motor acoplado en la máquina, todos estos equipos serán ubicados en la caja de control, conjuntamente con los elementos de protección, elementos de encendido y apagado del Router CNC.

3.3.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA TARJETA INTERFACE BREAKOUT BOARD REV. 5

La tarjeta interface tiene las funciones de:

- Acoplar la etapa de control que se encuentra en la PC con la etapa de potencia que se encuentra en los actuadores a través de los drive.
- Recibir las señales de control emitidas por los Limit Switch, Home Switch, EStop y enviarlas al programa CAM, para controlar las operaciones de manufactura.
- Distribuir las señales de control de paso y dirección que necesitan los drives para realizar el control de los motores.
- Emitir las señales de activación de la herramienta; y activación de sistema de extracción de viruta.

3.3.1.1 Conexiones de la tarjeta interface Breakout board Rev. 5

Las conexiones de la tarjeta interface se indican en la Tabla 3.2; y en la Figura 3.14 se indica la vista superior de la misma; los elementos de verificación del funcionamiento de la tarjeta son los *LED9* y *LED10*; de los cuales el *LED9* habilita el funcionamiento general de la tarjeta siempre y cuando este encendido, y esto se logra siempre que los *Limit Switch*, *Home Switch* y *EStop* no estén activos; y el *LED10* se encenderá siempre que la tarjeta esté energizada.

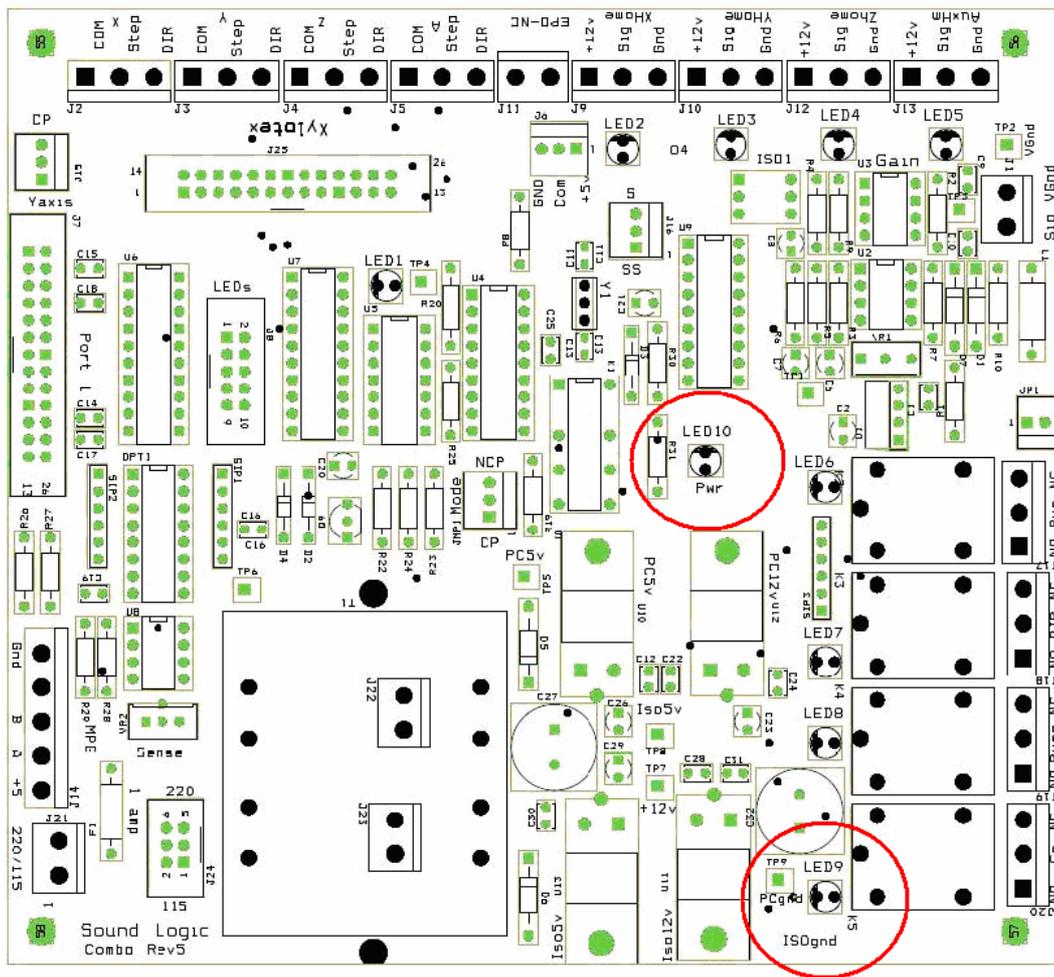


Figura 3.14 Vista superior de la tarjeta interface Breakout Board Rev. 5

BORNERA	TERMINAL	CONEXIÓN
J2 a J5	COM, Step, DIR	Señales para los drives X, Y y Z
J6	GND, COM, +5	Para los Gecko drive debe unirse COM y +5
J7	Puerto Paralelo	Conexión con el puerto paralelo
J8	LEDs	Conectar la tarjeta de LEDs
J9 a J13 Limit/Home Inputs	+12V, Sig, Gnd	Conexiones en paralelo ente los Limit y Home Switch (Figura)
J16	S, COM, SS	Conectar entre S y COM para habilitar a los relés
J17 a J20	NC, Run, NO	Salidas a relés
J21	220/110	Entrada alimentación VAC
J24	1, 2, 3, 4, COM	Conectar 1 con COM y 2 con COM en paralelo para habilitar 110VAC
TP3 y TP9	(+) y (-)	Conectar al voltímetro para fijar la señal de salida de J1

Tabla 3.2 Conexiones de la Breakout Board Rev. 5

La conexión entre el puerto paralelo de la PC y la tarjeta interface se ha realizado con el cable paralelo destinado para el efecto, el cual fue adquirido conjuntamente con la tarjeta interface de la casa fabricante *Campbell Designs*.

3.3.2 DRIVE SERVOMOTOR GECKO 340.

Este drive está implementado para el control de los ejes X e Y, su selección está dada en la sección 2.4.1, las conexiones del mismo se detallan en la Tabla 3.3 y su apariencia física se indica en la Figura 3.15

TERMINAL	CONEXION
POWER GROUND	GND a la fuente de alimentación.
+18 TO 80 VDC	Positivo a la fuente de alimentación.
ARM-	Al terminal negativo del motor.
ARM+	Al terminal positivo del motor.
ERR/RES	Conectarlo al terminal 7
ENC-	GND alimentación al encoder
ENC+	Positivo alimentación al encoder
PHASE A	Pulsos del canal A del encoder.
PHASE B	Pulsos del canal B del encoder
DIR	Señal de dirección de la interface
STEP	Señal de paso de la interface
COMMON	Señal común +5VDC de la interface

Tabla 3.3 Conexiones del drive Gecko G340.

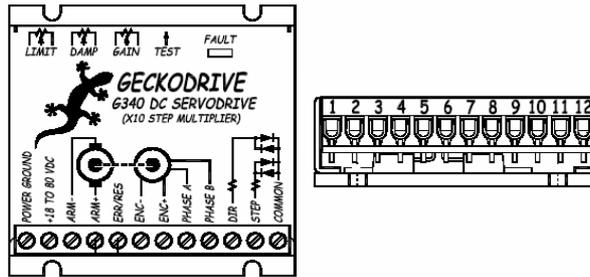


Figura 3.15 Gecko Servodrive G340.

El servodrive Gecko G340 entrega entre los terminales 6 y 7 una fuente de 5 VDC, de una corriente inferior a 50mA para la alimentación del encoder incorporado en el servomotor; si este encoder no genera señales de salida, es posible que requiera una corriente mayor, entonces se puede energizarlo con una fuente externa y conectar una resistencia de 470Ω entre los terminales 6 y 7 del drive; esto se verificará durante las pruebas de funcionamiento posteriores.

Una vez conectado y encendido el drive, el LED incorporado en el mismo se enciende durante unos segundos, tiempo en el cual el drive se sintoniza, posteriormente se apaga, quedando listo para trabajar.

3.3.3 DRIVE STEPPER MOTOR GECKO G202.

Este drive está implementado para el control del eje Z, especialmente para el control de la altura del Tupí, la selección de este drive se indica en la sección 2.4.1. Las conexiones del mismo se indican en la Tabla 3.4 y su apariencia física se indica en la Figura 3.16

TERMINAL	CONEXION
1	Tierra o GND de la fuente de alimentación de VDC.
2	Voltaje de alimentación en un rango de 24 a 80 VDC.
3	Al inicio del bobinado A del motor.
4	Al final del bobinado A del motor.
5	Al inicio del bobinado B del motor.
6	Al final del bobinado D del motor.
7	No se usa este terminal.
8	Al terminal de dirección DIR desde la tarjeta principal.
9	Al terminal de paso STEP desde la tarjeta principal.
10	Se conecta a +5 VDC del paso / dirección.
11	Se conecta al inicio de la resistencia R.
12	Se conecta al final de la resistencia R.

Tabla 3.4 Conexión del drive Gecko G202.

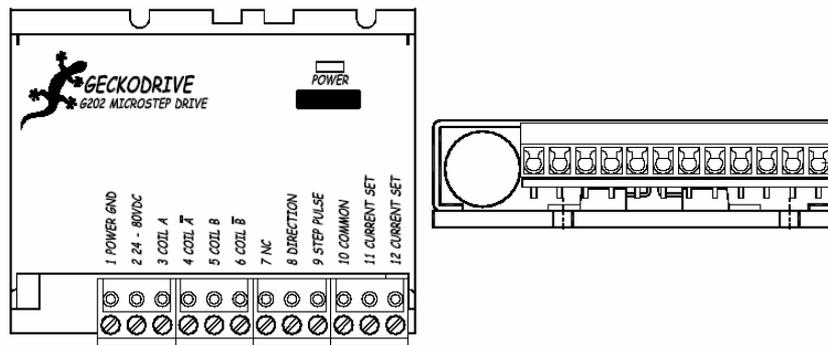


Figura 3.16 Gecko Microstep Drive G202.

Una vez energizado el G202 el LED incorporado en el mismo se enciende y permanece en este estado durante el tiempo de funcionamiento del drive; entre los terminales 11 y 12 se conecta la resistencia R, la cual se calcula en función de la corriente del motor ($I = 1.4A$ sección 2.4.1), con la siguiente ecuación⁴³

$$R = \frac{47I}{7 - I} = \frac{47(1.4)}{7 - 1.4} = 11.75k\Omega \quad R \approx 12K \quad \text{Ec. 3.1}$$

El resto de configuraciones para los drive Gecko G340 y G202 pueden quedar por defecto.

3.3.4 CABLEADO DEL SISTEMA.

La conexión entre la tarjeta interface y los drives se realizó mediante cable trenzado multipar flexible No. 18 AWG, por su elevado margen de transmisión de corriente, por su flexibilidad de manejo y por su característica especial de eliminación de interferencias de RF, su nivel de transmisión de velocidad máxima de 100 MBytes y su constitución física en forma de banda, la cual acopla de 30 pares de cables, facilitando su manejo y disposición en el Router CNC.

3.4 UTILIZACIÓN DE LOS PROGRAMAS CAD/CAM.

Para la etapa de diseño CAD se puede utilizar cualquier programa que pueda generar archivos DXF, JPG o HPGL, el más utilizado es el AUTOCAD 2007. Para la manufactura se utilizará el programa Mach3Mill como programa CAM por su compatibilidad con las tarjetas electrónicas seleccionadas y por ser un programa amigable y de fácil manejo.

⁴³ http://www.geckodrive.com/photos/G202_MANUAL.pdf

3.4.1 UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA AUTOCAD 2007.

El manejo del programa Autocad 2007 no tiene mayores complicaciones, puesto que es un programa de uso general en carreras de Ingeniería, este programa generará los archivos de diseño con la extensión DXF que contendrán los detalles del diseño que se pretende llevar a la manufactura.

3.4.2 UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA MACH3MILL.

Este programa CAM puede obtenerse en forma gratuita desde su página de descarga en la dirección www.artsoft.ca como una versión demo, la cual es suficiente para el control del Router CNC.

La computadora en la que se va a instalar debe ser de mínimo 1 GHz de procesador, 512MB de RAM, 512MB de espacio libre de disco como mínimo y ser modelo Pentium 4; y puesto que la PC seleccionada para el Router CNC cumple con éstos requerimientos, se procede a instalar los programas CAD/CAM.

El Mach3Mill deber ser configurado antes de proceder a realizar las pruebas de funcionamiento del Router CNC; se deben tomar muy en cuenta los ítems que se detallan a continuación.

3.4.2.1 Configuración de unidades nativas.

Las unidades de trabajo del Mach3Mill se configuran en el menú *Config/Select Native Units*, al acceder en este menú aparece el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.17



Figura 3.17 Cuadro de selección de unidades nativas para Mach3Mill.

Se puede trabajar en milímetros o pulgadas, estas son las unidades de configuración de los pasos por unidad, velocidad, aceleración y dimensiones del Router CNC; se selecciona la opción MM's o milímetros y se confirma al dar un clic en la opción OK.

3.4.2.2 Configuración de puertos y pines.

La configuración de puertos y pines se realiza al ingresar en el menú *Config/Ports and Pins*, en el cual se encuentra un cuadro de diálogo principal que contiene las siguientes pestañas.

a. Port Setup And Axis Selection.

Esta pestaña se indica en la Figura 3.18; en ésta se configura el puerto a utilizar, por defecto viene activado el *Port#1*, con la dirección 0x378 para escritura, si se activa el *Port#2* se lo puede utilizar como puerto de lectura con la dirección 0x278 o como puerto de escritura con la dirección 0x378.

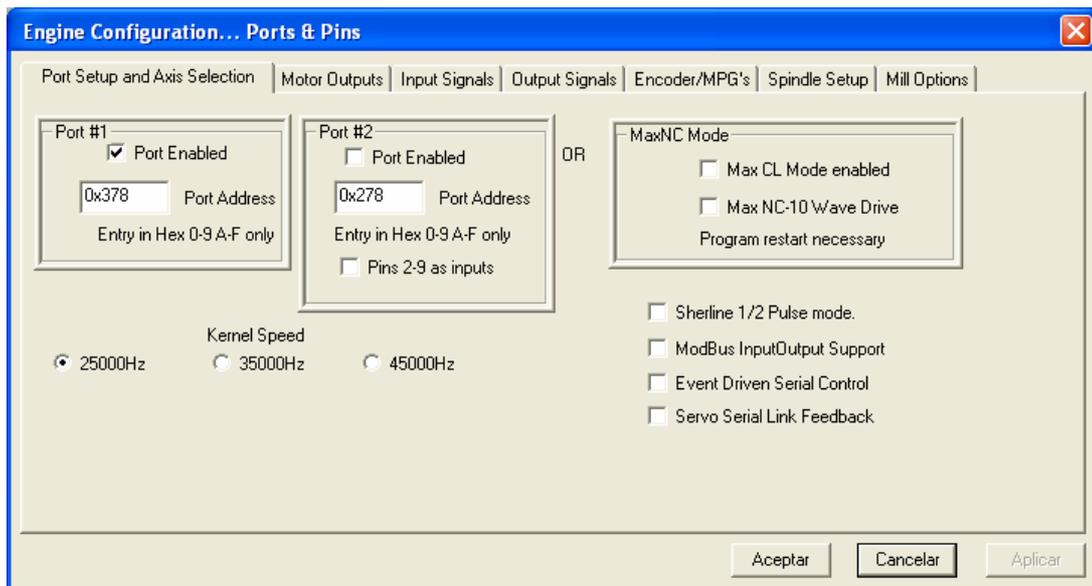


Figura 3.18 Configuración de puertos y pines

El Mach3Mill necesita configurar una frecuencia para la transmisión de los pulsos de paso y dirección hacia la tarjeta interface; ésta frecuencia es la que se indica en la Figura 3.15 como *Kernel Speed* y depende de la velocidad del procesador de la PC en la cual está instalado el Mach3Mill; de tal forma que si la PC tiene un procesador de hasta 1GHz la velocidad de transmisión recomendada es de 25000Hz, si el procesador es de hasta 2GHz, la velocidad recomendada es de 35000Hz y si el procesador supera los 2 GHz la velocidad

recomendada es de 45000 Hz, como el procesador de la PC seleccionada para el Router CNC es de 2.1 GHz, se escoge una velocidad de 45000Hz.

b. Motor Outputs.

Esta pestaña se indica en la Figura 3.19; en ésta se habilita el número de ejes a manejar (*Enabled*); se seleccionan los pines del puerto paralelo para direccionar las señales de paso (*Step*) y dirección (*Dir*); se selecciona el estado de dichas señales (*Dir Low Active & Step Low Active*) y el número puerto por el cual son enviadas (*Step port & Dir Port*).

Esta configuración debe ser realizada tomando en cuenta los datos de la tarjeta interface Breakout board Rev.5 que se mostraron en la Tabla 3.2; tales datos se indican ya configurados en la Figura 3.19

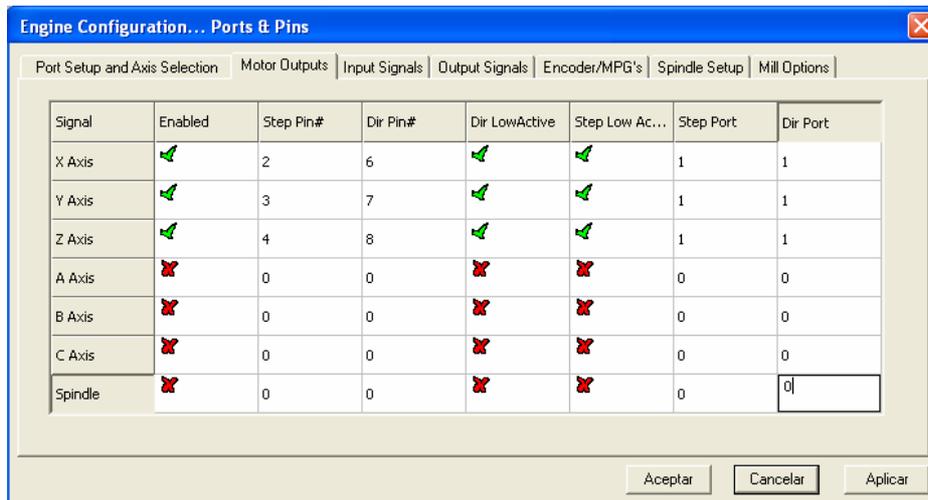


Figura 3.19 Configuración de salidas a los ejes en el Mach3Mill.

En el caso de necesitar corregir las direcciones de movimiento de los carros X, Y o Z se puede interactuar con los estados alto y bajo de la opción *Dir Low Active*.

c. Input Signals.

Esta pestaña es la que se indica en las Figuras 3.20 y 3.21; en éstas se detallan las configuraciones de los pines por los cuales se recibirán las señales de los *Limit Switch* (X++, X--, Y++, Y--, Z++, Z--), *Home Switch*, y del paro de emergencia (*EStop*); la forma de configuración de estas señales se toma de la Tabla 3.2

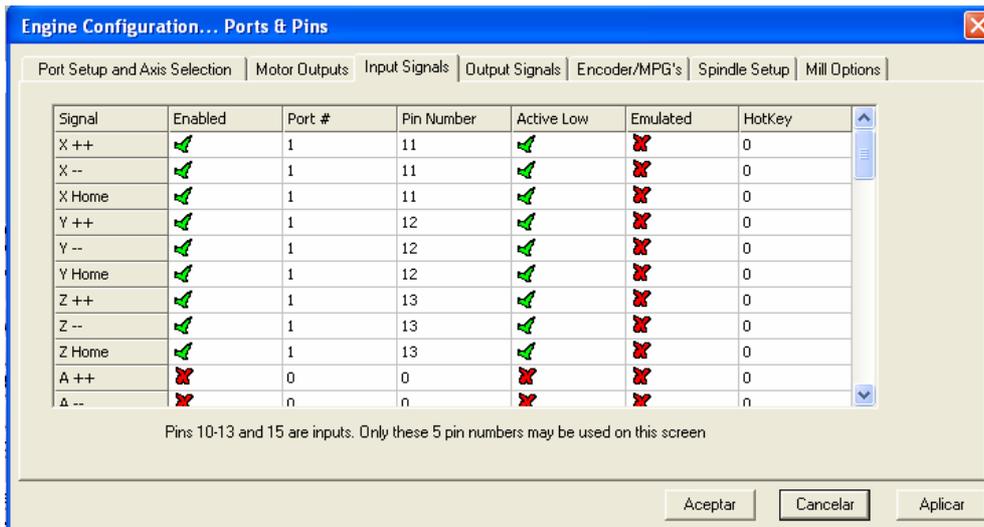


Figura 3.20 Configuración de los Switch en el Mach3Mill.

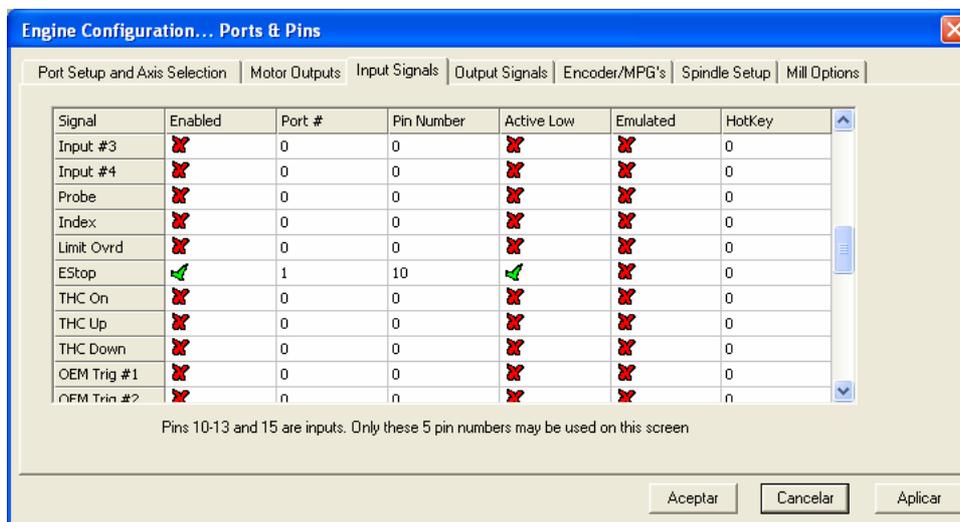


Figura 3.21 Configuración del paro EPO en el Mach3Mill.

d. Outputs Signals.

Esta pestaña se indica en la Figura 3.22; en ésta se configuran las salidas a relé para la activación de la herramienta, en el caso del Router CNC del Tupí (*Output #1*), y para la activación del sistema de extracción de viruta (*Output #2*); dichas configuraciones se toman de la Tabla 3.2

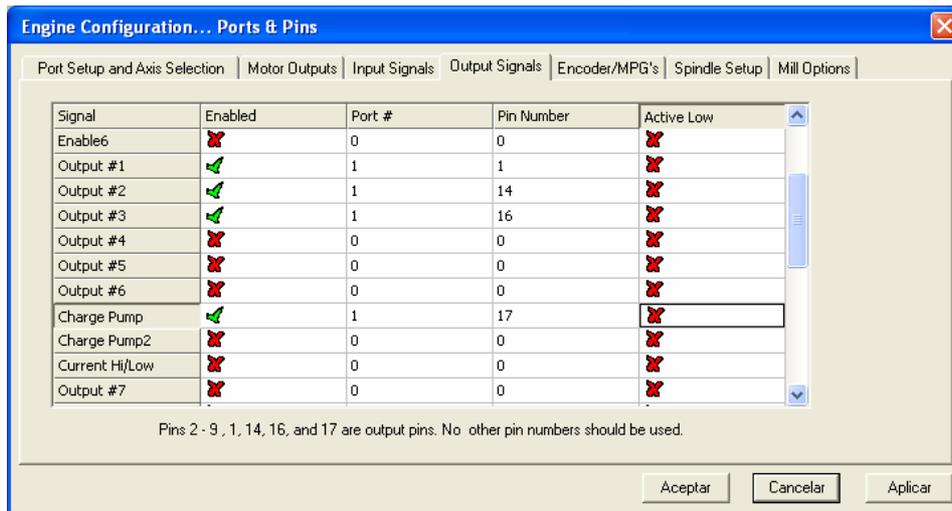


Figura 3.22 Configuración de salidas a relé en el Mach3Mill.

e. Spindle Setup.

Esta pestaña se indica en la Figura 3.23; en esta simplemente se habilitan las salidas a relé que fueron configuradas en la pestaña *Outputs Signals*, ésta configuración es realizada en la opción *Relay Control*.

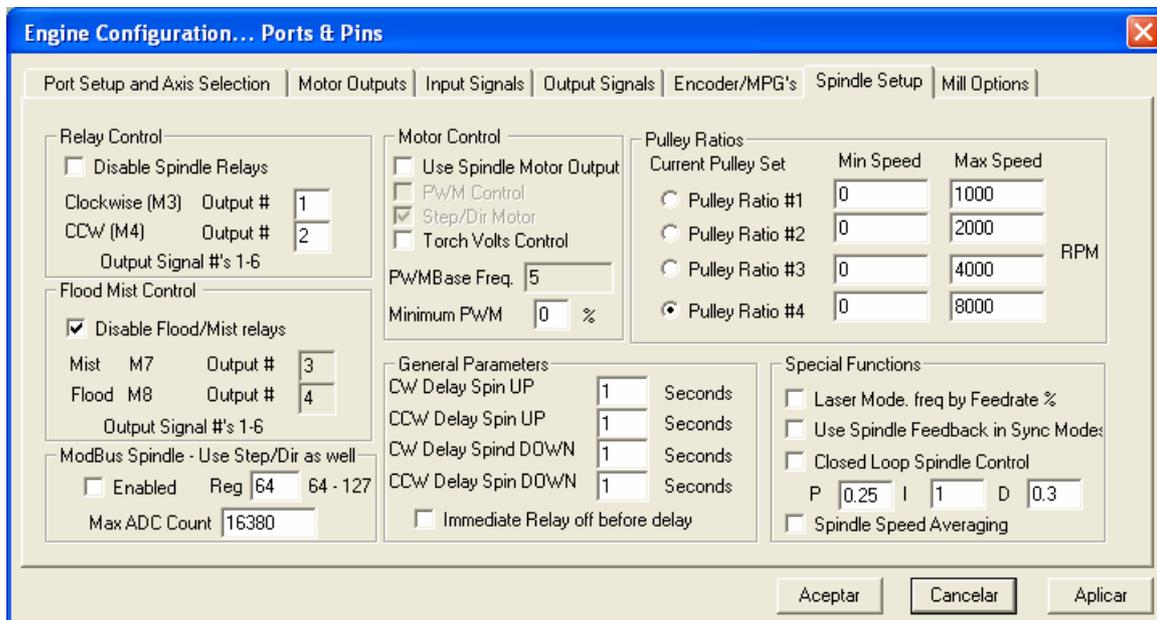


Figura 3.23 Configuración de salidas a relé y spindle en el Mach3Mill.

3.4.2.3 Sintonización de motores.

El Mach3Mill puede sintonizar automáticamente los valores de pasos por unidad (*Steps per*), velocidad para el movimiento rápido G0 (*Velocity*), aceleración (*Acceleration*), ancho de pulso *Step pulse* (recomendado un valor de 3) y dirección del pulso *Dir pulse* (recomendado un valor de 0).

En primer lugar es necesario ubicar los carros X, Y y Z en cada uno de los extremos de sus recorridos, de tal forma que tengan el mayor espacio posible para cumplir con el procedimiento que se detalla a continuación.

En el cuadro de selección de pantallas de control ubicado en la parte superior del Mach3Mill se escoge la opción *Settings*, o a su vez se pulsa las teclas *Alt+6*, para que aparezca el cuadro de diálogo de la Figura 3.24, en el cual se escoge la opción *Set Steps per Unit*.

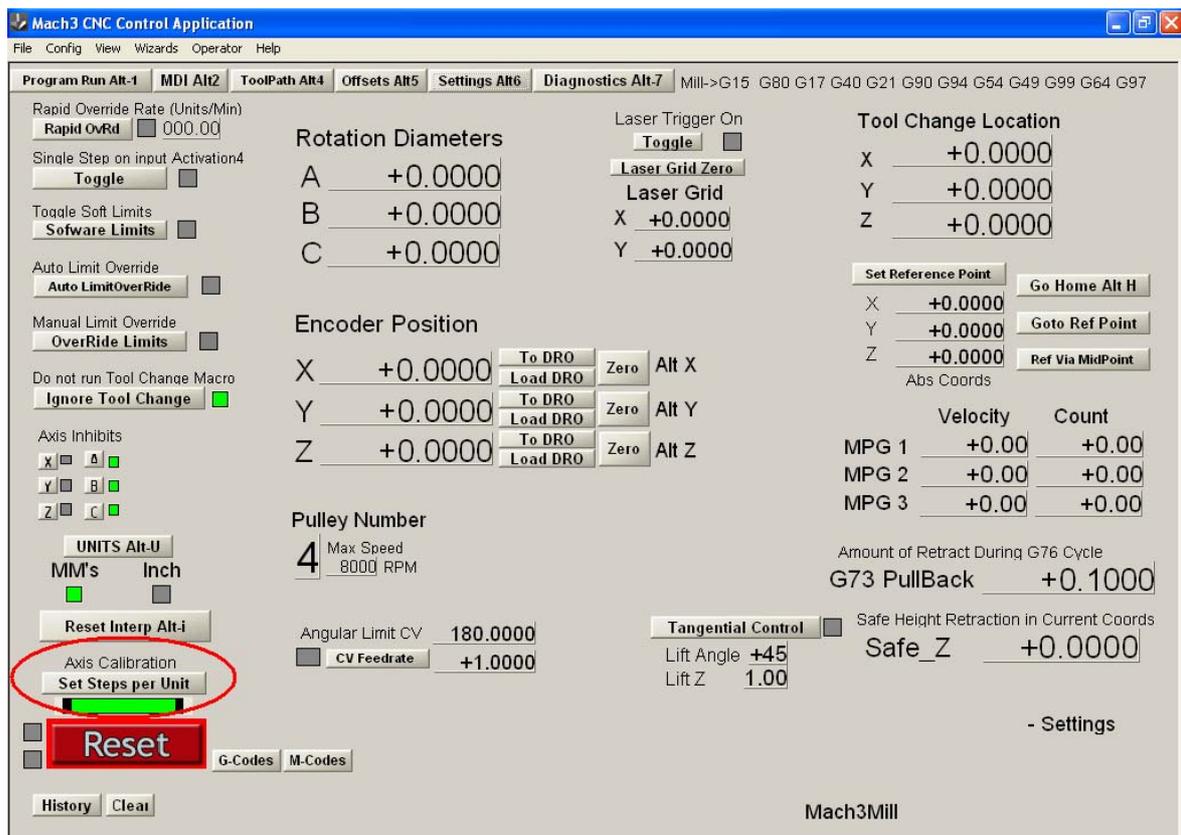


Figura 3.24 Configuración de pasos por unidad en la Mach3Mill.

Al escoger esta opción aparece el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.25, en el cual se selecciona el eje a ser calibrado.

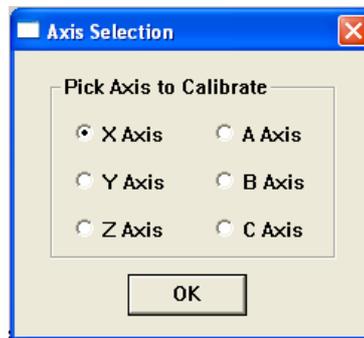


Figura 3.25 Selección del eje a ser calibrado.

Una vez seleccionado el eje a ser calibrado se da un clic en la opción OK, entonces aparece el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.26, en el cual se ingresa una distancia arbitraria, menor a la distancia máxima que puede recorrer el carro correspondiente al eje seleccionado; es por esto que es recomendable que los carros X, Y y Z estén en los extremos de sus recorridos, para que ésta distancia pueda ser de un valor tal que cubra la mayor parte de su recorrido, de esta forma se asegura la obtención de excelentes resultados en la calibración del eje seleccionado.

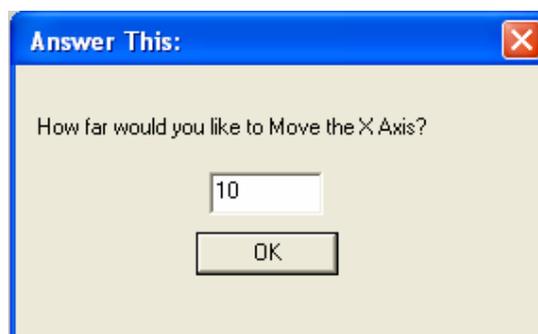


Figura 3.26 Ingreso de la distancia para la calibración del eje seleccionado.

Se señala en punto de partida del carro correspondiente, se ingresada esta distancia y se da clic en la opción OK, entonces el carro correspondiente al eje seleccionado empieza a moverse una distancia que dependerá del actuador y del reductor implementados; una vez recorrida esta distancia el carro se detiene, entonces se mide la verdadera distancia recorrida desde el punto de partida del carro seleccionado; el valor medido se ingresa en el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.27, el cual aparece automáticamente en el momento que el carro seleccionado se detiene.

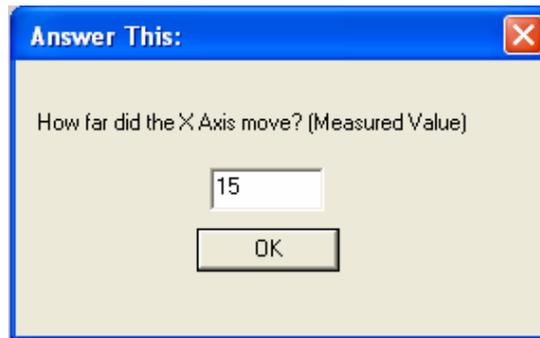


Figura 3.27 Ingreso de la verdadera distancia recorrida.

Una vez ingresada esta distancia se da un clic en la opción OK del cuadro de diálogo, entonces el Mach3Mill hace un cálculo exacto de los valores de pasos por unidad, velocidad y aceleración, los cuales regirán el movimiento del carro seleccionado; este cálculo se indica en la Figura 3.28

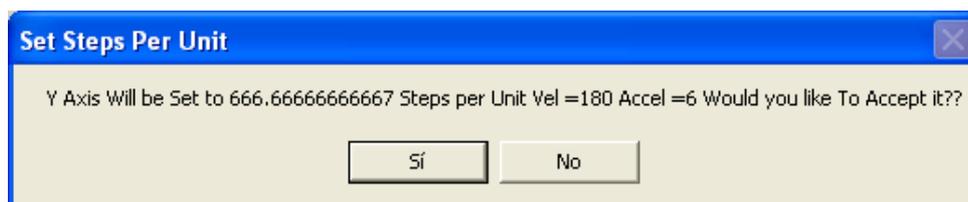


Figura 3.28 Cálculo de pasos por unidad, velocidad y aceleración.

Una vez obtenido el resultado que se indica en la Figura 3.28 se tiene la posibilidad de aceptar el cálculo o de rechazarlo y proceder nuevamente; en el caso de aceptar estos resultados se da un clic en la opción *Sí*, entonces aparece el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.29, el cual indica que estos parámetros ya han sido aceptados y actualizados por el Mach3Mill.



Figura 3.29 Confirmación de calibración del eje seleccionado.

Cada uno de los ejes que maneja el Router CNC puede ser calibrado de la misma manera y en forma independiente; y los resultados obtenidos para cada uno de éstos se pueden

visualizar en el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.27, el cual puede ser visualizado al ingresar en el menú *Config/Motor tuning*.

El procedimiento de calibración puede realizarse las veces que sean necesarias en cada uno de los ejes dispuestos en el Router CNC; en el caso de observar una velocidad muy baja o muy alta en un determinado carro X, Y o Z, se pueden modificar manualmente los resultados de velocidad y aceleración en el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 3.30 y posteriormente calibrar el eje cuyos parámetros fueron modificados repitiendo el procedimiento detallado en este ítem para obtener nuevamente los valores exactos.

En el caso de los servodrivs este procedimiento presenta una gran ventaja, pues con éste se evita la calibración manual del PID incorporado en los mismos, se ha mantenido su configuración de fábrica.

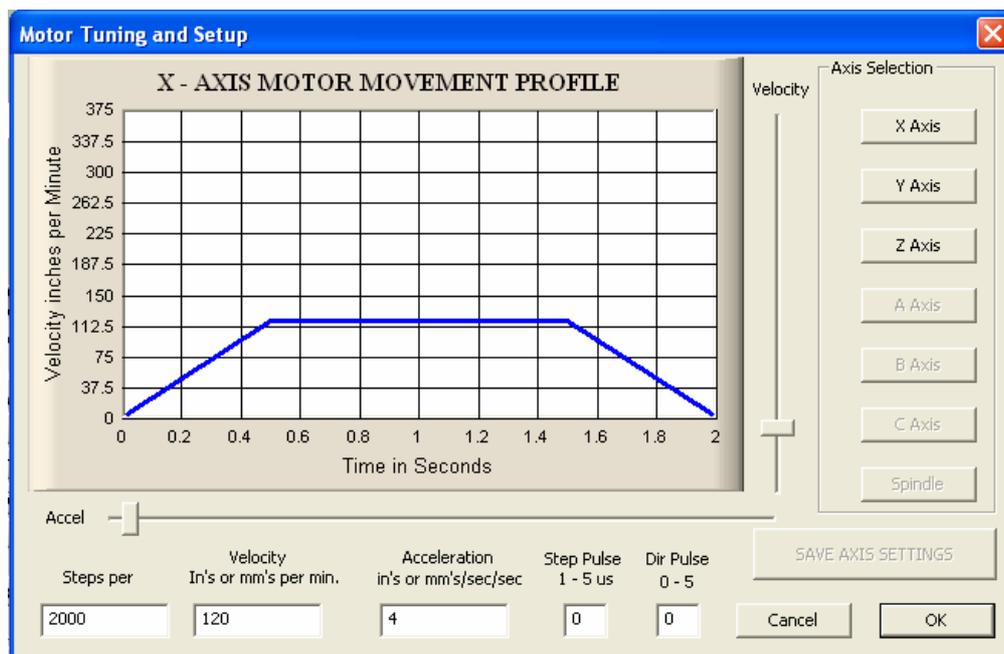


Figura 3.30 Sintonización de motores o *Motor Tuning* en el Mach3Mill.

CAPITULO 4

PRUEBAS Y AJUSTES

4.1 CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Las pruebas de calibración del Router CNC son netamente prácticas y son realizadas una vez que el Router CNC está completamente construido; la calibración correcta de estos parámetros permitirá que la máquina pueda realizar el proceso de manufactura de manera correcta y reproducir exactamente el diseño realizado en el programa AUTOCAD; el procedimiento para la calibración de cada uno de estos parámetros se detalla en la sección 3.3.2.3, y éstos son:

- Pasos por unidad.
- Velocidad para el movimiento rápido G0.
- Aceleración.

En el caso del parámetro *Pasos por unidad*, la calibración de éste parámetro le permite al Mach3Mill enviar el número de pulsos necesarios para que un eje se mueva una unidad de longitud exacta, ya sea medida en milímetros ó en pulgadas, para el caso del Router CNC en milímetros según la configuración de este parámetro mostrada en la sección 3.3.2.1; la *Velocidad para el movimiento rápido G0* medida en unidades por minuto (mm/min ó pulg/min) le permitirá al Router CNC desplazarse rápidamente desde el origen o punto Home (0, 0, 0) hasta el inicio del proceso de manufactura ubicado en algún otro del tallado, ó desde el final de una sección de tallado hasta el inicio de otra, ó desde el final del proceso de manufactura hasta su retorno al punto origen o Home; se puede decir éste es un valor de

referencia para seleccionar la velocidad a la que se realizará la manufactura de puertas (denominada también *Taza de Alimentación* ó *Feed Rate*, detallada en la sección 4.3.1.2), además de la velocidad de referencia obtenida de la sección 2.3.3, dicha velocidad se regulará en las secciones siguientes; finalmente el parámetro de *Aceleración* será un factor fundamental que afectará directamente a la velocidad que obtenga en Router CNC durante el proceso de manufactura, de tal manera que si ésta es de un valor muy bajo, la máquina tardará en acelerarse o detenerse, lo cual aumentará el tiempo del proceso de manufactura; y en el caso de tener un valor muy grande de aceleración, la máquina puede acelerarse o desacelerarse bruscamente y afectar a la estructura mecánica a tal punto de perder pasos de su recorrido y distorsionar los resultados del tallado.

Cada uno de estos parámetros es calibrado independientemente por cada eje, y sus valores serán diferentes entre cada eje pues dependerán del tipo de motor y del tipo de acople entre éste y el tornillo acoplado en el eje; los resultados para cada uno de éstos se obtiene una vez que el Router CNC se obtienen con el procedimiento detallado en la sección 3.3.2.3

4.2 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO, ELÉCTRICO ELECTRÓNICO Y SOFTWARE.

4.2.1 PRUEBAS EN EL SISTEMA MECÁNICO.

Estas pruebas fueron hechas en las estructuras móviles que conforman el Router CNC y conforme esta máquina se fue construyendo, siguiendo los lineamientos detallados en el capítulo 2.

En primer lugar se verificó que el Tupí esté fuertemente acoplado a la placa soporte del mismo, una vez logrado esto se verificó que se deslice suavemente en los ejes guías de diámetro 12 mm por medio de los rodamiento lineales de 12 mm, éste procedimiento se realiza sin acoplar todavía el tornillo M12; entonces al realizar esta prueba se pudo verificar que este movimiento es completamente libre de fricciones, es suave y estable; con lo cual se puede concluir que la utilización de estos rodamientos permite un óptimo desarrollo en el movimiento del carro Z, sin desviaciones ni vibraciones del mismo.

A continuación se realizaron las mismas pruebas de movimiento pero acoplando el tornillo M12 y la tuerca M12 y generando el movimiento del Tupí mediante el giro manual del

tornillo M12, éstas pruebas se realizaron principalmente para verificar el perfecto estado de construcción de la placa en C; como resultado de esta prueba se obtuvo un movimiento suave del Tupí. Se concluye que la placa en C está perfectamente diseñada y construida, permitiendo un movimiento óptimo del Router CNC a través del eje Z.

A continuación se realizan pruebas en el movimiento del Router CNC a través del eje X, las mismas que están encaminadas a su calibración y puesta a punto; en éstas se verificó que el carro Z se deslice suavemente en los ejes guías de diámetro 20 mm por medio de los rodamientos lineales de 20 mm; las primeras pruebas se realizan sin acoplar el husillo M16; y al realizarlas tomando en cuenta el procedimiento de calibración detallado en la sección 3.1.2; se obtuvo como resultado un movimiento suave y estable; de lo cual se puede concluir, como en el caso de los rodamientos de diámetro de 12 mm, que la utilización de los rodamientos de diámetro 20 mm permite un óptimo desarrollo en el movimiento del Router CNC a través del eje X, sin desviaciones ni vibraciones que afecten al buen funcionamiento del mismo.

Posteriormente se verifica que los ejes guías de diámetro 20 mm estén completamente horizontales, esto se logra regulando la posición de los extremos de los ejes de diámetro 20 mm por medio de los soportes de centrado y utilizando un “Nivel” (instrumento para la calibración del nivel de superficies); el resultado de este procedimiento es la obtención de un nivel completamente horizontal de los ejes guías; y a la vez se concluye que el diseño de los soportes de centrado y la utilización del “Nivel” darán como resultado un óptimo diseño del carro X y asegurará que la herramienta se mueva a una altura constante respecto a la mesa o al tablero a tallar

Una vez realizadas estas pruebas se acopla el husillo M16 y generar el mismo movimiento en el eje X por medio del giro manual del mismo; al realizar esta prueba se obtuvo como resultado el mismo movimiento suave, y con lo cual se concluye que el eje X tendrá un funcionamiento óptimo.

A continuación se realizan las pruebas de funcionamiento en el carro Y, las mismas que están encaminadas a la calibración y puesta a punto del mismo y siguiendo el procedimiento para el efecto, detallado en la sección 3.1.2; en primer lugar se realizan pruebas de funcionamiento de los rodamientos lineales de diámetro 30 mm, acoplados en el carro X, los cuales permitirán el movimiento de esta estructura a través de los ejes guías

de diámetro 30 mm que están acoplados en el carro Y; como resultado se obtuvo un movimiento muy estable y libre de vibraciones del carro X a través del eje Y; de esta forma se concluye que la utilización de los rodamientos lineales de diámetro 30 mm provee al carro X un movimiento bastante óptimo; cabe recalcar que como la estructura correspondiente al carro Y es de dimensiones considerables, es necesario que el procedimiento de calibración destinado para el efecto sea realizado las veces que sean posibles.

De la misma manera que en el caso del carro X, es necesario que se realice en el carro Y la calibración del nivel horizontal en los ejes guías de diámetro 30 mm; esto se logra con la regulación de los extremos de los ejes guías mediante los soportes de centrado y demás con la utilización del “Nivel” (instrumento para la calibración del nivel de superficies); los resultados de este procedimiento se pueden verificar con la medición de la altura a la que se fijaron los extremos de los ejes guías de diámetro 30 mm desde el suelo; éstos resultados fueron de lo más satisfactorios a pesar de que la calibración de este carro fue bastante minuciosa y se realizó varias veces.

Finalmente se realizan las pruebas en la calibración del nivel horizontal de la mesa de trabajo del Router CNC, las mismas que se realizan tomando en cuenta el procedimiento de calibración detallado en la sección 3.1.3; el resultado de estas pruebas fue la obtención de un nivel horizontal exacto de la mesa de trabajo respecto del nivel de la herramienta acoplada en el Tupí; con esto se puede concluir que el procedimiento destinado para la calibración de la mesa de trabajo, provee de excelentes resultados finales y asegura un eficiente proceso de manufactura del Router CNC.

Es necesario recalcar que el sistema de extracción de viruta es una parte complementaria del sistema mecánico del Router CNC, sin embargo los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento del mismo se detallan en la sección 4.3; pues éstos se obtienen durante el proceso de manufactura como tal, cuando el Router CNC está operando a plenitud y todos los sistemas que conforman el mismo están completamente implementados y calibrados.

4.2.2 PRUEBAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y SOFTWARE.

Las siguientes pruebas se realizan luego de que el sistema mecánico que conforma el Router CNC está completamente implementado, y esta listo para interactuarse con el equipo electrónico adquirido para el efecto.

4.2.2.1 Pruebas en el sistema eléctrico.

El sistema eléctrico del Router CNC lo conforma los elementos de protección implementados, como son los fusibles ultrarrápidos y el interruptor magnetotérmico; los elementos de mando y paro general; y las líneas potencia de alimentación a los actuadores y al Tupí.

Los elementos de protección tienen la función de desconectar y parar al Router CNC en el caso de producirse algún cortocircuito en el suministro general de energía o en las líneas de alimentación del Tupí o de los motores acoplados en los carros X, Y y Z; puesto que cada uno de éstos elementos de protección fue correctamente seleccionado, se optó por realizar estas pruebas simplemente al energizar el control y se verificó su correcto funcionamiento; el resultado es un excelente funcionamiento del mismo; de lo cual se puede concluir que inicialmente no hay problemas en su arranque, sin embargo es necesario prestar mucha atención en el funcionamiento de la parte eléctrica del Router CNC durante los periodos de manufactura para evitar daños posteriores en el funcionamiento del mismo.

En el caso de los elementos de mando como los de encendido y apagado del Router CNC y el paro de emergencia EStop, simplemente es necesario detallar que estos elementos deben estar en buen estado para que su funcionamiento pueda ser óptimo.

El paro de emergencia sin embargo debe ser probado de manera minuciosa y continua, pues este elemento de control permitirá el paro inmediato del funcionamiento del Router CNC en el caso de producirse algún accidente de trabajo que pueda poner en peligro la integridad física del operador y causar daños en el Router CNC; como parte del sistema eléctrico el paro de emergencia EStop es tomado en cuenta como tal, sin embargo sus pruebas de funcionamiento pueden realizarse de mejor manera al interactuar con el programa CAM destinado para el efecto, estas pruebas se detallan en la sección 4.2.2.3

4.2.2.2 Pruebas en el sistema electrónico.

El sistema electrónico lo conforma la tarjeta interface Breakout Board Rev. 5 implementada para el acople de la etapa de control ubicada en la PC y la etapa de potencia formada por los actuadores encargados de la generación del movimiento de los carros X, Y y Z, los mismos que son controlados por medio de los Gecko drive G340 y G202; los drive ya mencionados y la PC seleccionada para el efecto; básicamente en esta sección solo se realizan pruebas para la verificación de las conexiones hechas y para probar que cada uno de estos elementos estén energizándose correctamente; las pruebas de funcionamiento se hacen conjuntamente con el programa CAM seleccionado, en la sección 4.2.2.3

En primer lugar se prueba de funcionamiento en la tarjeta interface Breakout board Rev. 5, para el efecto solo es necesario energizarla, al hacerlo el LED1 de color rojo incorporado en la tarjeta se enciende durante dos segundos y se apaga; y el LED10 *Pwr* de color verde permanece encendido; si esto sucede la tarjeta está lista para empezar a trabajar, caso contrario es necesario revisar la etapa de alimentación de energía de la misma; los LED mencionados se pueden identificar claramente en la Figura 3.11, para el caso del Router CNC los LED1 y LED10 se encendieron con normalidad, expresando como resultado un excelente estado de funcionamiento de la tarjeta.

En los drive Gecko G340, se prueba su estado de funcionamiento mediante la visualización los LED de color rojo incorporado en cada uno de estos; entonces al momento de energizar cada drive, éste LED provisto en cada uno se enciende durante tres segundos, tiempo durante el cual el drive sintoniza la posición respectiva del encoder incorporado en los servodrive; y luego de los tres segundos el LED se apaga, entonces el drive está listo para empezar a trabajar; en el caso de no suceder esto y el drive no se apaga, es necesario revisar el suministro de energía y de preferencia las conexiones con el encoder del servomotor, en este caso es necesario tomar en cuenta las indicaciones detalladas en la sección 3.3.2; en el caso del Router CNC los G202 no tienen ningún problema de funcionamiento y están listos para trabajar.

En el caso del drive Gecko G202, se prueba su estado de funcionamiento simplemente con la visualización del LED de color rojo incorporado en el mismo, el cual permanece siempre encendido; de no suceder esto es necesario verificar sus conexiones; para el caso

del Router CNC el G202 no tiene ningún problema de funcionamiento y esta listo para trabajar.

En la PC seleccionada se verifica que soporte el funcionamiento continuo de los programas CAD/CAM instalados en ésta; tal verificación se la hará durante el proceso de manufactura, el mismo que está detallado en la sección 4.3; cabe indicar que los requerimientos de cada uno de los programas han sido tomados en cuenta como referencia para la selección de la PC adecuada; estos requerimientos se detallan en la Tabla 4.1, además de las características de la PC instalada.

CARACTERISTICAS	Autocad	Mach3Mill	PC instalada
Procesador	1 GHz	1 GHz	1.8 Ghz
RAM	256 MB	256 MB	512 MB
Disco Duro	512 MB	512 MB	120 GB
Bus de datos	667 Mhz	667 Mhz	1333 MHz

Tabla 4.1 Características de la PC instalada.

Si se compara características de la PC instalada respecto a los requerimientos de los programas CAD/CAM se puede verificar que esta se encuentra sobredimensionada, y que por consiguiente se puede afirmar con seguridad que no se tendrán problemas posteriores de funcionamiento, más aún cuando la PC seleccionada será específicamente utilizada en el control del Router CNC.

4.2.2.3 Pruebas con el programa Mach3Mill.

Las principales pruebas a realizarse son:

- Pruebas de funcionamiento de los *Limit Switch, Home Switch, EStop*.
- Pruebas de control del encendido y apagado del Tupí.
- Pruebas de control del funcionamiento de los carros X, Y y Z;
- Pruebas en la calibración de los parámetros de pasos por unidad, velocidad y aceleración por cada eje.

Para realizar cada una de estas pruebas es necesario encender el control electrónico del Router CNC y correr el programa Mach3Mill en la PC; cada una de estas pruebas debe

ser verificada en la pantalla de control del Mach3Mill correspondiente para el efecto; para acceder a cada una de éstas, se puede dar clic en su correspondiente acceso en la barra superior de selección del Mach3Mill, la cual se indica en la Figura 3.1 o mantener presionada la tecla *Alt* y pulsar el número correspondiente a la pantalla deseada.



Figura 4.1 Barra de selección de pantallas de control del Mach3Mill.

a. Prueba de los Limit Switch, Home Switch y EStop.

Para realizar esta prueba se selecciona la pantalla *Diagnostics* del Mach3Mill en la barra de selección de pantallas de control del Mach3Mill, como se indica en la Figura 4.1, o se pulsa las teclas *Alt 7*; en esta pantalla se pueden visualizar los estados de los *Limit Switch*, *Home Switch* y *Estop* mediante indicadores luminosos.

Para realizar estas pruebas de funcionamiento se activan manualmente cada uno de estos sensores y se verifica en el Mach3Mill el cambio de estado de los indicadores luminosos correspondientes a cada uno de estos, tal como se indica en la Figura 2.43

Los resultados de esta prueba fueron muy favorables, por cuanto se pudo verificar la activación de cada uno de éstos sensores en el Mach3Mill de forma inmediata o en tiempo real; de esto se concluye que la velocidad de transmisión de esta señales es excelente y se puede asegurar que se tendrá un magnífico control en los límites de los recorridos de los carros X, Y y Z; y del paro de emergencia en el caso de requerir su accionamiento oportuno.

b. Prueba de control del encendido y apagado del Tupí

Para realizar esta prueba se selecciona la pantalla *Run* en la barra de selección de pantallas de control del Mach3Mill, la cual es mostrada en la Figura 4.1, o se pulsa las teclas *Alt 1*; en ésta pantalla se despliega en cuadro de diálogo denominado *spindle Speed* para el control de activación de la herramienta, el mismo que se indica en la Figura 4.2; en el que se puede verificar el encendido del Tupí mediante el indicador luminoso de color amarillo.

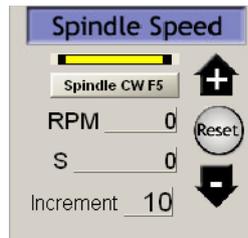


Figura 4.2 Cuadro de diálogo para el control de la herramienta

El procedimiento es el siguiente; se da un clic en la opción *Spindle CW* o se pulsa la tecla *F5*; en cualquiera de los dos casos el Tupí deberá encenderse, y en el caso de volver a ejecutar dichas opciones el Tupí se apagará.

Como resultado de esta prueba se pudo obtener un encendido y apagado instantáneo del Tupí al ejecutar cada una de estas opciones; de lo cual se concluye que se tiene un control óptimo del mismo, y con el cual se tendrá excelentes resultados durante el proceso de manufactura, al controlar en forma segura e instantánea la activación del Tupí.

c. Pruebas de control del funcionamiento de los carros X, Y y Z

Estas pruebas se realizan mediante dos métodos, el primero utilizando el control de movimiento para los carros X, Y y Z que aparece al pulsar la tecla *TAB*; el cual se indica en la Figura 4.3; el mismo que muestra en forma gráfica las opciones para mover cada uno de los ejes en forma independiente.

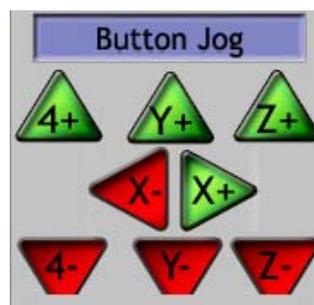


Figura 4.3 Control de movimiento para los carros X, Y y Z.

El segundo método es ingresar líneas de código para el control de cada carro en forma independiente, para comprobar su movimiento; estas líneas de código son introducidas en el cuadro de *Entrada Manual de Datos (MDI)*, el cual se indica en la Figura 4.4 y que se encuentra en la pantalla *Settings* del Mach3Mill, a la cual se puede acceder al seleccionarla

en la barra superior para el control de pantallas del Mach3Mill, mostrada en la Figura 4.1 o al pulsar las teclas *Alt 2*.



Figura 4.4 Entrada manual de datos MDI.

Las líneas de código introducidas por cada eje se indican a continuación:

G0 X50 F200, con esta línea se ordena al carro X realizar un movimiento rápido *G0*, para que recorra 50 unidades *X50* (en el caso del Router CNC un valor de 50 milímetros) y con una tasa de alimentación o velocidad de avance de 200 unidades por minuto *F200*.

Luego se puede ejecutar la línea **G0 Y50 F200** y a continuación la línea **G0 Z50 F200** para obtener la respuesta de los ejes Y y Z respectivamente; antes de ejecutar estas líneas de código es necesario verificar que la estructura correspondiente a cada eje tenga el espacio libre suficiente para realizar el movimiento dado según la línea de código ejecutada, de lo contrario puede ser necesario que se active el paro de emergencia EStop o el Limit Switch correspondiente al final de carrera de la estructura en movimiento, para detenerla y no causar daños en el Router CNC.

El resultado de las pruebas realizadas con dada uno de los dos métodos fue satisfactoria, pues se obtuvo un movimiento continuo y controlado de cada una de las estructuras móviles correspondientes a los ejes X, Y y Z; de esto se puede concluir que la comunicación entre la PC y los actuadores es óptima, que la velocidad de transmisión por el puerto paralelo, cuyo valor real de transmisión ha sido verificado aproximadamente de 100 KB/s, permite una comunicación inmediata y en tiempo real entre la parte de control y el proceso de manufactura ubicado en el Router CNC.

Se ha podido verificar en tiempo real el desarrollo del proceso de manufactura a través del Mach3Mill y a la vez se ha tenido un control total sobre las acciones que se ejecutan en la máquina durante las pruebas de funcionamiento del Router CNC y durante el proceso de manufactura como tal; de esta información se puede concluir que la comunicación por el puerto paralelo es excelente, pues se puede verificar y controlar el proceso en tiempo real;

además que el programa Mach3Mill ofrece las garantías necesarias para el control del Router CNC y para obtener un trabajo óptimo en el mismo.

Para la verificación del envío correcto de las señales de paso y dirección desde la PC hasta el Router CNC basta con observar el funcionamiento de la tarjeta de LEDs que fue adquirida conjuntamente con la tarjeta interface Breakout board Rev.5, y que se encuentra acoplada directamente en el puerto paralelo de la PC a través de la etapa de aislamiento físico que ofrece el sistema de optoacopladores propios de la tarjeta interface; la tarjeta de LEDs se indica en la Figura 4.5; en ésta se encuentran dos LED por cada eje a controlar, y como se puede ver, la tarjeta indica que puede verificar hasta cuatro ejes, de los cuales en el Router CNC solo se han implementado tres, X, Y y Z; los LED de color verde titilan para indicar que una señal de paso está siendo transmitida por cada eje; es decir, que en este caso el carro correspondiente al eje cuyo LED se encuentra titilando debe estar moviéndose; y el LED rojo puede estar encendido o apagado permanentemente, con lo cual se indica que el actuador correspondiente al eje controlado puede estar moviéndose en forma horaria o antihoraria respectivamente.

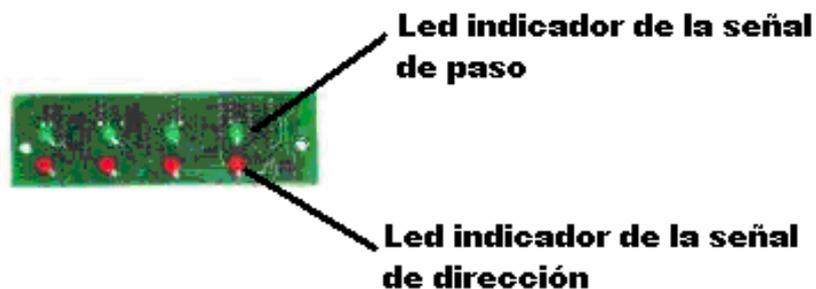


Figura 4.5 Tarjeta de LEDs para el control de ejes del Router CNC.

Los resultados del funcionamiento de la tarjeta de LEDs son óptimos; de esto se concluye que este método de indicación luminosa es eficaz, más aún cuando los resultados se obtienen directamente del puerto paralelo en funcionamiento.

d. Pruebas en la calibración de los parámetros de pasos por unidad, velocidad y aceleración por cada eje.

Estas pruebas se realizan tomando en cuenta el procedimiento mostrado en la sección 3.3.2.3; y además con las indicaciones que provee la sección 4.5 del manual de operación

del Mach3Mill⁴⁴ se las realiza una vez que se compruebe que las estructuras móviles correspondientes a los ejes X, Y y Z están moviéndose con normalidad y sin problemas.

El valor de pasos por unidad queda automáticamente calibrado con el procedimiento detallado en la sección 3.3.2.3, este parámetro permite que los carros X, Y y Z se desplacen la distancias exactas requeridas, según las líneas de código G del programa de manufactura que se esté ejecutando; hay dos formas de probar que este parámetro permita un desplazamiento exacto de los carros X, Y y Z.

El primer método es ejecutando principalmente para probar el funcionamiento del carro Z además de los carros X e Y, este método consiste en la ejecución de una línea de código de la forma en la que se indica en la sección 4.3.2.3 apartado c; para que la estructura correspondiente se mueva una distancia específica y luego comprobar el valor de este desplazamiento con la ayuda de un calibrador, flexómetro o con cualquier instrumento de medida para el efecto.

El segundo método es colocar en el Tupí en lugar del útil de tallado, un lápiz o una punta de algún material duro que pueda hacer una señal sobre un tablero de prueba dispuesto sobre la mesa de trabajo para el efecto; después se ejecuta una línea de código de la forma en la que se indica en la sección 4.3.2.3 apartado c, para que el Tupí baje hasta que se haga una señal inicial en el tablero, luego se ejecuta otra línea de código para que el Tupí suba una altura determinada, a continuación se ejecuta otra línea de código para ordenar al carro correspondiente para que se mueva una distancia determinada, luego se ejecuta la misma línea anterior pero en sentido contrario para que el Tupí regrese a su posición inicial, finalmente se ejecuta otra línea de código para que el Tupí baje y haga otra señal, si el valor de pasos por unidad está bien calibrado el Tupí regresará al punto de partida, caso contrario el lápiz hará otra señal final cercana a la inicial; entonces es necesario realizar una nueva calibración de este parámetro utilizando el procedimiento detallado en la sección 3.3.2.3

Puesto que el parámetro de pasos por unidad, es calibrado conjuntamente con la velocidad y aceleración, es necesario tomar en cuenta éste en el procedimiento de calibración para obtener un resultado final en conjunto; el valor de la velocidad se obtiene de la sección 2.3.2 del resultado de la ecuación 2.3, es decir $S' = 870.333$ mm/min (velocidad de avance)

⁴⁴ <http://www.machsupport.com/downloads/tuto%20mill3.pdf>

y como aceleración un valor que sea proporcional a la velocidad ingresada; la referencia de proporcionalidad entre los valores de velocidad y aceleración se puede verificar en el cuadro de diálogo denominado *Motor Tuning*, el cual es mostrado en la Figura 3.27 y que es desplegado en el menú principal *Config/Motor Tuning*.

Según la recomendación del manual de operación del Mach3Mill sección 4.5, los valores de velocidad y aceleración para el eje Z deben ser menores, hasta en un 50% de los valores de velocidad máximo ingresado en alguno de los eje los X o Y; sin embargo estos valores son referenciales, las reacciones en el funcionamiento del Router CNC durante sus pruebas son las que se toman más en cuenta para la calibración y puesta a punto del mismo.

Las pruebas de velocidad y aceleración fueron muy favorables; en los ejes X e Y se fijó una *Velocidad de avance* o *Tasa de alimentación* para el movimiento rápido *G0* de aproximadamente de 800 mm/min con una aceleración de 300 mm/min² y en el eje Z se fijó una *Velocidad de avance* o *Tasa de alimentación* de aproximadamente de 200 mm/min con una aceleración de 80 mm/min²; sin embargo estos parámetros deben ser calibrados continuamente para que el Router CNC se encuentre en óptima condiciones de funcionamiento.

Los valores de *Pasos por unidad* para cada uno de los ejes son; en el eje X un valor de 3814.16, en el eje Y un valor de 3322.89 y en el eje Z un valor de 1430.92 pasos por unidad, o pasos por milímetro, dada la configuración de unidades para el Router CNC fijada en la sección 3.3.2.1

Los resultados finales para cada una de estas pruebas fueron satisfactorios, pues las estructuras correspondientes a los ejes X, Y y Z quedaron completamente calibrados y las distancias de recorrido fueron verificadas con exactitud y sin mayores complicaciones; y de lo cual se concluye que el método de calibración de estos parámetros y las formas de verificación de los resultados fueron eficaces para la obtención de los mejores resultados en esta prueba.

4.3 PRUEBAS DE LA MÁQUINA EN LA MANUFACTURA DE PUERTAS CON DIFERENTES DISEÑOS.

En primer lugar se detalla el procedimiento a seguir desde el diseño de la puerta realizado en el programa CAD hasta la configuración de los parámetros necesarios de trabajo para su manufactura en el programa CAM; posteriormente se detallan los resultados obtenidos de estas pruebas, los cuales deberán mantenerse durante todo el proceso de manufactura, para obtener un resultado óptimo en el funcionamiento del Router CNC.

4.3.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UN TRABAJO DE MANUFACTURA.

El procedimiento que se detalla a continuación puede ser aplicado para cualquier tipo de diseño realizado en el programa CAD, siempre y cuando sea de dimensiones menores al área de la mesa de trabajo del Router CNC, la cual se detalla en la sección 2.3.1

4.3.1.1 Diseño de un panelado típico para una puerta estándar.

Primero se realiza el diseño de un panelado típico para una puerta estándar, el cual debe ser guardado con la extensión .DXF en el menú *Archivo/Guardar como*, siguiendo el procedimiento detallado en la sección 2.5.2

4.3.1.2 Importación del diseño desde el programa Mach3Mill “Load File”.

A partir de la serie de configuraciones que se realicen a continuación se obtiene el archivo .TAP que contiene la información de la trayectoria en códigos G, la cual indica el camino que debe seguir la herramienta para realizar el proceso de manufactura deseado; además de los archivos de extensión .TAP, el Mach3Mill puede ejecutar otros de extensiones .TXT; .CN y .CNC; es decir que puede llevar a la manufactura a cualquiera de estos archivos, siempre y cuando contengan la información de manufactura para los ejes X, Y y para la coordenada positiva Z, es decir para dos ejes y medio, por cuanto la aplicación del Router CNC solo necesita del movimiento en estas coordenadas; dadas estas características se puede afirmar que sería factible interactuar con alguno de los programas CAM detallados en la sección 2.5.3, en el caso de realizarse algún diseño en relieve, siempre y cuando se maneje el diseño de manufactura en los ejes X, Y y Z, además que se disponga de las herramientas de tallado adecuadas, que el programa seleccionado pueda generar los

archivos con las extensiones que soporta el Mach3Mill y que no se sobrepase de las dimensiones de la mesa de trabajo detalladas en la sección 2.3.1

Para realizar este procedimiento se corre el programa Mach3Mill en la PC, y se importa el archivo .DXF creado según la sección 4.3.1.1 desde el cuadro de diálogo mostrado en la Figura 4.6, al cual se accede al ejecutar las opciones *File/Import DXF's* en el menú superior principal del Mach3Mill.

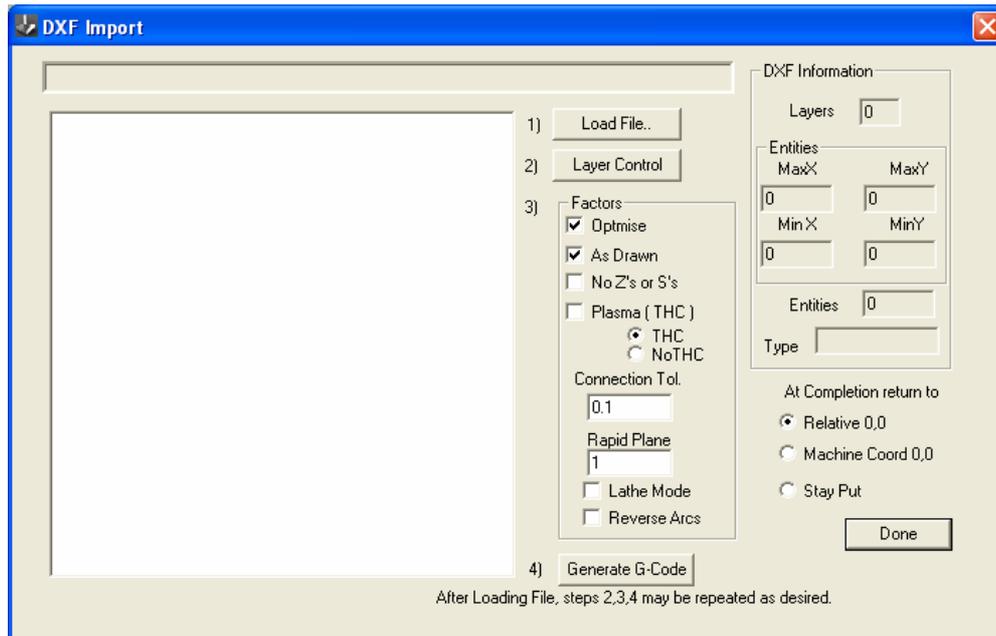


Figura 4.6 Cuadro de diálogo de importación de archivos DXF y HPGL.

Para ubicar el archivo .TAP se da clic en la opción *Load File...* y se procede a buscarlo, una vez encontrado e importado, el diseño aparece en la pantalla del cuadro de diálogo que se indica en la Figura 4.7.

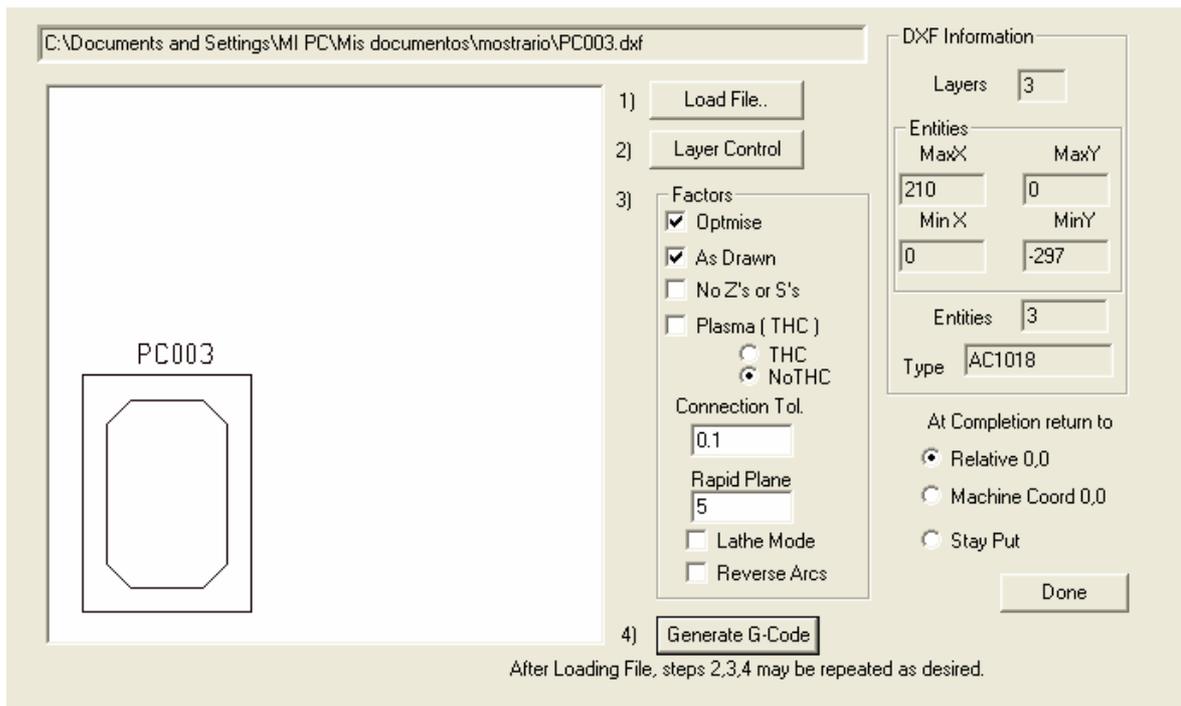


Figura 4.7 Archivo .DXF importado al Mach3Mill.

4.3.1.3 Definición de acciones por capas “*Layer Control*”.

A continuación se configuran las acciones por capas “*Layer Control*”, en el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 4.8 y al cual se accede al dar un clic en la opción *Layer Control* en el cuadro de diálogo mostrado en la Figura 4.7

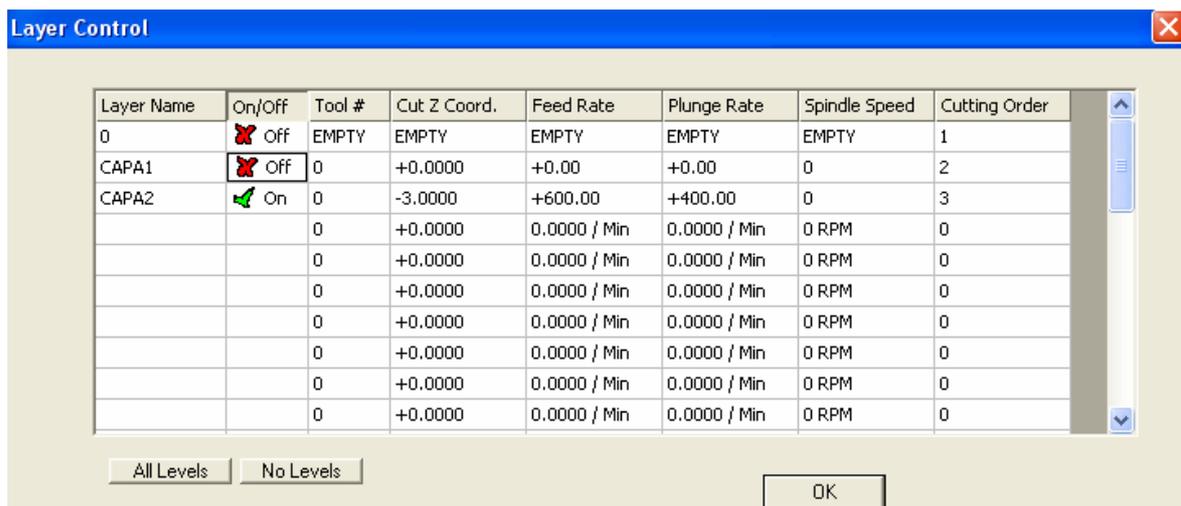


Figura 4.8 Configuración de acciones por capas en el Mach3Mill.

En el cuadro de diálogo de la Figura 4.8 se habilitan las capas o *Layers* que van a llevarse a la manufactura mediante la habilitación de la opción *On/Off* por cada una, luego se fija el

número del útil por capa de tallado, en la columna de opciones denominada *Tool#*, como en el caso del Router CNC solo se utilizará una herramienta entonces se escribe un número uno en el cuadro correspondiente o simplemente se deja con el valor indicado de fábrica; luego se configura la profundidad del corte (*Cut Z Coord*) cuyo valor inicial será de 5 mm, el cual es tomado de la sección 2.3.2 como valor referencia, que irá cambiando según el tipo y la calidad del útil de tallado; a continuación se fijará una *Tasa de alimentación* o *Velocidad de avance* a usar (*Feed Rate*), que será aplicada al movimiento de los carros X e Y, y deberá ser igual o menor a la velocidad de avance determinada en la sección 4.2.2.3 apartado d; en todo caso como la velocidad calculada en dicha sección es de 800 mm/min se escoge arbitrariamente una velocidad de avance de 400 mm/min como dato de prueba, la cual será verificada o cambiada durante el proceso de manufactura como tal; luego se configura la *Tasa de bajada* o *Plunge Rate*, que será aplicada al movimiento del carro Z y deberá ser menor o igual a la velocidad de avance determinada en la sección 4.2.2.3 apartado d; de igual manera como esta velocidad de avance en esta sección es de 200 mm/min, se escoge arbitrariamente un valor de 100 mm/min como dato de prueba, el cual se verificará durante el proceso de manufactura, los valores de aceleración para los carro X, Y y Z son configurados automáticamente por el Mach3Mill, y es por esta razón que no son ingresados manualmente en el cuadro de diálogo; la velocidad de giro del útil *Spindle Speed*, es obviada por cuanto el Tupi seleccionado para el proceso de manufactura contiene la velocidad adecuada para realizar el tallado; finalmente se configura en orden en el que las capas van a ser llevadas a la manufactura en la columna denominada *Cutting Order*, este orden debe ser configurado de tal manera que el útil de tallado se demore el menor tiempo posible entre el término del tallado de una capa o *layer* y la continuación del tallado de la siguiente; una vez fijados estos parámetros se da clic en la opción *OK* para fijarlos.

4.3.1.4 Definición de la altura de seguridad para el movimiento rápido.

La altura de seguridad es la distancia que separa al filo del útil de la superficie de tallado, y sirve para que el útil pueda desplazarse libremente desde el origen o punto Home hasta el punto de inicio de tallado, entre el término del tallado de una capa y la continuación de otra, y entre el final del proceso de tallado y su retorno al punto Home; esta opción se configura en la pestaña denominada *Rapid Plane*, la cual se encuentra en el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 4.8.

El valor introducido es de 5 mm, con el cual el útil de tallado no tiene ningún problema para realizar el movimiento rápido, y la demora de tiempo hasta obtener esta altura es relativamente baja.

4.3.1.5 Generación de Códigos G.

La generación de los códigos G es realizada al dar clic en la opción *Generate G-code* en el cuadro de diálogo que se indica en la Figura 4.8; al hacerlo aparece un cuadro de diálogo en el cual se crea un nuevo archivo de extensión .TAP, el cual contiene las características del diseño a tallarse; una vez creado el nuevo archivo se da un clic en la opción *Done* del cuadro de diálogo de la Figura 4.8, entonces el código G creado aparece en la pantalla *Run* del Mach3Mill, con lo cual el diseño realizado en el programa CAD está listo para llevarse a la manufactura.

4.3.2 CONTROL DEL PROCESO DE MANUFACTURA DESDE EL MACH3MILL.

Una vez cargado el programa que contiene el código G se puede controlar su ejecución y por consiguiente controlar el proceso de manufactura, lo cual se hace por medio del cuadro de controles que se indica en la Figura 4.9, el cual está incluido en la pantalla *Run* del Mach3Mill; pantalla a la que se puede acceder al dar un clic en la barra superior de control del Mach3Mill, la misma que se indica en la Figura 4.1 o al presionar las teclas *Alt I*.

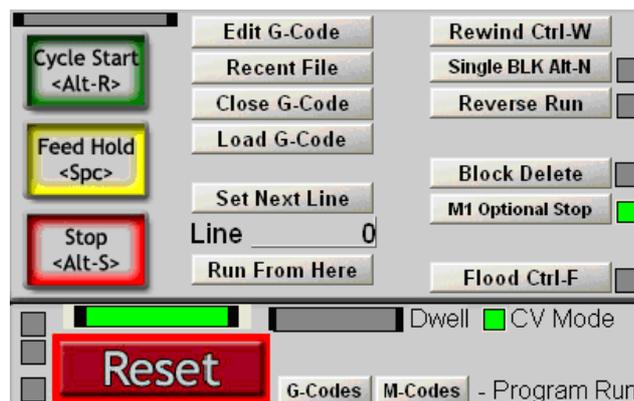


Figura 4.9 Control de ejecución del programa da manufactura.

Los controles principales son: *Cycle Star* con el cual se da inicio al proceso de manufactura; *Feed Hold*, para pausar el programa y poder realizar alguna acción como cambiar el útil en el caso de romperse; *Stop*, para detener el movimiento del Router CNC tan pronto como es posible, la ejecución impide reiniciar la ejecución del programa, el

Reset para detener definitivamente el programa en el caso de presentarse algún accidente; *Edit G-code*, para editar el programa que contiene los códigos G; *Rewind*, para rebobinar o retornar al inicio del programa; *Reverse Run*, para correr el programa en forma inversa, el cual puede ser usado después de un *Feed Hold* y el próximo clic en el *Cycle Start* causará que el programa se ejecute marcha atrás, esto es particularmente útil en recuperación de una condición como en el caso de seguir con la ejecución de un programa luego de cambiar una herramienta rota; *Run From here*, permite correr el programa desde un línea específica, *Next set line*, para fijar la siguiente línea de un programa y continuar desde esta; *Line*, para verificar el número de línea actual en la que se encuentra el programa.

4.4 MEDICIÓN DE CICLOS DE TRABAJO.

Un ciclo de trabajo en el proceso de manufactura de puertas de MDF corresponde al tiempo tomado desde el instante en el que una puerta es fijada en el Router CNC para ser tallada, hasta el instante en el que sale, una vez que los dos lados de la misma están completamente tallados.

El tiempo total del ciclo de trabajo detallado en la Tabla 4.2 fue tomado a partir de que el Router CNC fue calibrado en su totalidad; este ciclo de trabajo se cronometró en forma experimental durante los periodos de manufactura reales; se recogieron los datos de periodos de tiempo de manufactura regularmente iguales, y de los datos obtenidos se calculó un tiempo promedio general, el cual posteriormente fue verificado y ratificado durante varios periodos de pruebas posteriores; además estos resultados tuvieron variaciones mínimas para los casos en los cuales se realizaron modelos de panelados diferentes.

DESCRIPCION	TIEMPO
Tiempo de preparación para la manufactura	15 min.
Tiempo de manufactura del primer lado de la puerta	30 min.
Tiempo de preparación para la manufactura	15 min.
Tiempo de manufactura del segundo lado de la puerta	30 min.
TIEMPO TOTAL DEL CICLO	1h 30min.

Tabla 4.2 Medición de ciclos de trabajo.

De los resultados obtenidos se deduce que se pueden fabricar en un día de trabajo (8 horas laborables) una cantidad de 20 puertas aproximadamente.

4.5 RESULTADOS OBTENIDOS.

Los siguientes resultados fueron obtenidos durante los procesos de puesta a punto del Router CNC y ratificados durante los procesos de manufactura subsiguientes, en forma real y precisa.

4.5.1 RESULTADOS DE VELOCIDAD DE AVANCE O TASA DE ALIMENTACIÓN.

La *Velocidad de avance* o *Tasa de alimentación* real promedio es la velocidad a la que el Router CNC realizará el proceso de manufactura, la cual se verificó que es un valor menor a los valores de las velocidades para los movimientos rápidos de los carros X, Y y Z mostrados en la sección 4.3.2.1; la velocidad a la que el Router CNC trabaja con normalidad en un proceso de manufactura normal y con la cual se obtienen los resultados de tiempos mostrados en la Tabla 4.2 es de aproximadamente de 500 mm/min, y la *Velocidad de avance* o *Tasa de alimentación máxima* está promediada en los 800 mm/min; estos valores se obtuvieron con el procedimiento detallado en la sección 4.4

4.5.2 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN DEL ROUTER CNC⁴⁵

El cálculo de la resolución del Router CNC independiente por cada eje se calcula con la siguiente expresión:

$$R = \frac{p}{ppu} \quad \text{Ec. 4.1}$$

En donde:

- p (mm) = Paso del tornillo acoplado en el respectivo carro X, Y ó Z, dato obtenido del Anexo A
ppu = Pasos por unidad por cada eje, obtenido de los resultados detallados en la sección 4.2.2.3 apartado d

Entonces para los ejes X, Y y Z la resolución por cada uno es:

$$R_x = \frac{p_x}{ppu_x} = \frac{5}{3814.16} = 0.0013\text{mm}$$

⁴⁵ <http://cnczone.com/forums/showthread.php?t=27419>

$$R_Y = \frac{p_Y}{ppu_Y} = \frac{5}{3322.89} = 0.015\text{mm}$$

$$R_Z = \frac{p_Z}{ppu_Z} = \frac{2}{1430.92} = 0.0013\text{mm}$$

4.5.3 CÁLCULO DE LA PRECISIÓN DEL ROUTER CNC.

La precisión para cada uno de los ejes X, Y y Z se calcula con la siguiente expresión:

$$P = R \pm J \quad \text{Ec. 4.2}$$

En donde:

- R = Resolución obtenida por cada eje, la cual fue calculada en la sección 4.3
- J = Juego característico de los tornillos acoplados en cada una de las estructuras móviles del Router CNC

En el caso del carro Z, puesto la disposición vertical a la que se encuentra el tornillo M12, el Tupí siempre estará presionando hacia abajo dada su peso, y por consiguiente no dará lugar a que exista ninguna clase de juego, por consiguiente hay un juego cero en este carro, entonces $J_z = \pm 0$.

En el caso de los carros X e Y, puesto en estos se encuentran instalados husillos a bolas, el juego en cada uno de estos es cero dadas las características de construcción y funcionamiento de los husillos a bolas, entonces $J_x = J_y = \pm 0$.

Según estas consideraciones y dado que el juego en cada uno de los ejes es de cero, entonces la resolución es igual a la precisión, eso quiere decir que en caso del eje X se tiene una precisión de 1.3 centésimas, en el caso del eje Y de 1.5 centésimas y en el caso del eje Z de 1.3 centésimas; manteniendo una precisión promedio de 1.35 centésimas aproximadamente; dada la aplicación para la que fue diseñado el Router CNC, durante los procesos de manufactura reales se pudo verificar que se obtuvieron resultados de calidad en el producto terminado, los tiempos de manufactura son considerablemente pequeños, y los acabados son satisfactorios.

También es necesario tomar en cuenta que el sistema de extracción de viruta fue de gran importancia, pues sin este no se tendría el control de la viruta obtenida del proceso de manufactura, el diseño de la cubierta de cerdas de brocha fue de gran ayuda para la retención de la viruta alrededor del útil del Tupí, cabe indicar que casi no se necesito de un sistema de extracción de viruta adicional pues la cubierta de brocha cumplió un excelente trabajo para el efecto; sin embargo se acopla un sistema de extracción de viruta para eliminar de mejor forma del ambiente de trabajo la mayor cantidad de viruta liberada

Tomando en cuenta que la manufactura de una puerta en forma tradicional tarda aproximadamente un día, es una gran satisfacción el comprobar que con el Router CNC se puede hacer el mismo diseño con un excelente acabado y en un tiempo record de una hora y media aproximadamente.

Una vez realizadas varias pruebas y ajustes de velocidades, aceleraciones y pasos por unidad se obtuvieron excelentes resultados de manufactura, los que se indican en las imágenes siguientes, en las cuales se puede observar el diseño propuesto por el programa CAD y los resultados de manufactura finales.

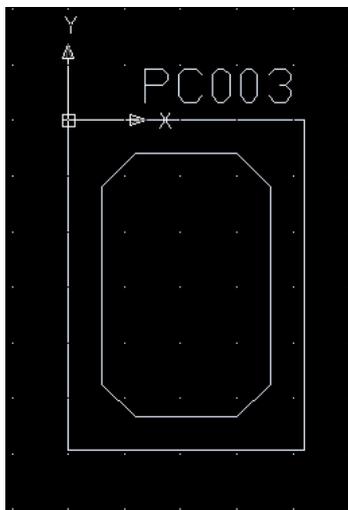


Figura 4.10(a) Panel en Autocad.



Figura 4.10(b) Tallado de panel.



Figura 4.10(c) Panel terminado.



Figura 4.11 Varios ejemplos y pruebas hechas en el Router CNC.



Figura 4.12 Tallado del logo de la carrera de Ingeniería Electromecánica

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El diseño y construcción de un Router CNC para la fabricación de puertas de MDF es un proyecto que puede ser cristalizado con la investigación, aplicando los conocimientos obtenidos en clases y con la asesoría profesional para desarrollar un sistema automático que contribuya a generar trabajo y producir recursos.
- En un sistema CNC con la utilización los programas CAD/CAM se puede construir todo aquello que sea diseñado, la limitación puede encontrarse en la máquina que se tenga por el número de ejes disponibles para el efecto.
- Un Router CNC de ejes X, Y y Z puede realizar diseños de manufactura en relieve solo hasta dos ejes y medio, es decir por ejemplo, si se quisiera tallar una esfera, solo se podría hacerlo en los ejes X e Y y la mitad del eje Z por cuanto este eje al ser fijo solo puede tallar la parte superior de la esfera y no podría rotar para realizar el tallado inferior de la misma.
- El diseño y construcción del Router CNC garantiza la elaboración individual o en serie de una infinidad de diseños de puertas de madera con alta precisión y exactitud, disminuyendo el tiempo de mecanizado y el desperdicio de materia prima, y logrando un incremento notable de la producción.
- La calibración de las estructuras móviles del Router CNC se facilita en gran forma por la utilización de rodamientos lineales, pues solo basta ajustar los ejes sobre los que se deslizan estos rodamientos para que la estructura deslizante se mueva con facilidad.
- La utilización de servomotores en los carros X e Y le dieron fuerza y precisión al Router para vencer la fuerza de corte y para realizar el proceso de manufactura evitando atascamientos, el motor a pasos por su precisión, baja velocidad y suficiente

torque fue el complemento ideal para el control automático de la altura de la herramienta.

- La utilización de los husillos a bolas redujo por completo el juego en las estructuras móviles, aumentó la eficiencia de las mismas haciendo que se muevan con gran facilidad y reduciendo los esfuerzos por rodamiento al mínimo.
- La adquisición del control electrónico fue de gran soporte por ser estándar y compatible con la mayoría de los programas CAM conocidos y por contar con el número de ejes necesarios para el control del Router CNC.
- La utilización de los programas CAD/CAM de uso general como el Autocad 2007 y el Mach3Mill respectivamente hacen que el control del Router CNC se haga de uso conocido y por consiguiente de fácil manejo.
- Para la etapa de diseño se puede utilizar cualquier programa CAD que pueda generar archivos DXF, los cuales son importados en el Mach3Mill y convertidos en códigos G para ser llevados a la manufactura.
- La sintonización de los drive G340 y G202 con la ayuda del Mach3Mill se hizo notablemente fácil pues al utilizar un procedimiento del programa se pudo obtener los parámetros de pasos por unidad, velocidad y aceleración, necesarios para la puesta a punto del Router CNC.
- La sintonización del PID de los servodrive G340 se reemplazó por el procedimiento anteriormente mencionado, los resultados de este procedimiento se pueden verificar por la eficiencia en el funcionamiento del mismo.
- El ajuste manual de la velocidad y aceleración del Router para el proceso de manufactura a pesar de que fue un procedimiento netamente de observación dio buenos resultados el momento de tener excelentes resultados de manufactura.
- El tiempo de manufactura de una puerta en el Router CNC supera notablemente al tiempo tradicional de construcción de la misma, haciéndolo un sistema muy eficiente.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Realizar el diseño mecánico del Router CNC tomando en cuenta la aplicación y las dimensiones necesarias para su utilización y guiarse en el diseño para su posterior construcción.

- Durante el proceso de mecanizado se debe cumplir con todas las normas de seguridad tanto para el equipo como para el personal, para evitar cortes y desprendimientos de viruta que causen daño al operador.
- El operador debe conocer perfectamente en funcionamiento del Router CNC y del Mach3Mill para poderlo operar y obtener el mayor rendimiento del mismo durante el proceso de manufactura.
- No manipular en forma brusca las conexiones eléctricas, electrónicas y dispositivos de control y protección del Router CNC para evitar rupturas de cables o posibles cortos que pongan en mal funcionamiento a la máquina.
- Verificar en forma regular los parámetros de calibración del Router CNC (pasos por unidad, velocidad y aceleración) utilizando los procedimientos preestablecidos para mantener los mejores resultados de tallado posibles.
- Mantener las tarjetas electrónicas en un lugar libre de humedad y del polvo generado por el tallado para evitar daños por corrosión y alargar la vida útil de las mismas.
- Supervisar continuamente el estado de los fusibles ultrarrápidos y del interruptor termomagnético para mantener todas las seguridades disponibles en el caso de presentarse un acto inseguro.
- Realizar diseños nuevos e innovadores para probar la capacidad de tallado del Router CNC y para desarrollar la destreza del operador del mismo.
- Establecer por escrito los detalles constructivos del Router CNC de tal manera que se pueda ubicar con facilidad los posibles daños del mismo y corregirlos en forma oportuna, especialmente en el sistema eléctrico – electrónico.

5.3 BIBLIOGRAFIA.

- CARL A. KYSER, “**CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERIA**”, Primera Edición, Editorial Limusa – Wiley, S. A., México 1975
- SKF, “**MANUAL DE MANTENIMIENTO Y RECAMBIO DE RODAMIENTOS**”, Catálogo 3014 Sp., SKF. Inglaterra, 1977 – 04
- RAMON PIERAFITA MORENO, “**INGENIERIA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL**”, Segunda Edición, Editorial Ra – Ma, Madrid – España, 2004
- NICOLAS LARBURU, “**PRONTUARIO DE MAQUINAS HERRAMIENTAS**”, Sexta Edición, Editorial Parainfo S. A., Madrid – España, 1994

- MANUAL DE MECANICA INDUSTRIAL, “**SOLDADURA Y MATERIALES**”, Edición 1999, Editorial Cultural S. A., Madrid – España, 1999
- MOTT ROBERT, “**DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS**”, Segunda Edición, Editorial Prenticehall Hispanoamérica, México
- LOBOSCO ORLANDO, DIAS JOSE LUIS, “**SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE MOTORES ELECTRICOS**”, Tomo 1, Maracorbo Boixareu Editores, Barcelona España, 1989

LINKS.

<http://www.elchichedemama.com.ar/mdf.htm>

<http://www.elrincondela madera.org/support/sup%uhm.htm>

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=121>

<http://www.homeshopcnc.com/page2.html>.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n>

<http://www.tecnoedu.com/Denford/GM.php>

<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>

<http://html.rincondelvago.com/servomotores.html>

http://www.schillig.com.ar/Sensores_de_Proximidad_fr.htm

http://www.otocoup.com.ar/complte_pro%20d_ak.htm

<http://www.imm.cnm.csic.es/castell/memoria2000/16.pdf>

http://www.industrialtec.com/viewtisensor.php?t=3164&star=0&=_fr.htm

<http://www.detectsystems.com/info/sen%20step=45.php>

<http://www.cnczone.com/forums/member.php?u=servotutorial=22249>

<http://es.geocities.com/aerogallecs/Routersupport.htm>

http://www.scielo.cl/scielo.php?=sci_issuetoc&pid=0718

<http://www.workbench.com/forums/showthread.php?t=28511>

<http://frs-cnc.com/foro/viewforum.php?f=7>

<http://www.Routerland.com.ar/support=%>.php

<http://www.sharp.com/catalog=eps&inc/php>

<http://frs-cnc.com/foro/profile.php?mode=viewprofile%u=759>

<http://partnerproducts.autodesk.com/catalog/default.asp?tutcad3=ES.pdf>

<http://www.machsupport.com/artsoft/downloads/downloads.htm>

<http://users.bergen.org/jdefalco/CNC/>

http://www.geckodrive.com/photos/G202_MANUAL.pdf

<http://www.machsupport.com/downloads/tuto%20mill3.pdf>