

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y desarrollo de Router de tres ejes de control numérico por computadora, mesa al vacío, extractor de viruta y cambiador automático de herramienta.

Trabajo de investigación presentado por Diego Alfredo Noack Camey para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2011

Diseño y desarrollo de Router de tres ejes de control numérico por computadora, mesa al vacío, extractor de viruta y cambiador automático de herramienta.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



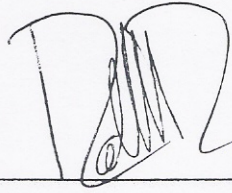
Diseño y desarrollo de Router de tres ejes de control numérico por computadora, mesa al vacío, extractor de viruta y cambiador automático de herramienta.

Trabajo de investigación presentado por Diego Alfredo Noack Camey para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2011

Vo. Bo.:

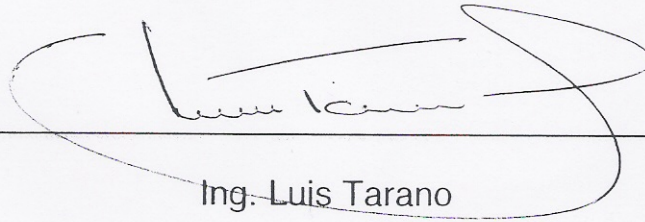
(f)



Ing. Roberto Delgado

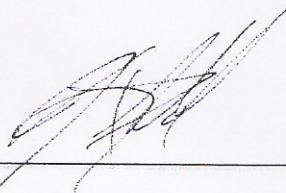
Tribunal:

(f)



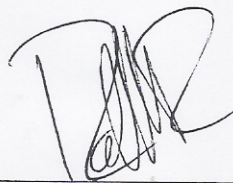
Ing. Luis Tarano

(f)



Ing. Victor Hugo Ayerdi

(f)



Ing. Roberto Delgado

Aprobación: Guatemala, 7 de diciembre de 2011

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
A. Objetivos generales.....	3
B. Objetivos específicos	3
III. METODOLOGÍA	4
A. Bosquejos iniciales.....	5
B. Elección del material	5
C. Diseño estructural	5
D. Diseño de piezas específicas.....	6
E. Consideraciones en la manufactura	6
F. Conexión de motores	6
G. Configuración de la máquina	6
H. Diseño e implementación de la mesa al vacío	7
I. Diseño e implementación del extractor de viruta.....	7
J. Elección y programación del cambiador automático de herramienta ..	7

K. Resultados generales.....	8
L. Comparación de precios en el mercado internacional.....	8
IV. CUERPO	9
A. Bosquejos iniciales.....	9
B. Elección del material	14
C. Diseño estructural	17
D. Diseño de piezas específicas.....	26
E. Consideraciones en la manufactura.....	37
F. Conexión de motores	40
G. Configuración de la máquina	49
H. Diseño e implementación de la mesa al vacío.....	53
I. Diseño e implementación del extractor de viruta.....	56
J. Elección y programación del cambiador automático de herramienta	57
K. Resultados generales.....	61
L. Comparación de precios en el mercado internacional.....	65
V. CONCLUSIONES	68
VI. RECOMENDACIONES.....	69
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	70
VIII. APÉNDICE	71
IX. GLOSARIO	73

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Consideraciones para el área de trabajo.	10
Tabla 2. Empresas proveedoras de materiales.	15
Tabla 3. Propiedades mecánicas de los materiales.....	15
Tabla 4. Precios de venta de cada material (Quetzales).	16
Tabla 5. Tubos cuadrados estructurales, medidas en pulgadas.....	17
Tabla 6. Pesos sobre el tubo Eje X.....	19
Tabla 7. Especificaciones de fresas “Melin Tools”.....	37
Tabla 8. Concentraciones recomendadas de “Shell Dromus B”.	40
Tabla 9. Parámetros de los controladores KL-8060.....	42
Tabla 10. “Microstep” de los controladores KL-8060.	43
Tabla 11. Corriente a entregar al motor, controladores KL-8060.....	43
Tabla 12. Parámetros de los controladores KL-4030.....	45
Tabla 13. “Microstep” de los controladores KL-4030.	45
Tabla 14. Corriente a entregar al motor, Controlador KL-4030.....	46
Tabla 15. Opciones de cambiadores automáticos de herramienta.....	58
Tabla 16. Puertas en una jornada diaria.	63
Tabla 17. precios de Routers CNC en países fabricantes. En US\$. Dirs.	66

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura	Página
Figura 1. Base estructural, vista planta, medidas en milímetros.....	10
Figura 2. Base estructural, vista frontal, medidas en milímetros.	11
Figura 3. Base estructural, vista lateral, medidas en milímetros.....	11
Figura 4. Base estructural, vista isométrica.	12
Figura 5. Eje Y, vista frontal, medidas en milímetros.....	13
Figura 6. Eje Y, vista lateral, medidas en milímetros.	13
Figura 7. Mesa estructural y Eje Y, vista isométrica.	13
Figura 8. Selección de perfil en el programa “Inventor Autodesk”.	19
Figura 9. Especificación del material, apoyos y fuerzas.	20
Figura 10. Diagrama de fuerzas.....	21
Figura 11. Diagrama de momentos.....	21
Figura 12. Diagrama de esfuerzos de tensión máxima.....	22
Figura 13. Diagrama de esfuerzos de tensión mínima.	22
Figura 14. Diagrama de esfuerzos cortantes.	23
Figura 15. Vista isométrica de la estructura.....	24
Figura 16. Vista frontal de la estructura, medidas en milímetros.	25
Figura 17. Vista planta de la estructura, medidas en milímetros.	25

Figura 18. Tubo eje X, vista planta, medidas en milímetros.	26
Figura 19. Tubo eje X, cerca, medidas en milímetros.....	26
Figura 20. Tubo eje X, vista lateral, medidas en milímetros.	27
Figura 21. Tubo eje X, vista isométrica.	27
Figura 22. Tubo eje X y componentes acoplados, vista isométrica.	28
Figura 23. Travesaño, medidas en milímetros.....	29
Figura 24. Soporte individual.....	29
Figura 25. Soporte con otros componentes.	30
Figura 26. Distancia entre hembras, medidas en milímetros.....	30
Figura 27. Distancia del tubo del eje Y, en milímetros.....	31
Figura 28. Tubo eje Y sin componentes.	31
Figura 29. Tubo eje Y con componentes.	31
Figura 30. Soporte del eje Z, medidas en milímetros.....	32
Figura 31. Soporte del eje Z, vista isométrica.	33
Figura 32. Soporte del eje Z, con algunos componentes.....	33
Figura 33. Soporte del eje Z, con todos los componentes que soporta.	34
Figura 34. Piezas de soporte del Router, medidas en milímetros.....	35
Figura 35. Piezas de soporte del Router.....	36
Figura 36. Piezas del soporte del Router con componentes.....	36
Figura 37. Fórmulas que brinda “Melin Tools”.	38

Figura 38. Presentación de refrigerante “Shell Dromus B”.	40
Figura 39. Especificaciones de los motores KL34H280-45-4A.	41
Figura 40. Especificaciones de los motores KL23H286-20-8B.	44
Figura 43. Codificación de colores en motores KL34H280-45-4A.	47
Figura 44. Conexión Bipolar paralelo para en motores KL23H286-20-8B.	48
Figura 45. Perfiles de Mach (versión 3).	50
Figura 46. Entradas de controladores marca Keling.	50
Figura 47. Configuración del puerto paralelo en Mach.	51
Figura 48. Configuración de motores en Mach.	52
Figura 49. Configuración de ejes esclavos en Mach.	52
Figura 50. Opción para guardar configuración en Mach.	53
Figura 51. Cortes para la mesa al vacío.	54
Figura 52. Mesa al vacío con agujeros.	55
Figura 53. Conexión de la manguera del extractor de viruta.	56
Figura 54. Extractor de viruta implementado.	57
Figura 55. Pieza fabricada en el Router CNC.	61
Figura 56. Distribución de piezas en plancha de MDF.	62
Figura 57. Virgen de Guadalupe, modelo tridimensional.	63
Figura 58. Virgen de Guadalupe en Caoba, fabricado en el Router CNC.	64

RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño y fabricación de un Router CNC (Control numérico por computadora), con extractor de viruta, mesa al vacío y diseño de un cambiador automático de herramienta, para la empresa CNC Guatemala.

Esta empresa tiene como objetivo la comercialización de Routers CNC en sectores de la economía que realizan transformación de materias primas en Guatemala. Estas máquinas proveen una herramienta para el corte, tallado y fresado de la madera y algunos materiales similares de forma automatizada, por lo que el mercado meta son las pequeñas y medianas empresas que se dedican a la transformación, específicamente de la madera.

El proceso de la fabricación de la máquina es:

- Se definen las características o requisitos.
- Se presentan los bosquejos iniciales del diseño de la máquina con el fin de obtener una idea general de los materiales y sus cantidades necesarias.
- Se escogen los posibles proveedores de los diferentes materiales y accesorios necesarios en el Router, dependiendo de las necesidades que se deseen satisfacer.
- Se propone la metodología de manufactura de las diferentes partes de la máquina para su ensamble.
- Se escogen los motores y controladores más aptos para el Router, además de la configuración necesaria de estos controladores.
- Se muestra la configuración que el programa de control numérico que controla a la máquina (Mach), requiere para movilizarla automáticamente de una forma deseada.

- Se justifican las formas de implementar los accesorios que el Router CNC puede tener para un mejor desempeño. Estos accesorios son: Un extractor de viruta, una mesa al vacío y un cambiador automático de herramientas.
- Se muestran los resultados de la máquina, incluyendo las ventajas que esta provee a empresas que trabajan con madera.
- Finalmente, se hace una comparación de precios de venta del producto final versus productos similares de otras empresas, para resaltar la ventaja competitiva en cuanto al precio y el acceso a la tecnología que CNC Guatemala ofrece a los pequeños y medianos empresarios.

Las conclusiones y las recomendaciones se muestran al final del trabajo para la fabricación en serie de la máquina, basadas en la experiencia del primer Router CNC diseñado e implementado.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala tiene una superficie total de 108,889 km² de área, de la cual 43,578 km² es de suelos con vocación forestal, (Instituto Nacional de Bosques, INAB, 2011). El sector forestal ha realizado documentos que muestran la visión estratégica del desarrollo foresto-industrial de Guatemala, por lo que es de interés desarrollar herramientas que apoyen el nivel tecnológico, específicamente la automatización de esta industria¹, ya que actualmente no se cuenta con estos instrumentos en el país. Según la Oficina de Seguimiento Forestal al Plan de Acción Forestal de Guatemala², establece que:

«el Registro Nacional Forestal de INAB define a la industria como Aserraderos Estacionarios para un total de 926 establecimientos que incluye carpinterías, mueblerías, entre otros. Aserraderos móviles (120) y Depósitos (1,252) que incluye establecimientos de compra venta de productos y algunos con dimensionamiento de piezas, leña y carbón. En materia de exportaciones de productos forestales, éstas han aumentado a un ritmo promedio de 10% anual en el periodo entre 1999 y 2008, siendo estos en madera aserrada, tarimas, tableros, muebles, puertas, ataúdes, plywood, impregnados, cabos de herramientas, chapa, cestas, bases de cama, piso, carbón y troza y otros productos.»

Dadas estas oportunidades que se tienen en Guatemala sobre la producción, transformación, distribución y comercialización de productos derivados de la madera, para lo cual es de interés el desarrollo e implementación de tecnología de automatización, se propone la utilización de herramientas como el Router CNC. Un Router CNC permite a la industria de la transformación de la madera y materiales similares hacer más rápida la producción, dar un producto con una mayor precisión que un trabajo manual y a una repetibilidad mucho mayor. Esto brindaría a las empresas pequeñas y medianas, que son la mayoría, una

¹ René Zamora, *Diagnóstico y marco de referencia de estrategia foresto-industrial* (Guatemala, Programa Forestal Nacional de Guatemala, 2010),

² Ogden Rodas, *El sector forestal de Guatemala* (Guatemala, Programa Forestal Nacional de Guatemala, 2009). Pág. 3.

herramienta que les provee de un crecimiento acelerado y una mejor calidad de producto, a un costo competitivo en el mercado, teniendo siempre la ventaja de tener atención y servicio rápido, por ser CNC Guatemala un proveedor local.

El trabajo busca definir el proceso de fabricación del Router CNC, además de buscar que tenga la mayor precisión y velocidad que permita un balance entre calidad y buen precio. Cabe mencionar que para el diseño del Router CNC, es necesario aplicar conocimientos de diseño mecánico, diseño electrónico y programación, lo que está relacionado directamente con la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

II. OBJETIVOS

A. Objetivos generales

1. Diseñar, desarrollar e implementar un Router CNC incluyendo extractor de viruta, mesa al vacío y cambiador automático de herramienta.

B. Objetivos específicos

1. Especificar el diseño de las partes mecánicas y ensambladas del Router CNC, utilizando el software Rhinoceros.

2. Especificar instrucciones de manufactura.

3. Indicar los componentes necesarios y sus características, así como su justificación.

4. Especificar la configuración y programación en el software Mach necesario para el CNC y el cambiador automático de herramientas.

5. Determinar precios de venta del producto final versus el precio de productos similares en el mercado donde participa CNC Guatemala.

III. METODOLOGÍA

La metodología aplicada se integró por la combinación de dos métodos:

- Un método experimental, ya que el punto de referencia para desarrollar el Router CNC fueron otras máquinas similares existentes, utilizando criterios de desarrollo, transferencia y adopción de tecnologías del mercado internacional, al mercado nacional.
- Un método inductivo, ya que se desarrollaron varias partes del Router CNC para integrarlo y obtener un producto final, utilizando para ello técnicas de ensamble.

La metodología incluyó durante las diferentes etapas del proceso:

Trabajo de gabinete tanto en oficina como en fábrica:

- Diseño de la estructura y sistema de movimiento lineal de la máquina.
- Cálculos de esfuerzos críticos en los materiales seleccionados y velocidades de corte para el maquinado.
- Configuración y programación del programa de control numérico Mach.
- Estimaciones de costos y precios de venta del Router de CNC Guatemala.
- Definición de variables de interés para la comercialización y definición del mercado objetivo.

Trabajo de campo:

- Visita a diferentes empresas proveedoras de materiales y equipo.
- Obtención de insumos y equipos para piezas específicas.
- Adquisición de materiales para su manufactura.

- Adquisición de elementos para la conexión de los motores.
- Adquisición del programa para el control numérico.
- Compra de elementos para la mesa al vacío y extractor de viruta.
- Búsqueda en proveedores de sistemas para un cambiador automático de herramienta.
- Búsqueda de proveedores a nivel nacional e internacional de sistemas similares por medios virtuales y visitas personales.

A continuación se presentan las principales etapas aplicadas en la metodología.

A. Bosquejos iniciales

Los bosquejos de la máquina se realizaron en el programa “Rhinoceros”, e incluyen dimensiones en diferentes vistas. Únicamente se realizó la base, para definir el ancho, la altura, y el largo de las piezas utilizadas para la estructura principal de la máquina, en los ejes X y Y.

B. Elección del material

La elección del material más apto fue por medio de consultas realizadas a varias empresas proveedoras de acero, hierro negro y aluminio, para determinar entre los productos que ofrecían, que material tiene un menor coeficiente de elasticidad, con el fin de tener una base estructural confiable al menor costo posible.

C. Diseño estructural

El diseño estructural tomó en cuenta la máquina completa con los materiales elegidos, utilizando primero el programa “Inventor Autodesk” para el cálculo

estructural de fuerzas estáticas, y el software “Rhinoceros” para modelar el diseño completo especificando todas las dimensiones.

D. Diseño de piezas específicas

El diseño de piezas específicas fue por medio del software “Rhinoceros” para modelar cada una de las siguientes piezas: Tubos del eje X, travesaños de la mesa, soportes del eje Y, tubo del eje Y, soporte del eje Z y soporte del Router. Algunas partes de la máquina se omitieron, debido a que son un diseño original y CNC Guatemala evita la distribución de su patrimonio intelectual.

E. Consideraciones en la manufactura

Para la manufactura de cada pieza, se utilizó una fresadora CNC, y fue necesario calcular la velocidad de corte en las piezas, dependiendo de cada herramienta de corte y con la ayuda de las hojas técnicas que proveen los fabricantes. En esta sección también se buscó un refrigerante adecuado para el maquinado de materiales ferrosos con disponibilidad en Guatemala.

F. Conexión de motores

Se buscó el tipo de motor adecuado para la aplicación y disponibilidad de los proveedores. Se utilizaron las hojas técnicas para realizar conexiones adecuadamente y lograr un funcionamiento óptimo de los motores, que son la fuente principal del movimiento de la máquina.

G. Configuración de la máquina

La configuración de la máquina fue por medio del programa Mach en su última versión disponible (Mach 3). Este programa fue necesario configurarlo para que la máquina utilice las salidas del puerto paralelo correspondientes al

movimiento y dirección de cada motor de cada eje. La relación entre el número de pulsos enviados y la traslación que provoca en la máquina también fue necesario configurarla. Esta información es necesaria para que se logre un movimiento preciso con las coordenadas solicitadas.

H. Diseño e implementación de la mesa al vacío

El diseño e implementación de la mesa al vacío se basó en el hecho que se tenía una bomba de 3HP disponible. La mesa al vacío fue diseñada buscando una fijación del material sin necesidad de utilizar tornillos. Además se buscó que el vacío hiciera efecto en la mayoría de área de la mesa de trabajo del Router CNC.

I. Diseño e implementación del extractor de viruta

El extractor de viruta se basó también en el hecho que se tenía disponible una bomba de 1HP. El extractor de viruta fue diseñado para evitar que el polvo que se hace en el ambiente cuando se corta madera, dañe a la máquina y sea molesto para los operarios y personas que se encuentran cerca de la máquina.

J. Elección y programación del cambiador automático de herramienta

La elección del cambiador automático de herramienta se realizó buscando diferentes proveedores de estos sistemas. Este sistema no se compró por el presupuesto con el que se contaba. Además, se realizó una programación debido a que una instrucción en el código de maquinado (M6), indica el cambio de herramienta. Dicha instrucción llama a una función a ejecutarse. Esta función fue programada en Visual Basic, ya que el software Mach, contiene un editor de Visual Basic para diferentes propósitos.

K. Resultados generales

Los resultados generales fueron obtenidos después de realizar algunas piezas en el Router CNC. Estos resultados se obtuvieron para indicar el buen funcionamiento de la máquina y posibles mejoras futuras para su reproducción y venta a la industria guatemalteca. Esta sección se dividió en comparación de tiempos en cortes sencillos, para el campo de muebles, y cortes a detalle, para el campo de trabajos artesanales.

L. Comparación de precios en el mercado internacional

El precio de la máquina se basó en el costo de componentes, producción y conocimiento aplicado, entre otros aspectos. Se consultaron precios de algunas empresas extranjeras para realizar una comparación del precio (del producto ensamblado), tanto nacional como internacional, el cual determina la actividad económica en el mercado.

IV. CUERPO

A continuación se presentan las etapas para el desarrollo del Router CNC:

A. Bosquejos iniciales

La estructura de la máquina, es de tipo Pórtico (Gantry), ya que esta, minimiza el tiempo de cambio de materia prima. También permite un acceso desde tres lados simultáneamente, además de permitir una fabricación más sencilla. Las medidas se basan en tres aspectos básicos que se consideran importantes en las dimensiones de la máquina:

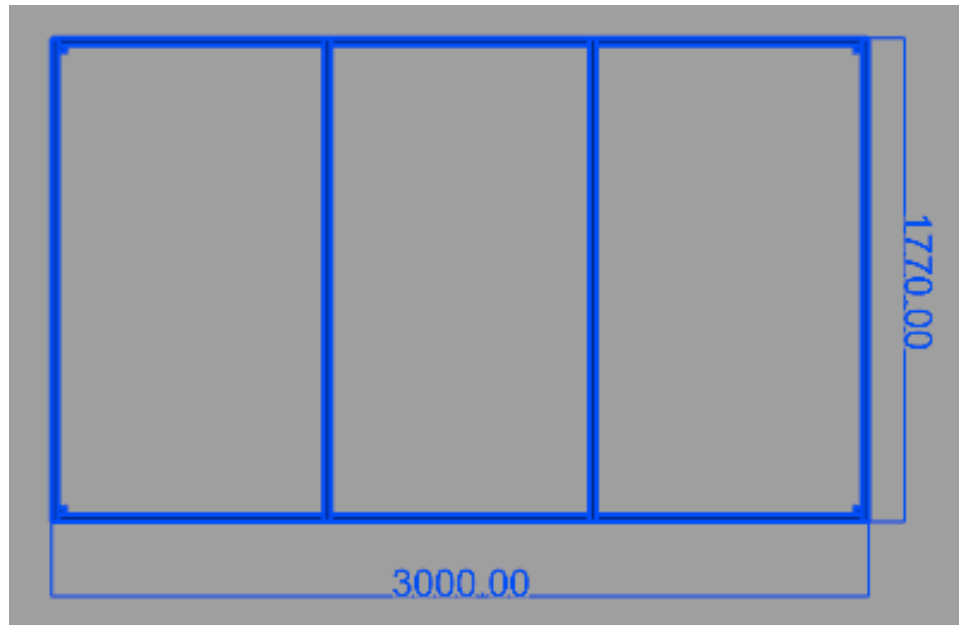
1. Las máquinas deben tener un área de trabajo mayor a 4x8 pies, ya que diferentes materiales que trabaja la máquina se venden en presentaciones de planchas de esa medida, y de diferentes grosores.

2. El bosquejo considera la búsqueda de medidas divisoras de 6 metros, tomando en cuenta que la mayoría de tubos se pueden encontrar en su presentación más larga de 6 metros.

3. La altura de la mesa donde se trabaja, debe permitir un trabajo cómodo para los operarios de la máquina.

A continuación se presenta la Figura 1, que muestra la base estructural en vista planta con medidas en milímetros.

Figura 1. Base estructural, vista planta, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

En estas medidas, se considera que el Router logrará utilizar únicamente el 85% en el eje X y el 90% en el eje Y del tamaño de la máquina como su área de trabajo. Esto debido a que los elementos mecánicos necesarios ocupan un espacio que limita dicha área. Además, por seguridad y para evitar daños en la máquina, no se permitirá un uso de la mesa en su totalidad. La Tabla 1 muestra las medidas reales de la estructura para el área de trabajo

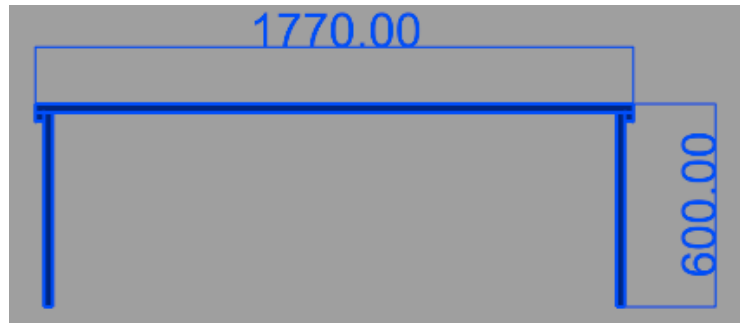
Tabla 1. Consideraciones para el área de trabajo.

	Medidas en metros	Medidas en pies	Porcentaje considerado	Área de trabajo en pies
Eje X	3	9.84	85%	8.36
Eje Y	1.77	5.80	90%	5.22

Elaboración propia. 2011.

La Figura 2, muestra la base estructural desde una vista frontal con medidas en milímetros.

Figura 2. Base estructural, vista frontal, medidas en milímetros.

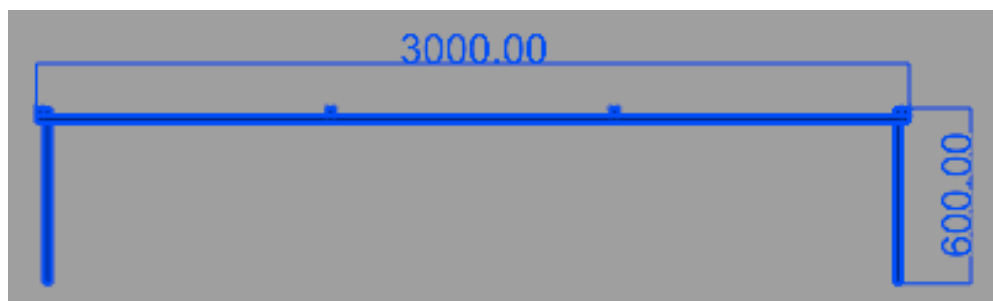


Elaboración propia. 2011.

En la Figura 2, para el diseño de la base estructural en cuanto a su altura, se ha considerado que la estatura promedio en Guatemala para el hombre es de 157.7 cm y para la mujer de 142.2 cm para una edad de 20 años (P.O.V.-Big Enough. The Height Gap, 2005), por lo que una altura de 0.6 metros permite un espacio suficiente para que los operarios tengan acceso al centro de la mesa desde diferentes ubicaciones.

La Figura 3 muestra la base estructural desde una vista lateral, con medidas en milímetros.

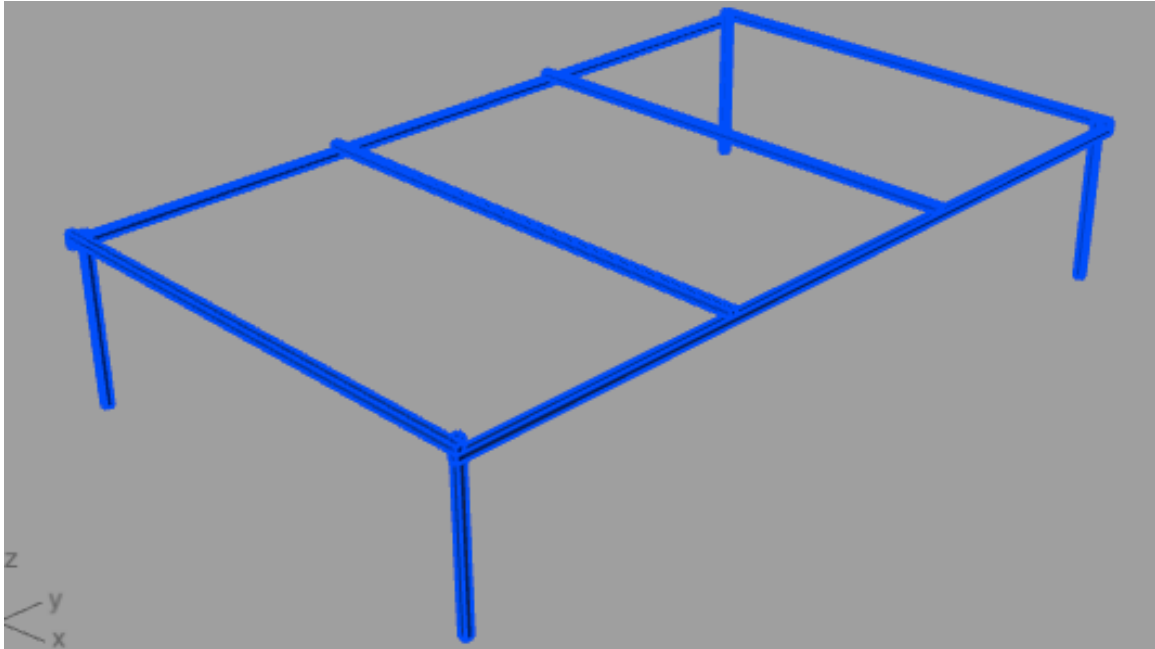
Figura 3. Base estructural, vista lateral, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

La Figura 4 muestra la base estructural desde una vista isométrica.

Figura 4. Base estructural, vista isométrica.



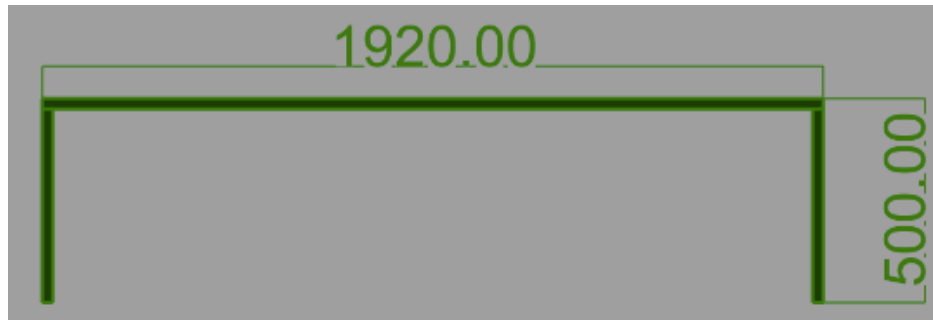
Elaboración propia. 2011.

Las medidas de la base del eje Y, consideran los siguientes aspectos:

1. La altura debe ser la suficiente para permitir al eje Z subir y bajar un total de 20 cm.
2. El largo debe ser el suficiente para permitir la unión con la mesa estructural, con un aproximado de 5 cm de cada lado para los componentes mecánicos que unirán dichas partes.

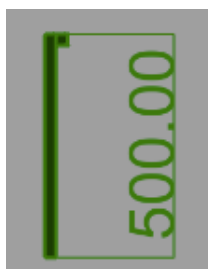
La Figura 5, muestra el eje Y desde una vista frontal, y la Figura 6 muestra el eje Y desde una vista lateral, ambas con medidas en milímetros.

Figura 5. Eje Y, vista frontal, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

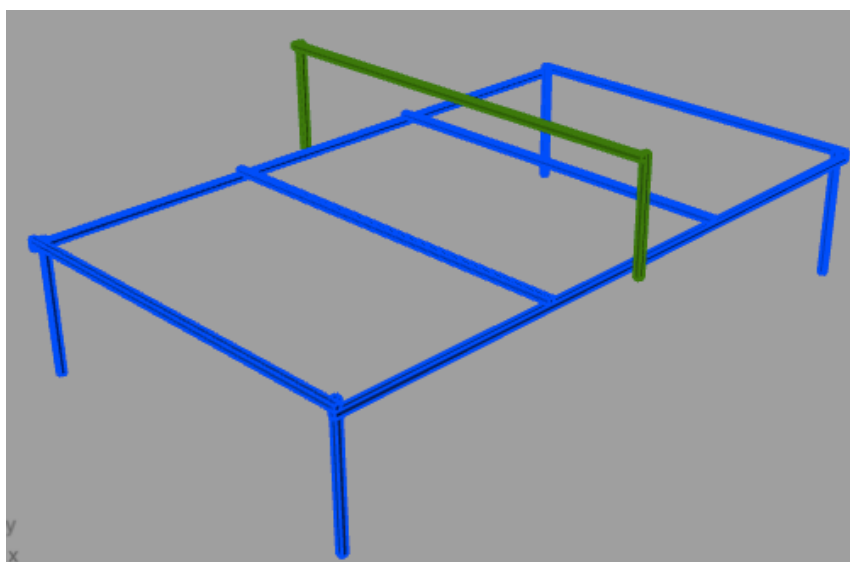
Figura 6. Eje Y, vista lateral, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

La Figura 7 muestra la mesa estructural desde una vista isométrica.

Figura 7. Mesa estructural y Eje Y, vista isométrica.



Elaboración propia. 2011.

Las medidas que se presentan en los bosquejos iniciales, son base para una primer idea de las dimensiones de la máquina, ya que con éstas, se puede hacer una compra inicial del material necesario para armar la mesa estructural. Además, se puede preparar un área de trabajo acorde a las dimensiones de dicha máquina para su ensamblado, teniendo que ser estas, aproximadamente de 3x2 metros, sin incluir un espacio adicional para acceder a la máquina durante el ensamble del resto de sus partes. Otra consideración importante, es que en los bosquejos se utiliza una barra cuadrada sólida de 1 pulgada, perfil que dependerá del material y forma elegidos.

B. Elección del material

La elección del material se basa en los siguientes aspectos:

1. El material de la máquina, debe tener un alto módulo de elasticidad, ya que cuando la máquina corte material, perderá precisión si se deforma significativamente.
2. El material elegido debe tener un bajo costo para tener un producto final con un precio de venta accesible para pequeñas y medianas empresas guatemaltecas.
3. El material debe ser de uso común en la industria, para garantizar el abastecimiento del mismo con empresas proveedoras.

Las opciones de empresas proveedoras para evaluar el material a utilizar, son las siguientes:

Tabla 2. Empresas proveedoras de materiales.

Empresa	Dirección	Teléfono	Material a evaluar
Aceros Suecos S.A.	Av. Petapa 17-78 zona12	2472-7014	Acero 1018 "Cold Roll"
Proventsa	Av. Petapa 37 calle 19-37 zona 12	2476-1110	Duraluminio
Multiperfiles	23 calle 1-39 zona 3	2230-6360	Hierro negro

Elaboración propia. 2011.

A pesar que existen varias empresas que proveen estos materiales, se eligieron estas tres, ya que, son empresas con más de diez años de experiencia que se caracterizan por ser empresas fuertes en el mercado guatemalteco con precios competitivos y productos de calidad. Las propiedades mecánicas requeridas de cada material, dadas por los mismos proveedores y por tablas estándares, se resumen a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de los materiales.

Material	Módulo de elasticidad	Límite elástico
Acero 1018 "Cold Roll"	201 GPa	485 Mpa
Duraluminio	70 GPa	275 Mpa
Hierro negro	210 GPa	207 Mpa

Elaboración propia. 2011.

A continuación, se muestran los precios de barras o tubos de cada material de diferentes medidas, y la conversión a una misma medida de volumen para una comparación equivalente.

Tabla 4. Precios de venta de cada material (Quetzales).

Material	Perfil y sus medidas	Precio por unidad	Precio por 1in ³ de material
Acero 1018	Barra cuadrada 1in, largo 12ft	Q 757.32	Q 5.26
Duraluminio	Barra de 1x2in, largo 12ft	Q 1390.00	Q 4.83
Hierro negro	Tubo cuadrado 3in, grosor 3/16in, largo 3m	Q 638.00	Q 2.40

Elaboración propia. 2011.

Según las propiedades mecánicas de los materiales a elegir, los materiales de mayor módulo de elasticidad (módulo de Young), son el acero 1018 y el hierro negro. Estos materiales se deforman menos con la presencia de mayor esfuerzo, deformación que es necesaria minimizar para que la precisión de la máquina no este afectada por la deformación de la misma base estructural. El límite elástico mayor lo tiene el acero 1018, después el Duraluminio, el cuál tiene un límite elástico un poco mayor al del Hierro negro.

Utilizando un factor de seguridad adecuado, cualquiera de estos materiales, según sus límites elásticos, no fallarán tan fácilmente en caso que se le aplique un esfuerzo mucho mayor al estipulado, en caso se dé algún problema fuera del alcance de los operarios en el área de trabajo de la máquina.

El Acero 1018 y el Hierro Negro tienen propiedades similares, como el módulo de Young, lo cual es indispensable considerar para evitar deformaciones significativas de la máquina. Éstos cumplen con características necesarias para conformar la parte estructural del Router CNC, por lo que la decisión final del

material a elegir se basa en el precio de venta del material. El Hierro Negro tiene un precio de venta menor a la mitad del precio de venta del Acero 1018 trabajado en frío, por lo que la decisión para construir la base estructural de la máquina es utilizar Hierro Negro.

C. Diseño estructural

El diseño estructural de la máquina se basa en tres aspectos:

1. El perfil de hierro negro a utilizar, que depende de la disponibilidad del proveedor.
2. Las dimensiones planteadas anteriormente.
3. El factor de seguridad apropiado respecto a los esfuerzos a sufrir con cargas estáticas (debido a que la máquina es relativamente lenta).

El perfil de hierro negro a utilizar tiene un perfil de tubo cuadrado. Este perfil se encuentra disponible en variados grosores y medidas por lado.

Las posibilidades a elegir son las siguientes:

Tabla 5. Tubos cuadrados estructurales, medidas en pulgadas.

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO			
CODIGO	SUB CODIGO	MEDIDA	PESO LB
TIC6	23	3 X 3 X 180 (3/16)	132.490
TIC6	24	3 X 3 X 0.250 (1/4)	176.040
TIC6	25	4 x 4 x 2 m.m.	76.640
TIC6	26	4 x 4 x 0.120 (1/8")	123.800
TIC6	27	4 X 4 X 0.250 (1/4")	244.300
TIC6	29	4 X 4 X 0.180 (3/16)	181.410

Fuente: Multiperfiles, 2011.

Las demás posibilidades que el proveedor de hierro negro electo nos da en tubo cuadrado, no se toman en cuenta, debido a que están limitadas a un tamaño menor, siendo la opción más cercana un tubo de 2 pulgadas por lado.

Debido al uso industrial de la máquina y a que se requiere un área mayor para el ensamble, únicamente se toman en cuenta los tubos estructurales detallados en la Tabla 5. De ésta se elige la primer opción, ya que en 3 pulgadas se encuentra el espacio suficiente para la colocación de cada componente que va atornillado a los tubos, y el suficiente grosor para atornillar dichos componentes. Además, al ser el tubo de una medida pequeña entre las opciones, tiene un menor costo.

El tubo cuadrado tiene una presentación de 6m de largo, por lo que, en el eje X se puede cortar un tubo entero a la mitad para obtener los dos tubos de 3m del eje X. Esta es la condición más importante a cumplir, ya que las demás longitudes son menores y pueden obtenerse de tubos enteros sin problema.

Para definir si el perfil y el material del tubo son adecuados para la base estructural, únicamente se toman en cuenta las pruebas de fuerzas estáticas del tubo más largo. Este tubo es el que está más expuesto a esfuerzos mayores por su mayor longitud y carga.

El tubo está modelado como un viga soportada con apoyos en sus extremos, que serían las patas de la mesa, y una fuerza puntual en el centro, que es su punto crítico. Este tubo sufre el peso tanto de si mismo como el peso de otros componentes detallado a continuación en la Tabla 6.

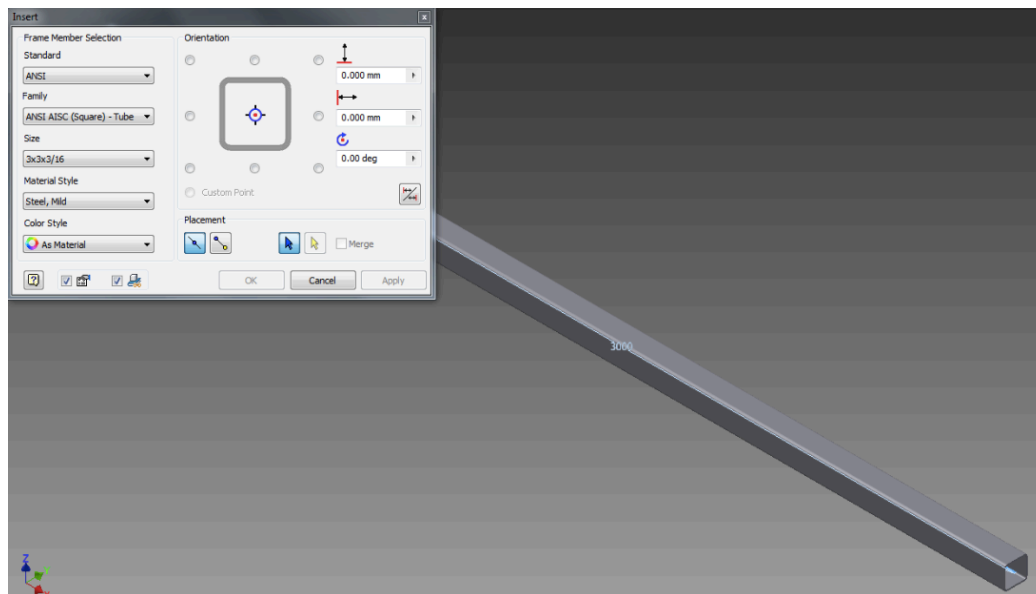
Tabla 6. Pesos sobre el tubo Eje X.

Objeto	Volumen (mm ³)	Densidad (g/cm ³)	Peso (g)	Peso (lbs)
Tubo y soportes eje Y	6,938,467	7.85	54,467	120
Router	-	-	10,000	22
Motores eje X, Y y Z	-	-	22,400	50
Piezas soporte de Router	95,250	7.84	747	2
Piezas sistema lineal eje X y Y	4,818,063	7.84	37,774	84
Otros	-	-	-	5
			TOTAL	283

Elaboración propia. 2011.

El tubo está modelado en el programa “Inventor Autodesk”. Gracias a las librerías de perfiles y materiales que incluye este software, el perfil modelado tiene características muy similares al real. Ver Figura 8.

Figura 8. Selección de perfil en el programa “Inventor Autodesk”.



Elaboración propia. 2011.

El material seleccionado es el adecuado para modelar al tubo con propiedades mecánicas afines al tubo real. También se especifican los apoyos en las orillas, que serían las patas de la máquina, y una fuerza puntual central, que es equivalente a la fuerza que soportaría el tubo por su mismo peso mas los componentes que debe cargar este tubo. Estos componentes son:

- Todos los motores;
- El soporte y tubo del eje Y;
- Todos los componentes del eje Z;
- El Router y las piezas de guía lineal del eje X y Y.

La fuerza está colocada en el centro, ya que en esta parte hay un mayor esfuerzo de tensión en el material, por que es un punto equidistante de los soportes y maximiza la distancia entre la fuerza aplicada y los soportes. El peso, se aproxima de 283 lbs a 300 lbs como valor máximo de diseño. El peso se distribuye en dos tubos del eje X, por lo que cada tubo de este eje soporta 150 lbs., equilibrando el peso de igual forma en cada parte, con su equivalente en sistema internacional 667 N. La figura 9 muestra apoyos y fuerzas.

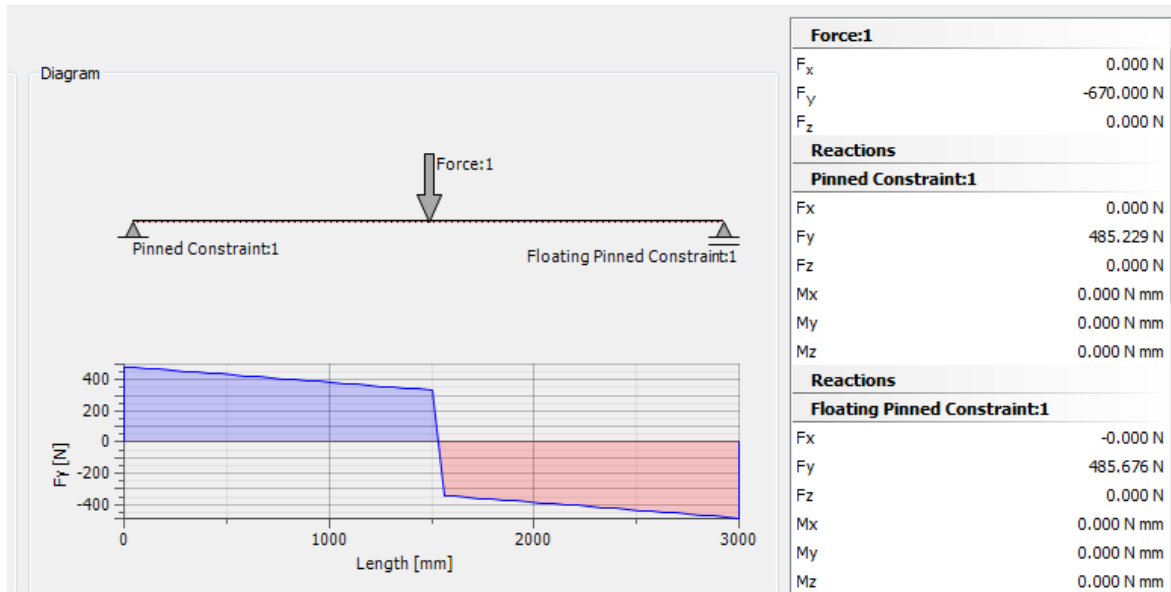
Figura 9. Especificación del material, apoyos y fuerzas.



Elaboración propia. 2011.

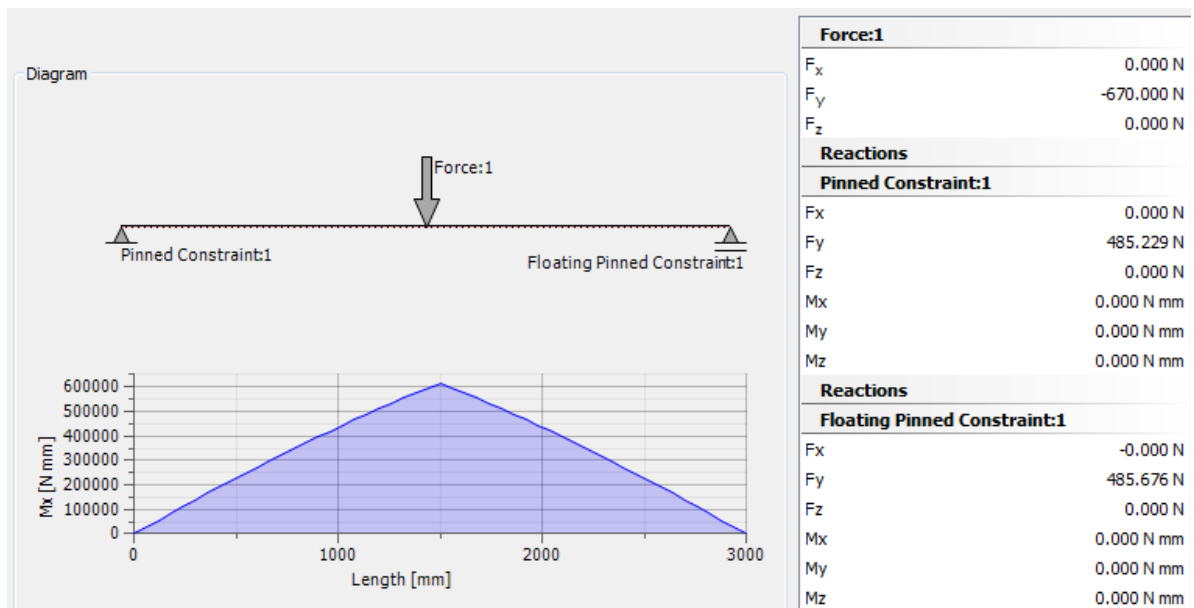
Como resultado, están los diagramas de fuerza, momento y esfuerzos.

Figura 10. Diagrama de fuerzas.



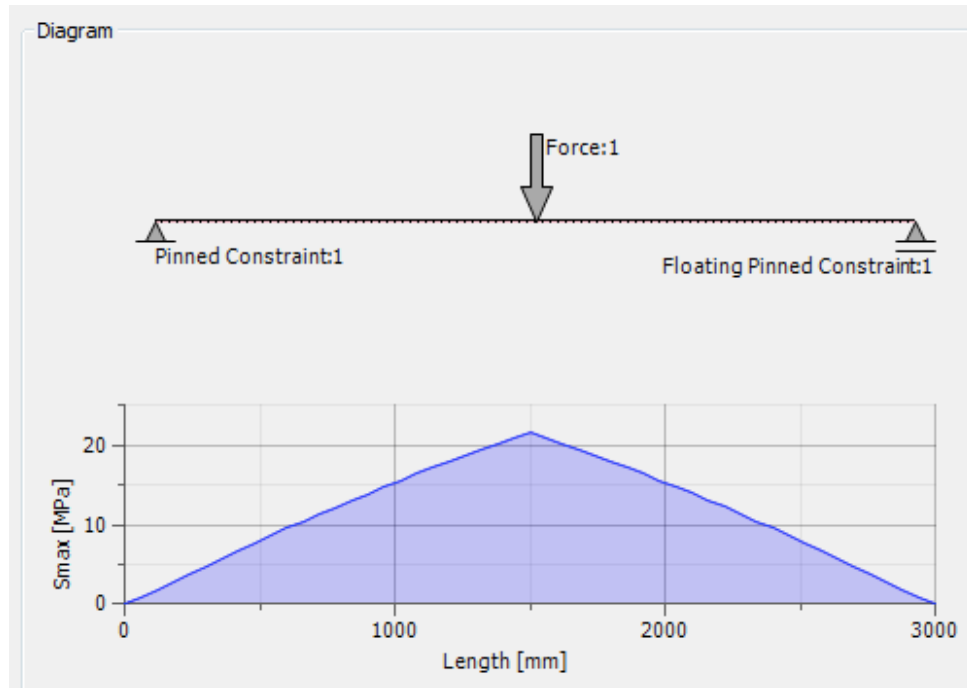
Elaboración propia. 2011.

Figura 11. Diagrama de momentos.



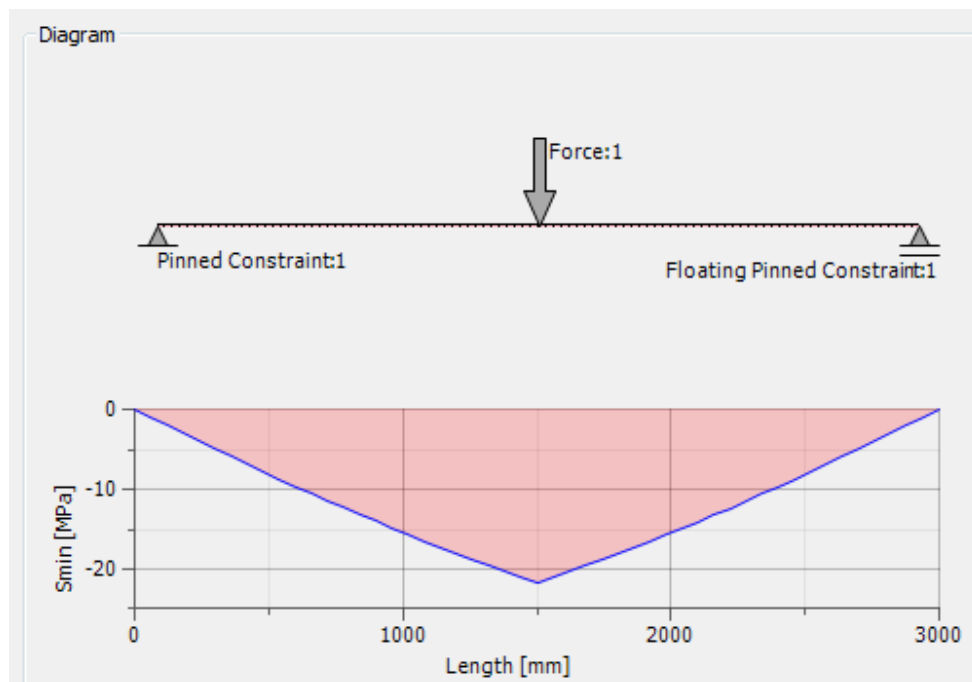
Elaboración propia. 2011

Figura 12. Diagrama de esfuerzos de tensión máxima.



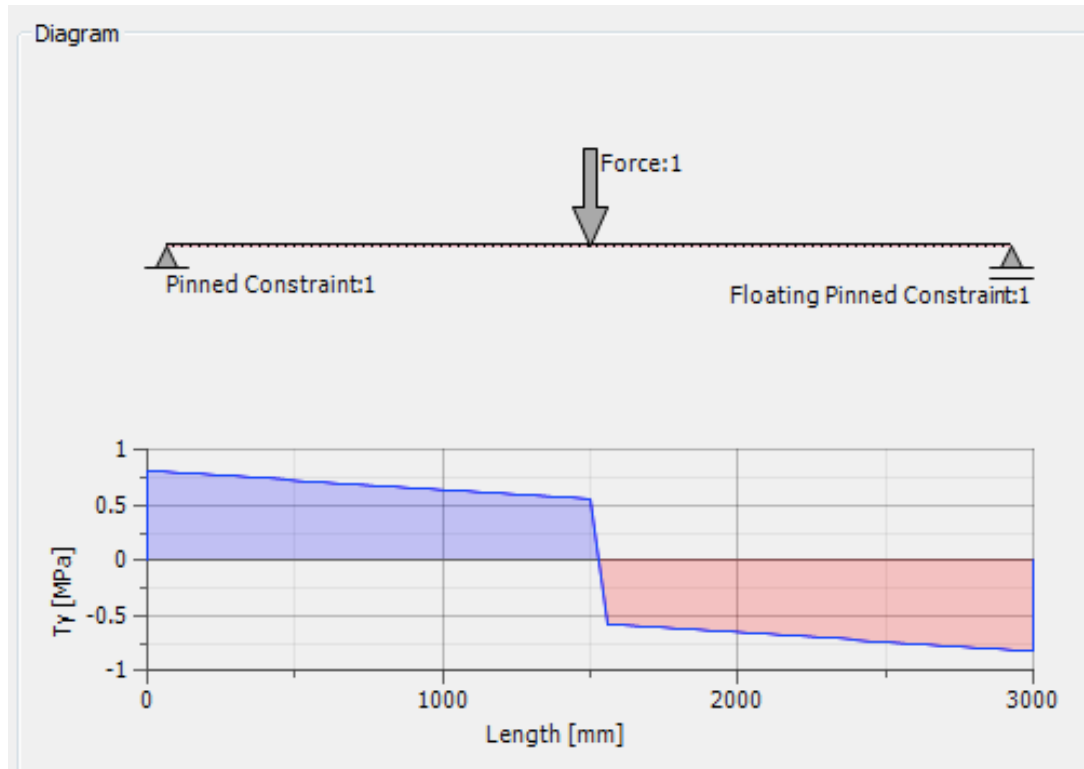
Elaboración propia. 2011.

Figura 13. Diagrama de esfuerzos de tensión mínima.



Elaboración propia. 2011.

Figura 14. Diagrama de esfuerzos cortantes.



Elaboración propia. 2011.

Para conocer el factor de seguridad del perfil y material seleccionados, el cuál indica seguridad representando que tantas veces es sobre dimensionado dicho material para soportar las cargas que sufre, se aplica el método estático de Langer, con el valor de esfuerzo que la gráfica de la Figura 12 brinda.

$$n = S_y / \sigma = 207 \text{ Mpa} / 23 \text{ Mpa} = 9$$

donde:

n: Factor de seguridad

S_y : Resistencia a la fluencia

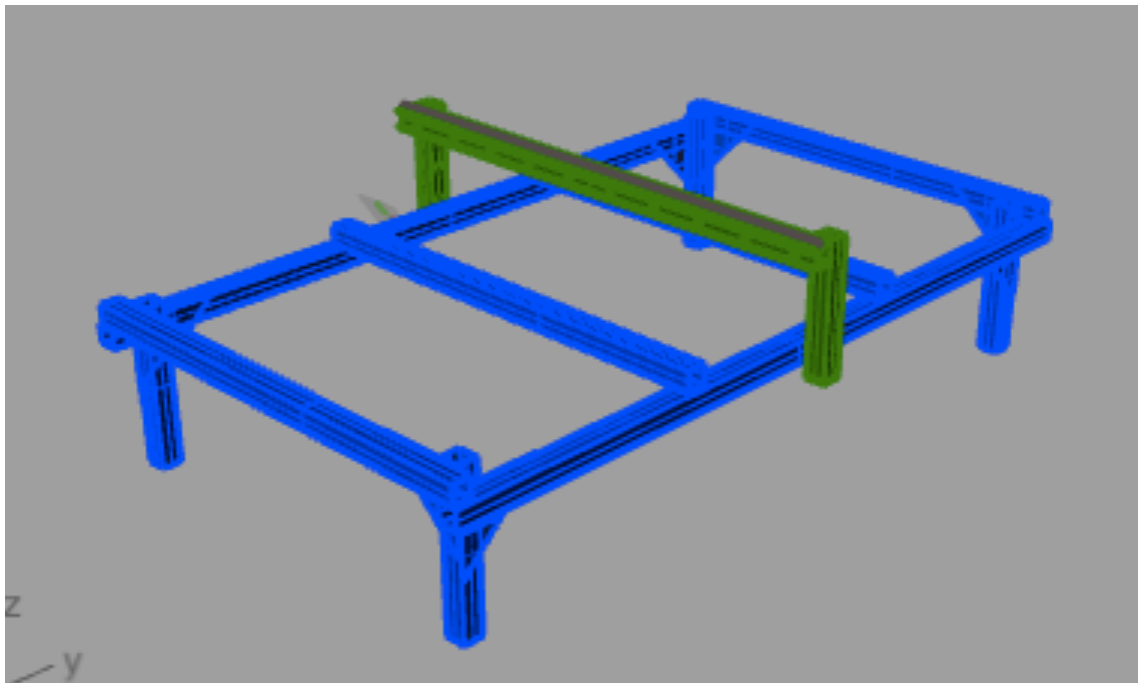
σ : Esfuerzo de tensión máximo

Con un factor de seguridad tan alto (9), se puede asegurar que la estructura de la máquina no va a fallar por esfuerzos de tensión, aún cuando se le apliquen esfuerzos mayores a los nominales.

La máquina sufre en pequeñas cantidades esfuerzos cortantes y de torsión, por lo que únicamente se aprueba el material y su perfil por el esfuerzo a la tensión ya calculado. Debido a que el cálculo está dado sobre la pieza crítica, esto asegura que no fallarán las demás piezas por esfuerzos de tensión.

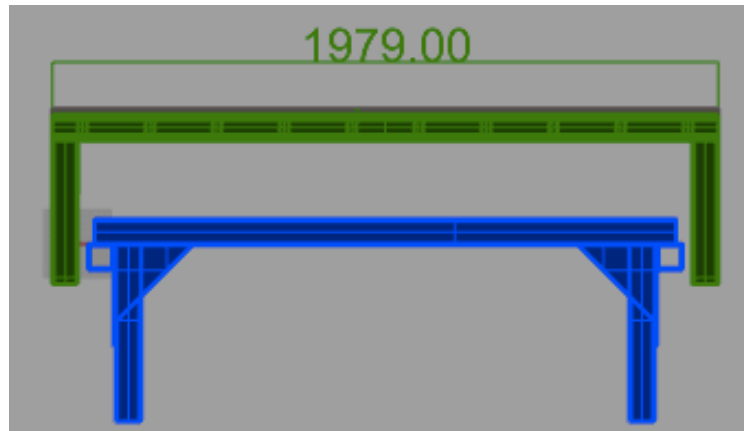
El diseño estructural, utilizando las dimensiones de la sección A, con algunos ajustes y con el perfil seleccionado, se muestra a continuación, omitiendo las cotas que no cambian:

Figura 15. Vista isométrica de la estructura.



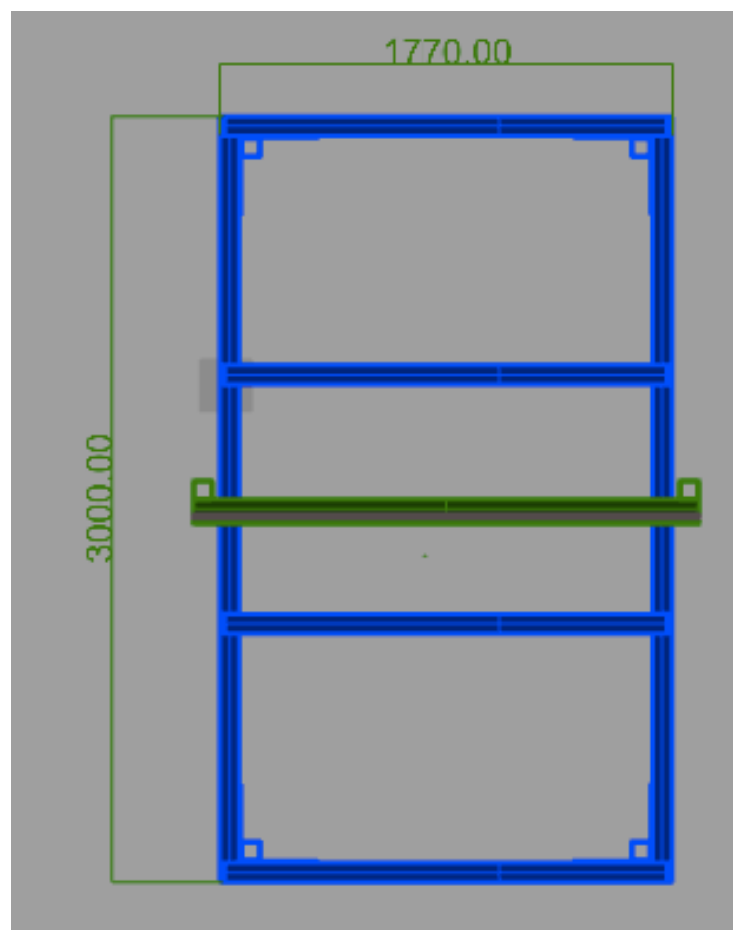
Elaboración propia. 2011.

Figura 16. Vista frontal de la estructura, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

Figura 17. Vista planta de la estructura, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

D. Diseño de piezas específicas

El diseño de piezas específicas incluye el modelado de las siguientes piezas: Tubos del eje X, travesaños de la mesa, soportes del eje Y, tubo del eje Y, soporte del eje Z y soporte del Router. La carrilera, rodos y otros componentes, son omitidos en este trabajo, debido a que son un diseño original y CNC Guatemala evita la distribución de su patrimonio intelectual.

1. Tubos del eje X. Los tubos del eje X son las piezas más largas, con longitud de 3 metros. Estos soportan los travesaños de la mesa, las carrileras y la cremallera que forma parte del sistema de empuje lineal del eje X.

Estos tubos se rectifican en donde se apoyan los travesaños, con profundidad de 3 mm para dejar una superficie más lisa, ya que su superficie no es totalmente plana. Además, se abren cuatro agujeros para los tornillos de unión. Ver figuras 18, 19 y 20.

Figura 18. Tubo eje X, vista planta, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

Figura 19. Tubo eje X, cerca, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

Otra cara del tubo, lleva atornilladas hembras de acero, las cuales sostendrán la cremallera, elemento que se utiliza para movilizar la máquina. Para la unión de dichas hembras al tubo, también es necesario rectificar el tubo con una profundidad de 1 mm. Esto por la misma razón anterior, dado que el tubo no es liso y se necesita rectificar el tubo para dejar una superficie menos rugosa.

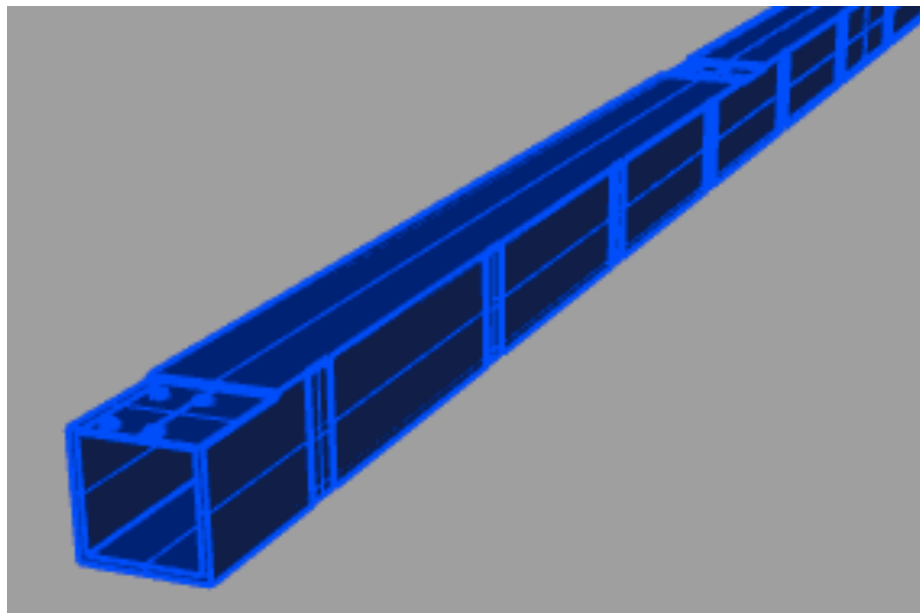
Figura 20. Tubo eje X, vista lateral, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

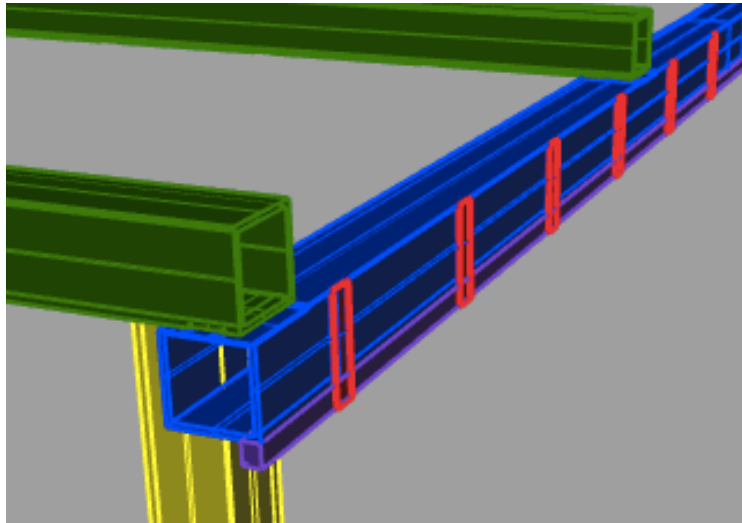
A continuación se muestra en las Figuras 21 y 22, una vista isométrica del tubo ya maquinado y después el tubo con los demás componentes, que van acoplados en diferentes colores, con el fin de tener una mejor comprensión del maquinado a aplicar en estos tubos.

Figura 21. Tubo eje X, vista isométrica.



Elaboración propia. 2011.

Figura 22. Tubo eje X y componentes acoplados, vista isométrica.



Elaboración propia. 2011.

En la Figura 22, se encuentra el tubo del eje X con los componentes que irían acoplados a este de la siguiente forma:

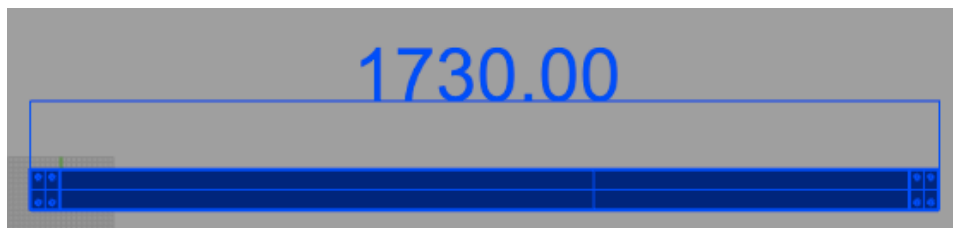
- Color verde: los travesaños de la mesa;
- Color rojo: las hembras que soportan la cremallera;
- Color morado: la cremallera;
- Color amarillo: una pata.

La razón por la cual la cremallera esta en la parte inferior y los travesaños en la parte superior, es porque la cremallera debe estar limpia para que el piñón no encuentre obstáculos en su camino, si la cremallera esta hacia abajo, la gravedad se encarga de evitar que se llene de suciedad y viruta.

2. Travesaños de la mesa. Los travesaños de la mesa son cuatro, y sirven de unión entre los tubos del eje X. También sirven de soporte para la mesa de la máquina, la cuál tendrá una plancha de MDF (Medium Density Fibreboard) para atornillar piezas en la mesa y como material de sacrificio.

Estos travesaños únicamente contienen rectificadores en sus extremos, por la misma razón que los tubos del eje X, además, de los agujeros para atornillar los travesaños a los tubos del eje X.

Figura 23. Travesaño, medidas en milímetros.

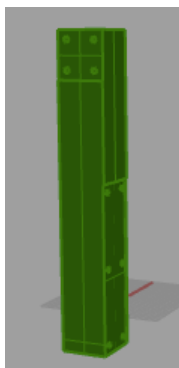


Elaboración propia. 2011.

3. Soportes del eje Y. Los soportes del eje Y son dos tubos de 500mm de largo, que soportan en su parte superior al tubo del eje Y, y en su parte inferior contienen una plancha con rodillos y el motor que permite la movilización de todo el eje Y.

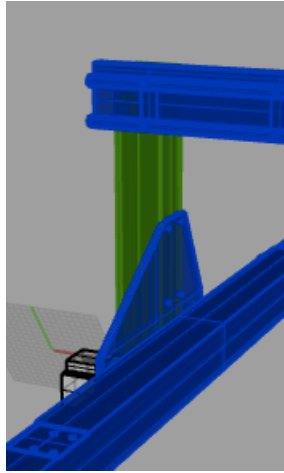
Estos soportes contienen rectificadores en su unión con la parte superior del tubo del eje Y, y rectificadores en la parte donde se unen las planchas. También llevan los agujeros necesarios para la unión con las piezas ya mencionadas, según se muestran en las figuras 24 y 25.

Figura 24. Soporte individual.



Elaboración propia. 2011.

Figura 25. Soporte con otros componentes.

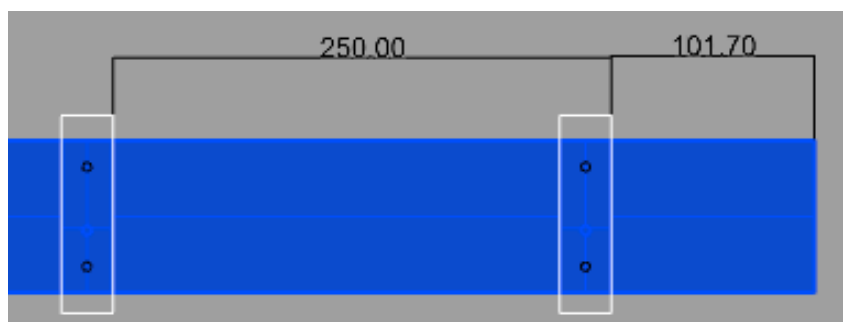


Elaboración propia. 2011.

4. Tubo del eje Y. Este tubo atraviesa, al igual que los travesaños, la mesa de un extremo a otro en su perfil angosto, pero lo hace desde una posición más alta, ya que en este tubo, se moviliza de un extremo a otro la plancha que soporta el eje Z, funcionando como carrilera del eje Y.

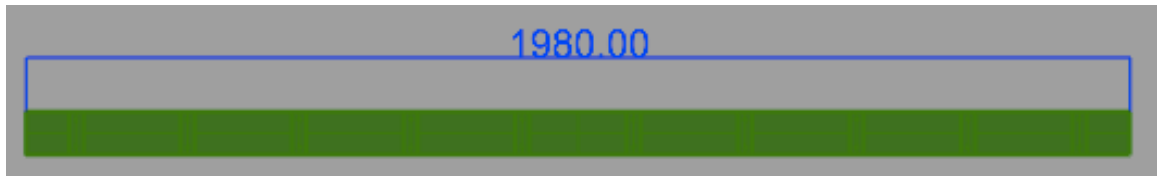
Este tubo, al igual que el tubo del eje X, consta de rectificaciones en sus extremos por la unión con los soportes del eje Y, y en la cara opuesta para unas hembras, las cuales sostienen la cremallera, con sus respectivos agujeros para los tornillos.

Figura 26. Distancia entre hembras, medidas en milímetros.



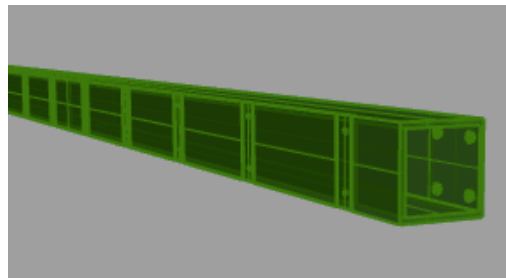
Elaboración propia. 2011.

Figura 27. Distancia del tubo del eje Y, en milímetros.



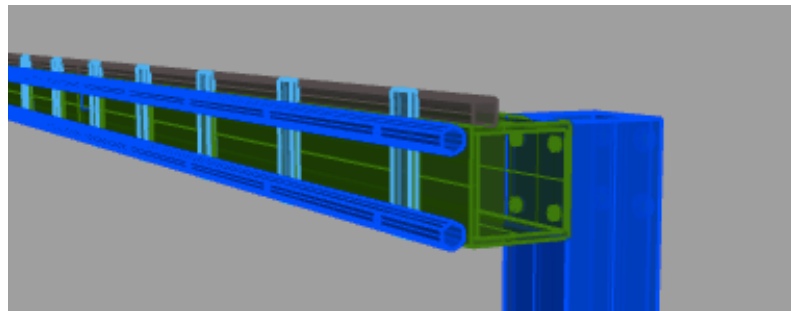
Elaboración propia. 2011.

Figura 28. Tubo eje Y sin componentes.



Elaboración propia. 2011.

Figura 29. Tubo eje Y con componentes.



Elaboración propia. 2011.

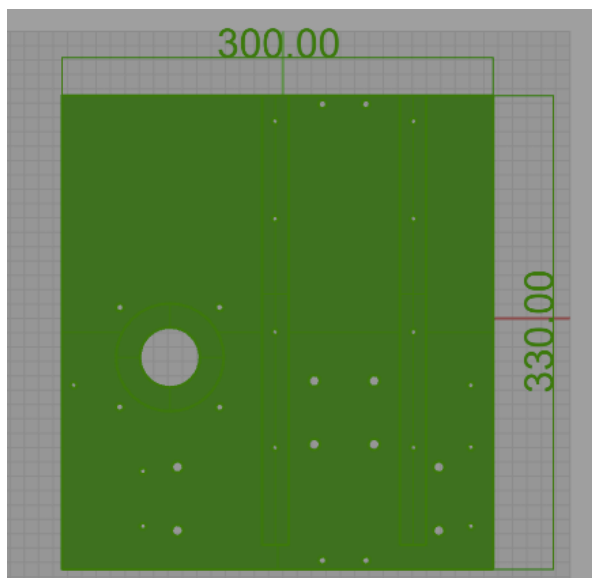
5. Soporte del eje Z. El soporte del eje Z consta de una plancha que se encarga de tener tanto los rodos que deslizan sobre la carrilera (tubo del eje Y), como el motor que impulsa la plancha. Además contiene todo el mecanismo del eje Z (carrilera, motor, sistema de posicionamiento y Router). Este eje Z, a diferencia de los ejes X y Y, se mueve por medio de un sistema de un tornillo sin fin, ya que, este es más preciso y por su menor longitud (30 cm), tiene un precio más accesible en el mercado.

La plancha que sirve como soporte del eje Z, debe tener agujeros de diferentes diámetros, algunos para machuelear y colocar tornillos, y otros pasados para los ejes de los rodos. Además, debe tener rectificaciones en dos sectores importantes:

- Primero donde se coloca la cara del motor, ya que si no se rectifica, se puede tener el eje del motor inclinado, lo que daría desgastes tempranos en el piñón;
- Segundo donde descansan los soportes del eje Z, ya que si no están totalmente perpendiculares a la mesa de trabajo, se tendrán maquinados con el Router CNC no esperados.

Cada medida de agujero depende del diámetro del tornillo, eje o componente correspondiente. Estas medidas se omiten, y únicamente se muestra en la Figura 20 la medida de la plancha, la cual es la necesaria para correr el programa de maquinado de la misma.

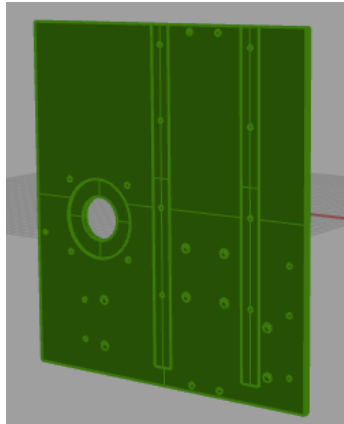
Figura 30. Soporte del eje Z, medidas en milímetros.



Elaboración propia. 2011.

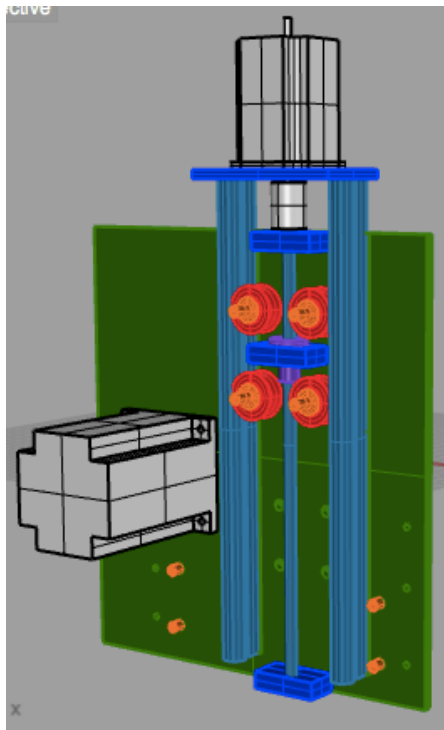
También se muestra en la Figura 31, una vista isométrica con la plancha maquinada sola, después en la Figura 32 con algunos componentes, y por último en la Figura 33 con todos los componentes que soporta dicha plancha.

Figura 31. Soporte del eje Z, vista isométrica.



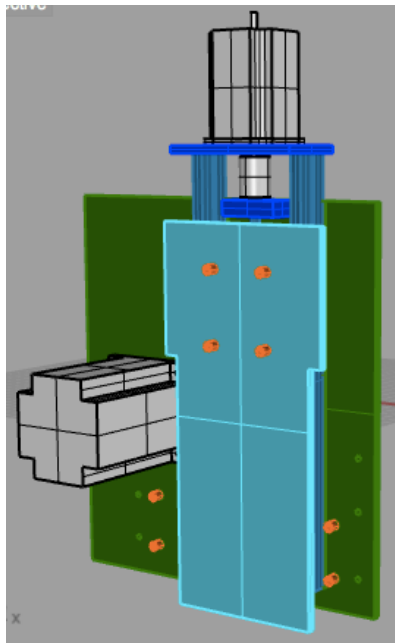
Elaboración propia. 2011.

Figura 32. Soporte del eje Z, con algunos componentes.



Elaboración propia. 2011.

Figura 33. Soporte del eje Z, con todos los componentes que soporta.



Elaboración propia. 2011.

Estas figuras ayudan al entendimiento del motivo de cada agujero y rectificado de dicha plancha. Estas figuras muestran los siguientes colores:

- Color gris: para motores;
- Color azul: para planchas y hembras de soporte;
- Color naranja: para ejes de rodos;
- Color rojo: para rodos
- Color morado: para otros componentes.

Los agujeros que se muestran sin aplicación son para colocar limpiadores de carrileras.

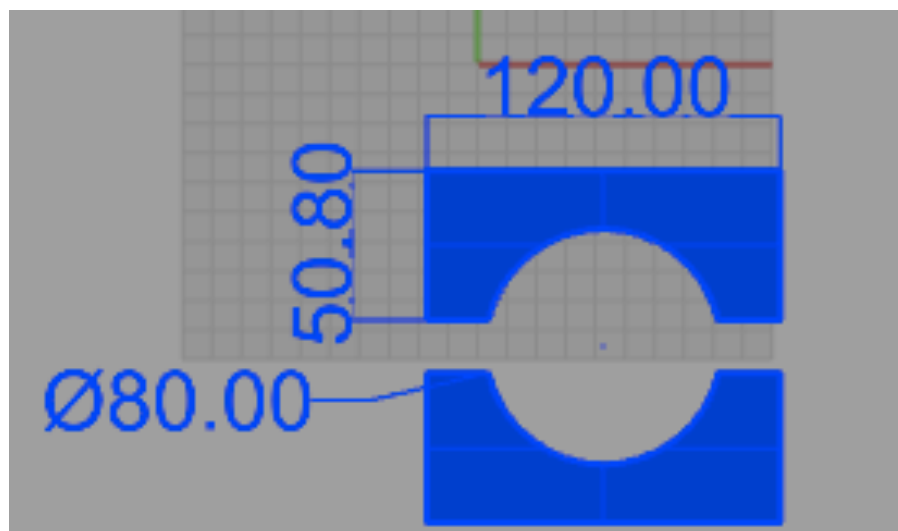
6. Soporte del Router. El último componente a especificar, ya que se consta de una estructura y mecanismos de movilización para tres ejes, es el soporte del Router, herramienta que produce el corte o tallado en el material a trabajar.

El Router tiene una forma redonda, y este debe acoplarse a la plancha que transmite los tres movimientos en los tres ejes, siendo esta la plancha color turquesa de la Figura 33, según se mostró anteriormente. Las piezas se deben maquinar en forma redonda para lograr un buen agarre del Router. El material a utilizar es Duraluminio, ya que es fácil de maquinar, y su pequeño tamaño no repercute en los gastos.

A continuación se presentan las medidas básicas de las piezas de soporte del Router, son necesarias cuatro piezas similares, las cuales se unen por medio de tornillos, tanto entre ellas como a la plancha del eje Z. También se muestran en las Figuras 35 y 36 en vistas isométricas las piezas sin componentes y las piezas con los componentes que las acompañan, con los siguientes colores:

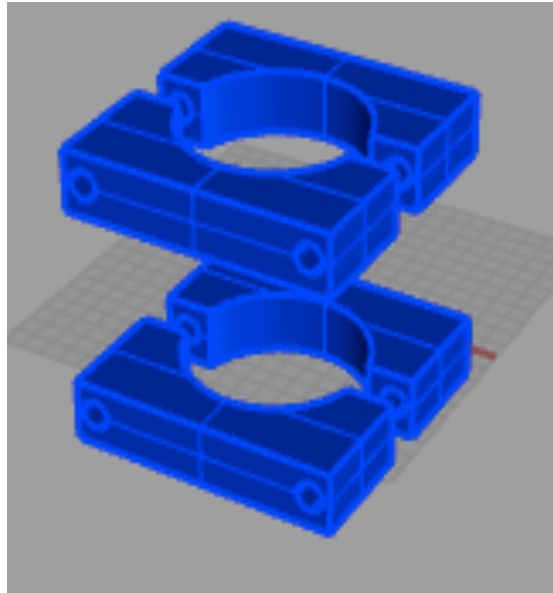
- Color rojo: para tuercas y tornillos;
- Color morado: para el Router;
- Color turquesa: para la plancha del eje Z.

Figura 34. Piezas de soporte del Router, medidas en milímetros.



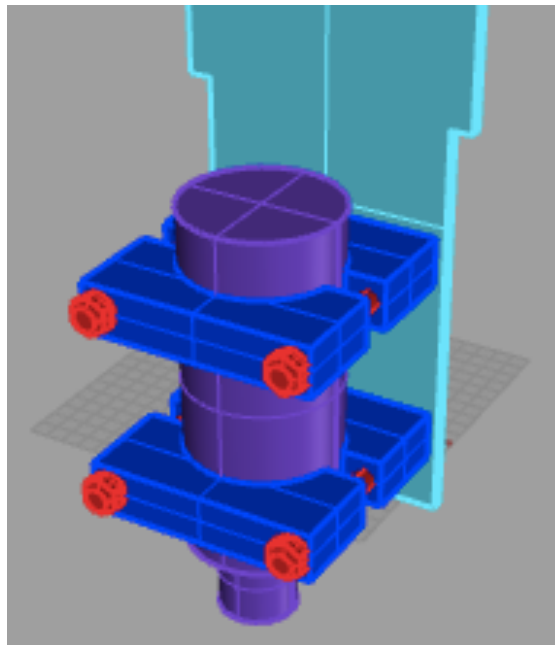
Elaboración propia. 2011.

Figura 35. Piezas de soporte del Router.



Elaboración propia. 2011.

Figura 36. Piezas del soporte del Router con componentes.



Elaboración propia. 2011.

E. Consideraciones en la manufactura

Para la manufactura de cada pieza, es importante tomar en cuenta la herramienta de corte, ya que cada herramienta puede arrancar material dependiendo de su capacidad.

Para la mayoría de fresados, se utiliza una fresa de carburo cuadrada de 1/2 pulgada de diámetro marca "Melin Tools" de cuatro filos. A continuación se muestran las especificaciones de las fresas que nos brindan los fabricantes.

Tabla 7. Especificaciones de fresas "Melin Tools".

CARBIDE END MILLS				
Speed and Feed Data - Applications in Various Materials				
Material	SFM	1/8"	1/4"	1/2"
Aluminum Alloys	600-1200	.0010	.0020	.0040
Brass	200-350	.0010	.0020	.0030
Bronze	200-350	.0010	.0020	.0030
Carbon Steel	100-600	.0010	.0015	.0030
Cast Iron	80-350	.0010	.0015	.0030
Cast Steel	200-350	.0005	.0010	.0020
Cobalt Base Alloys	20-80	.0005	.0008	.0010
Copper	350-900	.0010	.0020	.0030
Die Steel	50-300	.0005	.0010	.0020
Graphite	600-1000	.0020	.0050	.0080
Inconel/Monel	30-50	.0005	.0010	.0015

Fuente: Melin Tools, 2011.

Según la Tabla 7, se indica según el material a cortar y el diámetro de la fresa, cuanto puede arrancar cada una. En el caso a aplicar, se selecciona la intersección entre "1/2" y "Carbol Steel" que es: 0.003 de carga por filo.

La compañía también brinda las fórmulas necesarias para calcular las RPM o la velocidad de avance que se le tiene que dar a cada herramienta, según se muestra en la Figura 37.

Figura 37. Fórmulas que brinda "Melin Tools".

LIST OF SYMBOLS	
F	= NUMBER OF FLUTES
D	= DIAMETER OF CUTTER
R.P.M.	= REVOLUTIONS PER MINUTE
S.F.M.	= SURFACE FEET PER MINUTE
I.P.M.	= FEED RATE: INCHES PER MINUTE
I.P.R.	= FEED RATE: INCHES PER REVOLUTION

MACHINING FORMULAS	
S.F.M.	= 0.262 x D x R.P.M.
R.P.M.	= $\frac{3.82 \times \text{S.F.M.}}{D}$
I.P.R.	= $\frac{\text{I.P.M.}}{\text{R.P.M.}}$ or CHIP LOAD x F
I.P.M.	= R.P.M. x I.P.R.
CHIP LOAD	= $\frac{\text{I.P.M.}}{\text{R.P.M.} \times F}$ or $\frac{\text{I.P.R.}}{F}$

Fuente: Melin Tools, 2011.

Debido a que la fresadora CNC a utilizar para maquinar las piezas se le fijan 400 RPM, únicamente queda calcular el avance en milímetros por minuto.

Para calcular la velocidad de corte:

$$\text{I.P.R} = \text{chip load} \times F = 0.003 \times 4 = 0.012$$

$$I.P.M = I.P.R \times R.P.M = 0.012 \times 400 = 4.8 \text{ in/min}$$

Debido a que se necesita el dato en mm/min, se hace la conversión:

$$M.P.M = I.P.M \times 25.4 = 121.9 \text{ mm/min}$$

Con este dato, se puede asegurar que la herramienta, por ejemplo: Girando a 400 RPM, cortando una profundidad adecuada (1mm) y a una velocidad de corte de 121.9 mm/min, tendrá un buen desempeño.

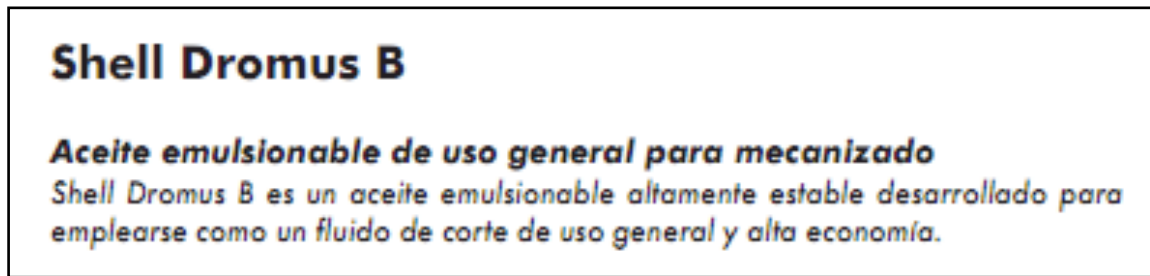
Aunque en la mayoría de piezas maquinadas, se utilizó la fresa mencionada anteriormente, para algunas partes específicas y para abrir agujeros se utilizaron otras herramientas. El cálculo presentado es necesario aplicarlo con cada herramienta de corte, incluyendo las brocas para los agujeros.

Además de una velocidad de corte adecuada, también es de importancia aplicarle refrigerante al área de trabajo. La función del refrigerante es evitar que se caliente el material y la herramienta de corte, limpiar la viruta y proteger la herramienta de corte y el material a cortar de la corrosión, dándole una mayor vida útil a la herramienta de corte.

Debido a que en Guatemala se encuentran en el mercado únicamente algunos refrigerantes disponibles, se opta por utilizar "Shell Dromus B", ya que está diseñado para el rectificado de piezas y maquinado. Este refrigerante trabaja con materiales ferrosos adecuadamente.

A continuación, se presenta en la Figura 38 la presentación del refrigerante "Shell Dromus B", y en la Tabla 8, las concentraciones recomendadas de este refrigerante según su fabricante.

Figura 38. Presentación de refrigerante “Shell Dromus B”.



Fuente: Shell, 2011.

Tabla 8. Concentraciones recomendadas de “Shell Dromus B”.

Concentraciones Recomendadas

	%	Relación
Rectificado	2 - 3	50:1 - 30:1
Mecanizado general de materiales no ferrosos	3 - 5	30:1 - 20:1
Mecanizado general de metales ferrosos	5	20:1

Fuente: Shell, 2011.

Según la Tabla 8, al utilizarse este refrigerante en materiales ferrosos, se le aplica una mezcla con relación 20:1, lo que indica que por cada medida de aceite, se necesitan veinte medidas de agua.

F. Conexión de motores

Los motores utilizados son motores de pasos, ya que estos logran girar su eje con una alta precisión. Además, son de fácil implementación, gracias a que el software de CNC (Mach) realiza la conversión de pulsos mandados al motor a

distancia recorrida por la máquina. Estos motores tienen un menor costo en el mercado comparado con servomotores de las mismas especificaciones.

La marca a utilizar es Keling Technology Inc. Esta empresa brinda los datos técnicos tanto de los motores como de sus controladores. Ésta es una empresa de Estados Unidos, porque en Guatemala no se venden motores de pasos para uso industrial, y se caracteriza por productos de calidad para máquinas CNC, a precios accesibles con rápida disponibilidad debido a la cercanía del país.

Para los tres ejes, se utilizan motores de alto torque, ya que, estos deben vencer tanto la inercia del peso de la estructura, como la fuerza necesaria para mover el sistema lineal, por su ajuste determinado. El ajuste del sistema lineal es variable, por lo que se busca, experimentalmente, un ajuste que no permita movilidad en ejes no deseados, sino únicamente en el sentido de movimiento del sistema, pero que permita al motor o motores lograr mover el sistema sin un esfuerzo mayor al nominal. Los motores también tienen un torque variable, dependiente de la corriente configurada en el controlador de cada motor, estos valores se colocan experimentalmente siempre evitando llegar a la corriente máxima nominal de cada motor.

En caso de los ejes X y Y, se utilizan los siguientes motores: KL34H280-45-4A, estos motores son motores híbridos de alto torque. Las especificaciones de los motores se especifican a continuación con la Figura 39.

Figura 39. Especificaciones de los motores KL34H280-45-4A.

SPECIFICATIONS:

VOLTAGE	CURRENT	RESISTANCE	INDUCTANCE	HOLDING TORQUE
V	A	ohms $\pm 10\%$	mH $\pm 20\%$	0Z-IN $\pm 10\%$
4.05	4.5	0.9	6.8	640

COMMON RATINGS:

Step angle: 1.8° Positional accuracy: ±5% Number of Phase: 2 Temperature rise: 80° C Max Inertia: 1600 gcm²	Dielectric strength: 500VDC Insulation resistance: 100MΩ(500VDC) Radial play: 0.025mm Max. (load 450g) Insulation class: B Weight: 2.4kg
---	---

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Las especificaciones de la Figura 39 se utilizan para realizar una conexión adecuada de los motores a sus controladores. Los controladores se seleccionan dependiendo de la corriente que pueden brindar y la corriente máxima nominal de los motores.

Los controladores seleccionados para los motores a utilizar en el eje X y Y son KL-8060, sus parámetros se muestran a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de los controladores KL-8060.

Parameters	KL8060			
	Min	Typical	Max	Unit
Output current	2	-	6	A
Supply voltage	20	48	80	VDC
Logic signal current	7	10	16	mA
Pulse input frequency	0	-	100	KHz
Isolation resistance	500			MΩ

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Según los parámetros de la Figura 41, hay un rango de corriente de 2 a 6A, y ya que la corriente nominal de los motores a controlar por este controlador es de 4.5A, hay un rango de 2 a 4.5A para configurar la corriente y torque adecuados.

Tabla 10. "Microstep" de los controladores KL-8060.

Microstep	SW5	SW6	SW7	SW8
1/2	0	0	0	0
1/4	0	1	0	0
1/8	0	0	1	0
1/16	0	1	1	0
1/32	0	0	0	1
1/64	0	1	0	1
1/128	0	0	1	1
1/256	0	1	1	1

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

El "Microstep" permite agrandar la relación de pulsos enviados por vuelta del eje del motor. Cada paso, mientras más divisiones tenga, se puede llegar a una posición deseada con mayor precisión. Ya que se busca la mayor precisión posible de la máquina, se configura con el "Microstep" de 1/256, colocando los interruptores 5, 6, 7 y 8, en la configuración mostrada en la Tabla 10.

La Tabla 11 muestra la corriente que puede entregar el controlador KL-8060 a los motores.

Tabla 11. Corriente a entregar al motor, controladores KL-8060.

Current	SW1	SW2	SW3
2.0	0	0	0
2.57	1	0	0
3.14	0	1	0
3.71	1	1	0
4.28	0	0	1
4.86	1	0	1
5.43	0	1	1
6.00	1	1	1

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

La corriente debe ser la suficiente para que el motor logre tener un torque adecuado. Para lograr una corriente suficiente, sin sobrepasar la corriente nominal que soporta cada motor, se configura el controlador, con cambios en los interruptores 1, 2 y 3 según la Tabla 11, para que la corriente de entrega sea de 4.28A.

Para el eje Z, debido a que se necesita un menor torque, se utiliza el siguiente motor: KL23H286-20-8B, que también es un motor de pasos de alto torque.

En la Figura 40 se muestran las especificaciones del motor del eje Z.

Figura 40. Especificaciones de los motores KL23H286-20-8B.

CONNECTION STYLE	STEP ANGLE	RATED VOLTAGE	CURRENT	RESISTANCE	INDUCTANCE	HOLDING TORQUE	ROTOR INERTIA	WEIGHT
	DEG /STEP	V	A	Ω	mH	OZ-IN	gcm^2	Kg
Unipolar	1.8	6.0	2.0	3.0	6.8	305	840	1.4
Parallel		4.17	2.8	1.5	6.8	425		
Series		8.4	1.4	6.0	27.2			

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Para lograr un mayor torque, se conecta el motor en una configuración Bipolar paralela, más adelante se muestra como se conecta el motor para lograr dicha configuración. El controlador que se utiliza para este motor es el KL-4030, sus parámetros se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros de los controladores KL-4030.

Parameters	KL4030			
	Min	Typical	Max	Unit
Output current	0.9	-	3	A
Supply voltage	20	36	40	VDC
Logic signal current	7	10	16	mA
Pulse input frequency	0	-	100	KHz
Isolation resistance	500			MΩ

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

El controlador KL-4030 es más apto para el motor seleccionado para el eje Z, ya que su rango de corriente va desde 0.9 hasta 3A, y la corriente nominal de este motor es de 2.8A.

En la Tabla 13 muestra el “Microstep” que puede brindar el controlador KL-4030.

Tabla 13. “Microstep” de los controladores KL-4030.

Microstep	M1	M2	M3
—	0	0	0
1	1	1	1
1/2	0	1	1
1/4	1	0	1
1/8	0	0	1
1/16	1	1	0
1/32	0	1	0
1/64	1	0	0

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Al igual que con los controladores KL-8060, en el KL-4030 se busca la mayor división de pulsos por vuelta del eje del motor para mayor precisión. En el caso del controlador KL-4030, se configura una relación 1/64 modificando los interruptores M1, M2 y M3 como se muestran en la Tabla 13.

La Tabla 14 muestra la corriente que puede entregar el controlador KL-4030 a los motores.

Tabla 14. Corriente a entregar al motor, Controlador KL-4030.

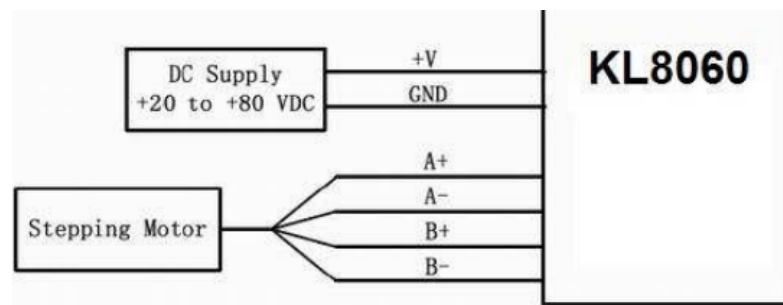
Current	M5	M6	M7
0.9	0	0	0
1.2	0	0	1
1.5	0	1	0
1.8	0	1	1
2.1	1	0	0
2.4	1	0	1
2.7	1	1	0
3.0	1	1	1

Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

La corriente máxima nominal del motor del eje Z es de 2.8A. La configuración elegida para este motor en el controlador es la que le provee 2.7A, para que el motor trabaje con el torque máximo posible, sin llegar a su límite, configurando los interruptores M5, M6 y M7 como se muestran en la Tabla 14.

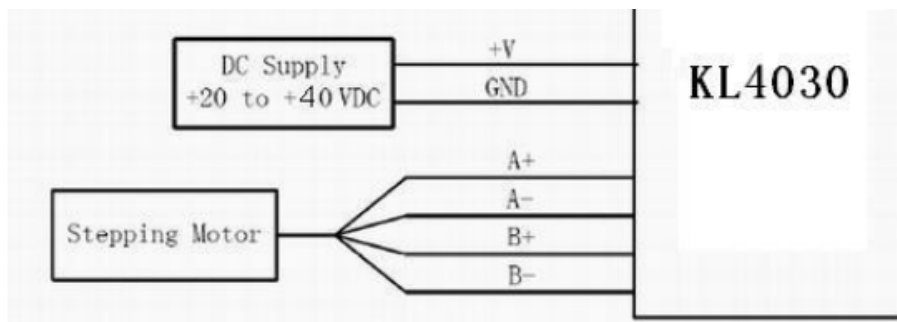
Ambos controladores (KL-8060 y KL-4030), tienen las mismas entradas y salidas. Las salidas de ambos controladores van directo a las bobinas de los motores, como se muestra en la Figura 41 y 42.

Figura 41. Alimentación y salida del controlador KL-8060.



Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Figura 42. Alimentación y salida del controlador KL4030.

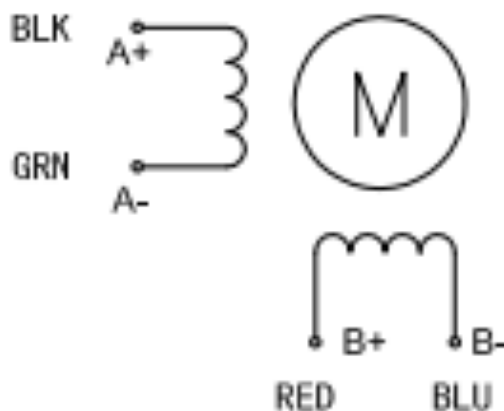


Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Las bobinas de los motores se reconocen por medio de una codificación de colores en los cables de salida de los motores.

En el caso de los motores del eje X y Y, se muestra en la Figura 43 su codificación por colores.

Figura 43. Codificación de colores en motores KL34H280-45-4A.



Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

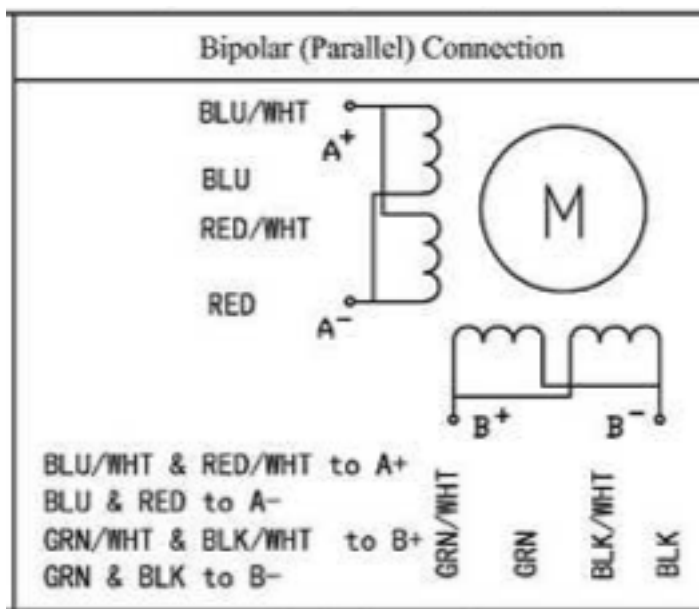
La Figura 43 da información para conectar la salida de los controladores a las bobinas requeridas, nombradas A+, A- y B+, B-, identificadas por color de la siguiente forma:

- BLK: Cable negro;
- GRN: Cable verde;
- RED: Cable rojo;
- BLU: Cable azul.

El controlador del motor del eje Z también requiere la identificación de las bobinas del motor.

En la Figura 44 se muestra la conexión necesaria para una configuración en bipolar paralelo.

Figura 44. Conexión Bipolar paralelo para en motores KL23H286-20-8B.



Fuente: Keling Technology Inc. 2011.

Con la configuración mostrada en la Figura 44, se puede conectar al controlador todos los cables del motor, utilizando la codificación del color que determina que cables se utilizan como A+, A-, B+ y B-, que son las salidas del controlador, utilizando los siguientes colores:

- BLU/WHT: Cable azul y blanco;
- BLU: Cable azul;
- RED/WHT: Cable rojo y blanco;
- RED: Cable rojo;
- GRN/WHT: Cable verde y blanco;
- GRN: Cable verde;
- BLK/WHT: Cable negro y blanco;
- BLK: Cable negro.

G. Configuración de la máquina

La configuración de la máquina es el proceso de indicarle al programa de control numérico por computadora, que se llama Mach, en su última versión (Mach 3), los datos necesarios para que logre mandar a los controladores de los motores, los datos correctos para lograr el comportamiento deseado de la máquina. Para esta sección, fue necesario primero comprar la licencia del programa e instalarlo, además de leer el manual que la empresa que distribuye Mach, brinda para su configuración. Este manual se denomina: “Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration, version 3”, de ArtSoft USA.

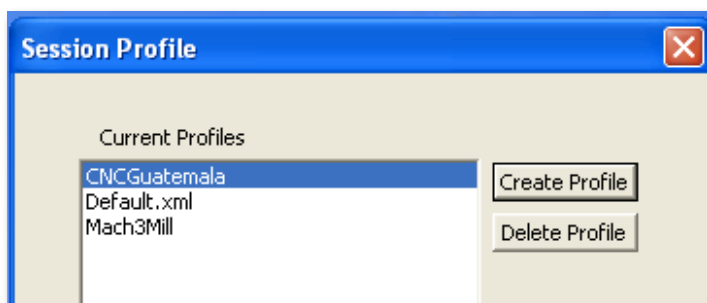
La configuración de la máquina se divide en los siguientes aspectos:

1. Configuración de salidas y entradas para el puerto paralelo.
2. Configuración de pulsos, velocidades, aceleraciones y dependencia de motores.
3. Guardar cambios de la configuración.

Antes de configurar el programa, se recomienda crear un perfil por máquina que controla Mach. La opción de crear perfiles, se muestra cuando se inicializa el programa Mach.

El perfil creado para la configuración del Router CNC, se muestra en la Figura 45 con el nombre de “CNCGuatemala”.

Figura 45. Perfiles de Mach (versión 3).



Elaboración propia, 2011.

La configuración de las salidas del puerto paralelo, son las entradas que los controladores de los motores requieren, las cuales se muestran en la Figura 46.



















Figura 46. Entradas de controladores marca Keling.

Pin Function	Details
PUL+(+5V)	<p><u>Pulse signal:</u> In single pulse (pulse/direction) mode, this input represents pulse signal, effective for each rising or falling edge (set by inside R13&R14); 4-5V when PUL-HIGH, 0-0.5V when PUL-LOW. In double pulse mode (pulse/pulse), this input represents clockwise (CW) pulse, effective for high level or low level (set by inside R13&R14). For reliable response, pulse width should be longer than 1.2µs. Series connect resistors for current-limiting when +12V or +24V used.</p>
PUL-(PUL)	
DIR+(+5V)	<p><u>DIR signal:</u> In single-pulse mode, this signal has low/high voltage levels, representing two directions of motor rotation; in double-pulse mode (set by inside R31&R32), this signal is counter-clock (CCW) pulse, effective for high level or low level (set by inside R13&R14). For reliable motion response, DIR signal should be ahead of PUL signal by 5µs at least. 4-5V when DIR-HIGH, 0-0.5V when DIR-LOW. Please note that motion direction is also related to motor-driver wiring match. Exchanging the connection of two wires for a coil to the driver will reverse motion direction.</p>
DIR-(DIR)	

Fuente: Keling Technology, 2011.

Las salidas del puerto paralelo, se conectan a la entrada del controlador PUL, y DIR, que son los pulsos y la dirección que se le envían al motor respectivamente. Después de hacer estas conexiones, se debe indicar en Mach, que salida del puerto paralelo corresponde a cada entrada de los controladores. Esta configuración se muestra a continuación en la Figura 47.

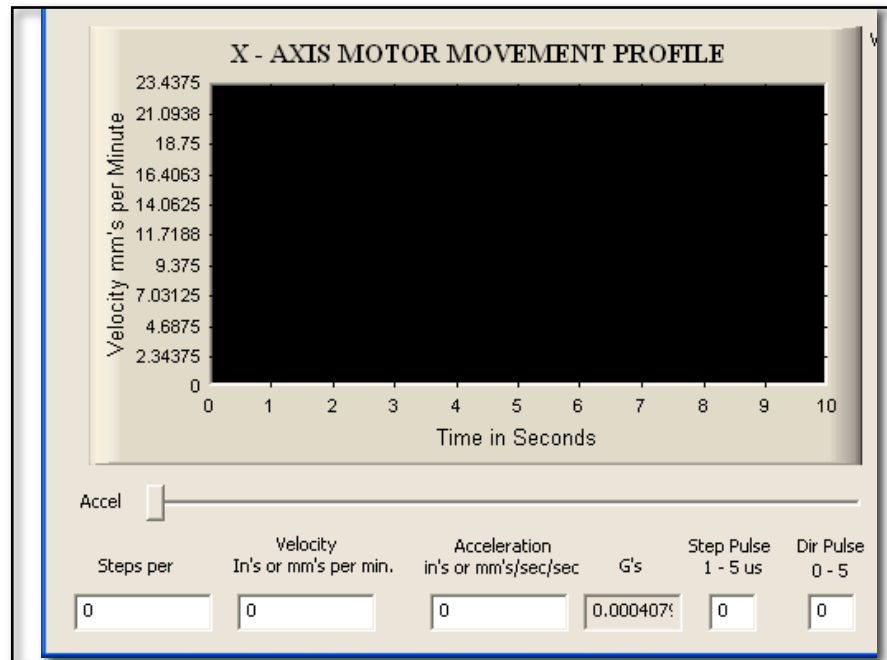
Figura 47. Configuración del puerto paralelo en Mach.

Engine Configuration... Ports & Pins						
Port Setup and Axis Selection		Motor Outputs	Input Signals	Output Signals	Encoder/MPG's	Spin
Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActive	Step Low Ac...	
X Axis		2	3			
Y Axis		4	5			
Z Axis		6	7			
A Axis		0	0			
B Axis		0	0			
C Axis		8	9			

Elaboración propia, 2011.

Para configurar los pasos, velocidades y aceleraciones, se muestra en la Figura 48 la ventana de configuración de estos datos. Estos se omiten debido a que son propiedad de CNC Guatemala. Los valores que debe tener Mach para un funcionamiento adecuado del Router CNC, fueron calculados previamente y están probados experimentalmente dando un funcionamiento satisfactorio.

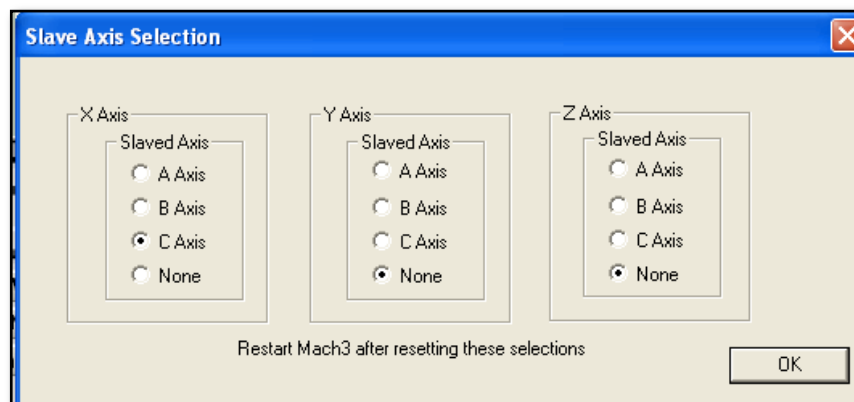
Figura 48. Configuración de motores en Mach.



Elaboración propia, 2011

El eje X utiliza dos motores para su funcionamiento, por lo que es necesario configurar una dependencia de los motores, la cual se configura en la ventana que se muestra en la Figura 49, donde se indica que el motor del eje C, es esclavo del motor del eje X.

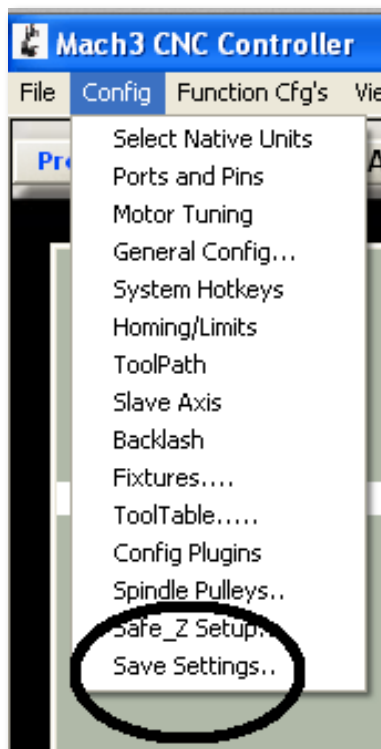
Figura 49. Configuración de ejes esclavos en Mach.



Elaboración propia, 2011

Por último, es necesario guardar los cambios realizados y reiniciar el programa para que su nueva configuración haga efecto. En la Figura 50 se muestra la opción de guardar configuración encerrada en un círculo, llamada “Save Settings..”.

Figura 50. Opción para guardar configuración en Mach.



Elaboración propia, 2011.

H. Diseño e implementación de la mesa al vacío

La mesa al vacío se diseña para retener las piezas que el Router CNC trabaja. Para lograr este cometido, se consta con una bomba de vacío marca Goorui de 3HP de potencia.

Para lograr un vacío en la mayoría de área que abarca la mesa de la máquina, se implementa un corte de 0.5 cm de profundidad. Esta profundidad es

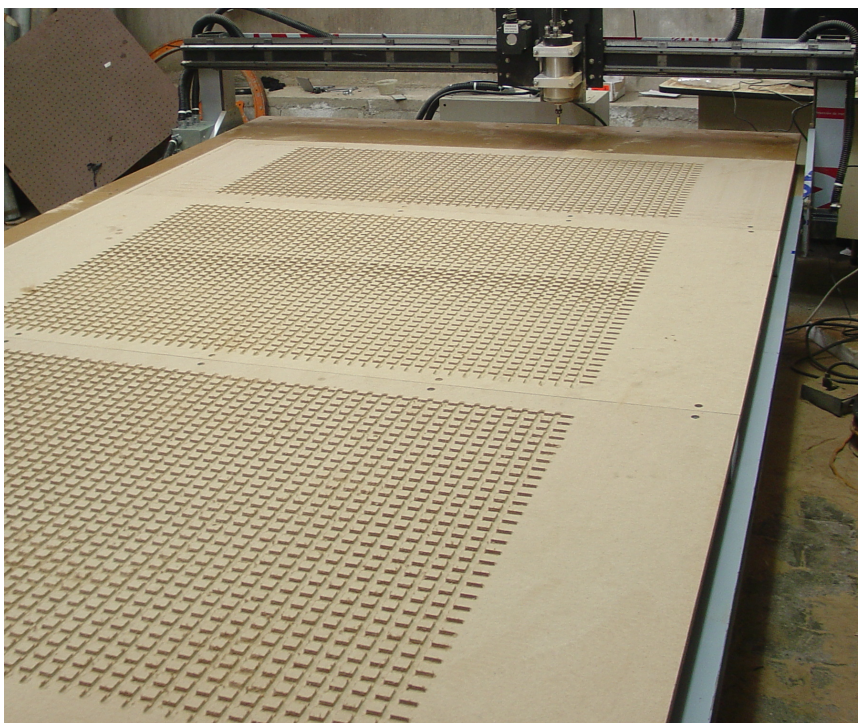
suficiente para que el vacío se disperse por todos los lugares donde se realiza el corte.

El corte se hace de una forma cuadriculada. La forma cuadriculada da un corte eficiente porque únicamente se mueve un eje a la vez mientras se corta, así se reduce el error y no se depende de trayectorias que implican mucho procesamiento de interpolación.

El corte de la mesa se divide en tres secciones, debido a que la mesa se conforma por tres planchas de MDF independientes.

En la Figura 51, se puede apreciar el resultado del corte cuadrulado realizado en la mesa para un vacío uniforme en la mayoría del área de la mesa del Router.

Figura 51. Cortes para la mesa al vacío.

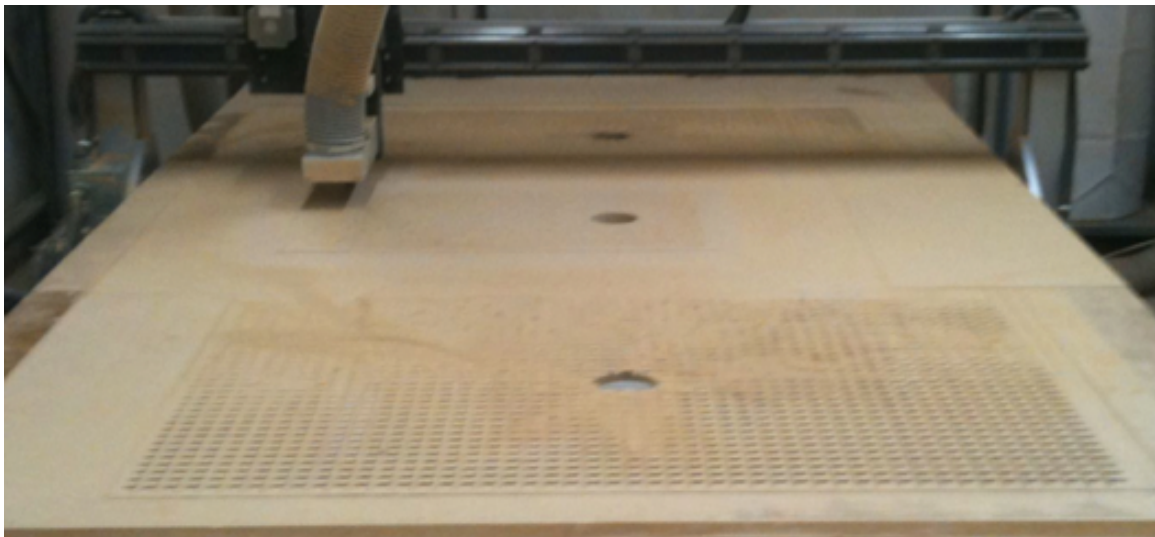


Elaboración propia, 2011.

Debido a que está limitada la potencia de la bomba a 3HP, se recomienda tapar la mesa en las partes que estén expuestas para evitar pérdidas. En caso se trabaje con la mesa al vacío, y se tengan múltiples fugas relativamente grandes (áreas expuestas al aire), es probable que la fuerza de succión no sea suficiente para sujetar la pieza cuando el Router trabaje sobre ella.

La mesa está dividida en tres secciones, por lo que se divide la succión que la bomba provee en tres tuberías de PVC, que se encuentran en la parte inferior de la mesa. Estas tuberías distribuyen el vacío de la mejor manera posible en tres agujeros, los cuales están situados en el centro de cada sección de la mesa, para que tenga efecto sobre las ranuras cortadas. En la Figura 52 se muestra la mesa al vacío con los agujeros por donde se succiona el aire.

Figura 52. Mesa al vacío con agujeros.



Elaboración propia, 2011.

I. Diseño e implementación del extractor de viruta

El extractor de viruta se diseña para evitar que el lugar de trabajo de la máquina se llene de residuos del material que la máquina corta. Esta medida es necesaria para un ambiente sano y seguro para los operarios, ya que la inhalación continua de algunos materiales puede provocar daños y enfermedades en el sistema respiratorio de éstos en el mediano plazo. Otra razón importante es evitar que el polvo o viruta que se genera en el corte, dañe conexiones eléctricas u obstaculice el recorrido del Router. Este cometido se logra con un kit de bomba de vacío marca Goorui de 1HP de potencia, que incluye manguera flexible.

Para conectar la manguera flexible al Router y lograr que la succión de viruta sea lo más cercana posible a la herramienta de corte, se diseña y fabrica una pieza. Esta pieza está hecha de ACM (Aluminum composite material). Este material permite un fácil corte, debido a que contiene placas de aluminio de 0.4mm de grosor, y permite también, con un corte no totalmente profundo, realizar dobleces fácilmente. En la Figura 53, se muestra la pieza fabricada para la conexión de la manguera flexible con el Router. Esta pieza contiene abajo y alrededor del Router, espacio disponible. Este espacio permite que haga efecto la succión que la bomba provee, para succionar toda la viruta y polvo posible en el maquinado de piezas.

Figura 53. Conexión de la manguera del extractor de viruta.

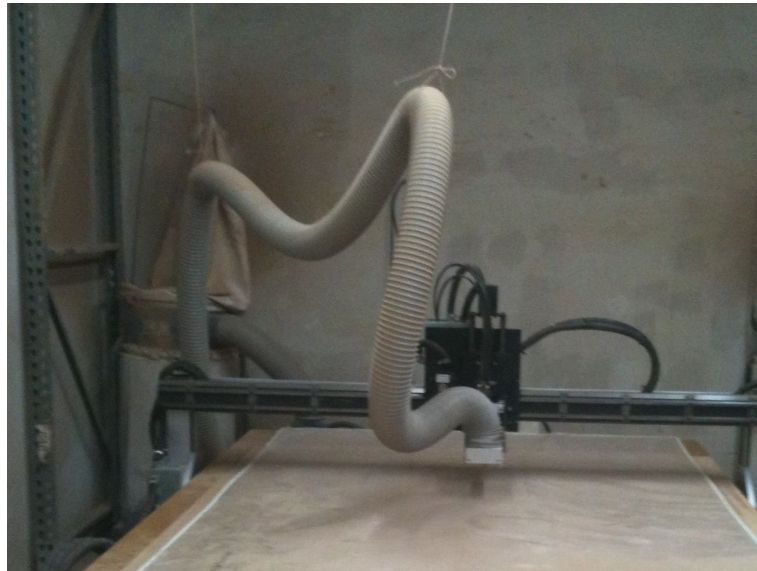


Elaboración propia, 2011.

La manguera de succión que incluye la bomba se cuelga al techo del área de trabajo. Así, el Router puede movilizarse en toda su área de trabajo sin que la manguera lo obstaculice. Además, la manguera se soporta desde el centro de la mesa de trabajo para una mayor eficiencia de la longitud de la manguera.

En la Figura 54 se muestra el sistema final del extractor de viruta, con la manguera colgada en el techo del área de trabajo.

Figura 54. Extractor de viruta implementado.



Elaboración propia, 2011.

J. Elección y programación del cambiador automático de herramienta

El cambiador automático de herramienta permite, como su nombre lo indica, un cambio en las herramientas de corte sin intervención del operario, de forma automática. Este cambio se realiza especificando la herramienta de corte que se desea en el código que el programa Mach interpreta.

La elección del husillo, el cual debe estar diseñado para la operación del cambio automático de herramienta debido al sistema neumático que utiliza, toma en cuenta las siguientes opciones, según se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Opciones de cambiadores automáticos de herramienta.

Marca	Nombre	Potencia	RPM	Precio
Avenger ATC	AVS125	3HP	24,000	\$4,295.00
Colombo	RC73	3HP	40,000	\$8,280.00
Keling	KL-2200ATC	3HP	30,000	\$4,298.00

Elaboración propia, 2011.

Todas las opciones de husillos para el cambiador automático de herramienta son marcas de Estados Unidos de Norte América, las cuales tienen facilidades en transporte aéreo o marítimo de los componentes, debido a la cercanía de este país con Guatemala. Además, la importación de motores de pasos provienen también de este país, esto hace factible la consolidación de las importaciones de ambos productos en un solo pedido.

Referente a la potencia de todas las opciones: Ésta es la misma. Los Routers convencionales trabajan hasta 25,000 RPM, por lo que, esta velocidad es suficiente para un corte adecuado. Debido a que todas las opciones tienen la misma potencia y cumplen con una velocidad (RPM) adecuadas, la elección se hace en base al precio de venta, siendo las mejores opciones Avenger ATC y Keling. Para la elección final, se considera que los motores de pasos y sus controladores son marca Keling. Debido a que ya se trabaja con esta empresa, se facilitan los tramites de incluir un husillo con cambiador automático de herramienta. Debido a las limitaciones de la variable financiera de CNC Guatemala para el Router CNC, el cambiador automático de herramienta no se

incluye en la implementación del mismo, pero se toma en cuenta para un futuro, en caso que algún cliente de CNC Guatemala lo solicite.

La implementación del cambiador automático de herramienta, requiere programar el cambio automático en el programa Mach. Mach recibe en el código que interpreta la instrucción “#T M6”, en donde “#” es el número de herramienta a utilizar. La instrucción “M6” hace un llamado a una función, la cuál requiere de programarla para que realice la acción requerida. Mach incluye un editor de Visual Basic para programar funciones auxiliares, entre éstas, el cambio automático de herramienta.

A continuación se muestra en pseudocódigo, el programa a implementar en Visual Basic para que la instrucción “M6” realice un cambio de herramienta correcto.

- Mientras la herramienta no exista, preguntar de nuevo que herramienta se desea.
- Fin de Mientras.
- Si la herramienta actual es igual a la herramienta que se solicita, no realizar ninguna acción.
- Fin de Si.
- Sino, guardar la posición de X y Y actuales en variables “x”, “y”.
- Subir a la posición de Z a la altura de cambio de herramienta “ToolUp”.
- Mientras se mueve, esperar.
- Fin de Mientras
- Ir a la dirección X y Y de la herramienta actual.
- Mientras se mueve, esperar.
- Fin de Mientras
- Bajar a la posición de colocación de la herramienta “ToolDown”.
- Mientras se mueve, esperar.

- Fin de Mientras
- Desactivar la salida 1 "Output1".
- Esperar 1 segundo.
- Subir a la posición de Z a la altura de cambio de herramienta "ToolUp".
- Mientras se mueve, esperar.
- Fin de Mientras
- Ir a las posiciones X y Y de la herramienta nueva.
- Mientras se mueve, esperar.
- Fin de Mientras
- Bajar a la posición de colocación de la herramienta "ToolDown".
- Mientras se mueve, esperar.
- Fin de Mientras
- Activar la salida 1 "Output1".
- Esperar 1 segundo.
- Subir a la posición de Z a la altura de cambio de herramienta "ToolUp".
- Mientras se mueve, esperar.
- Fin de Mientras
- Ir a las posiciones X y Y iniciales "x" y "y".
- Fin de Sino

La salida "Output1" corresponde al sistema neumático que sostiene la herramienta. Así, mientras esta apagada esta salida, no se sostiene la herramienta, y cuando se activa, la herramienta que esta en el husillo se sostiene para utilizarse como herramienta de corte.

El programa se incluye en el Apéndice del presente trabajo, ya que se necesita conocimiento en el lenguaje Visual Basic para un entendimiento adecuado del programa.

K. Resultados generales

Los resultados generales muestran el buen funcionamiento de la máquina Router CNC. Se realizaron trabajos de prueba de tallado en el Router para apreciar el detalle que la máquina puede dejar, y el tiempo en que tarda la elaboración de estos. Se muestran tanto cortes sencillos para muebles en serie, como piezas detalladas para un trabajo artesanal.

Primero, se realizaron cortes sencillos con el fin de mostrar la rapidez de la máquina. La Figura 55 muestra una de las piezas que constan únicamente de un corte con una fresa de forma redondeada para el acabado interno y orilla, y una fresa cuadrada para el corte del exterior.

Figura 55. Pieza fabricada en el Router CNC.



Elaboración propia, 2011.

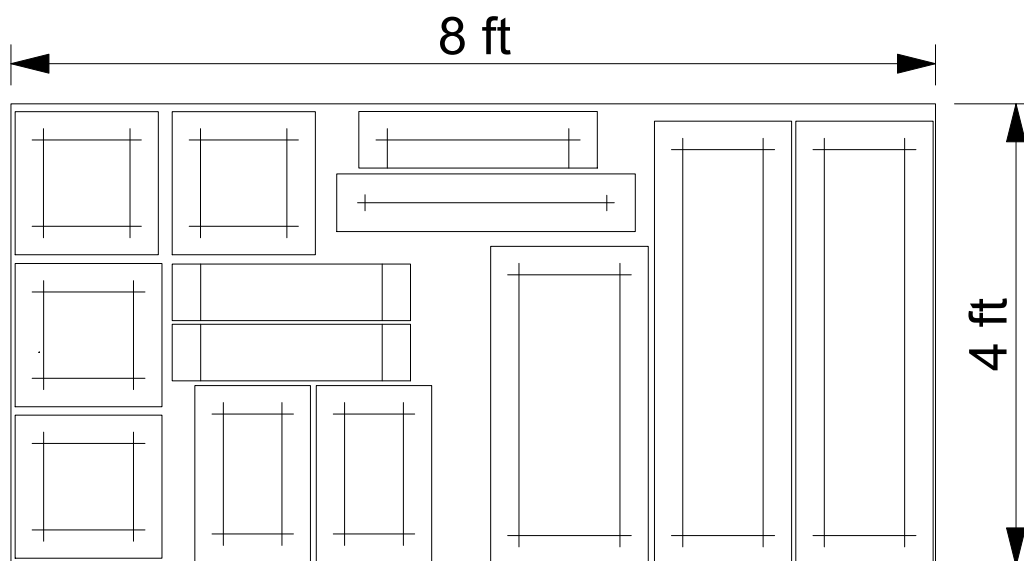
El promedio de tiempo para las diferentes piezas similares que se probaron es de tres minutos por pieza. El promedio puede dividirse de la siguiente forma:

- Un minuto para el corte interno y acabado en la orilla.
- Un minuto para el cambio de herramienta.
- Un minutos para el corte externo.

Para mostrar un ejemplo de la ventaja que provee este Router CNC, se consultó con una empresa que fabrica puertas de gabinetes con MDF, como distribuyen ellos las planchas de MDF para sus puertas.

En la Figura 56 se muestra la distribución que utiliza esta empresa para la fabricación de puertas en MDF.

Figura 56. Distribución de piezas en plancha de MDF.



Elaboración propia, 2011.

Según las pruebas realizadas, la máquina se tarda veinticuatro minutos en realizar todos los cortes de la plancha mostrada en la Figura 56, incluyendo ya el cambio manual de la herramienta de corte.

En la Tabla 16, se muestran las puertas elaboradas por el Router CNC en una jornada diaria de trabajo.

Tabla 16. Puertas en una jornada diaria.

Resultados por plancha	Resultados por puerta
24 min/plancha	1.84 min/puerta
2.5 planchas/hora	32.5 puertas/hora
20 planchas en 8 horas	260 puertas diarias

Elaboración propia, 2011.

La empresa consultada, realiza alrededor de doscientas puertas diarias, con seis personas trabajando continuamente en un total de cuatro máquinas especializadas.

El Router CNC logra aumentar la producción, con menos personal (únicamente se necesita un operario), y todo se realiza en la misma máquina. Estas ventajas competitivas proveen a las empresas de mayor crecimiento y desarrollo con la implementación de tecnología en sus procesos. La precisión del Router CNC se probó con modelos tridimensionales comprados en “Vector Art 3D”. En la Figura 57 se muestra el modelo comprado para tallar con la máquina.

Figura 57. Virgen de Guadalupe, modelo tridimensional.



Vector Art 3D, 2011.

Se selecciona el modelo de la Figura 57 debido al gran detalle que muestra. En la Figura 58 se muestra el modelo implementado ya por el Router CNC.

Figura 58. Virgen de Guadalupe en Caoba, fabricado en el Router CNC.



Elaboración propia, 2011.

En la Figura 58, se muestra también que la pieza tiene ya un acabado superficial que fue aplicado después de tallar la pieza en el Router CNC. La máquina tardó aproximadamente cuatro horas para la elaboración de la Virgen de Guadalupe.

Según la opinión de un tallador artesanal, éste calcula que el trabajo lo podría realizar en tres días, lo cual significa que el Router CNC, le proveería una producción seis veces más rápida que su trabajo manual en una jornada de ocho horas, y nueve veces más rápida, en una jornada de doce horas.

L. Comparación de precios en el mercado internacional

El precio de venta del sistema Router CNC de CNC Guatemala, sin accesorios (cambiador automático de herramienta, extractor de viruta y mesa al vacío) es de \$12,890.00. Este precio incluye lo siguiente:

- Costos de materiales y componentes.
- Costo de producción.
- Costo de mano de obra.
- Computadora y software.
- Costos de transporte.
- Costo de investigación y desarrollo de la máquina.
- Instalación de la máquina.
- Capacitación.
- Supervisión.

El costo de la mano de obra, se incluye debido a que en un futuro, para una producción en serie, se necesitará personal en diferentes áreas para cubrir la demanda de CNC Guatemala.

También se incluye el transporte, instalación y capacitación, ya que, CNC Guatemala provee estos servicios con la compra de cada máquina. Tanto la instalación como la capacitación y la garantía, se consideran como la ventaja comparativa de la empresa, debido a que es la única empresa en Guatemala que fabrica y vende Routerc CNC en plaza. Se hace evidente la necesidad de brindarle a los clientes de CNC Guatemala, todas las herramientas para que optimicen el uso de la máquina aunque no hayan tenido la oportunidad de tener conocimientos sobre equipos similares con anterioridad.

En la Tabla 17, se muestran precios de venta de sistemas Routers CNC similares al que ofrece CNC Guatemala.

Tabla 17. precios de Routers CNC en países fabricantes. En US\$. Dlr.

Empresa	Máquina	Precio	Observaciones
CNC Guatemala	CNC Ayin M2	12,890.00	Incluye instalación, capacitación y garantía.
Ez-router	Scorpion 4´x8´	15,700.00	Precio en USA.
K2cnc	KG-9850-Rack-n-Pinnion	13,864.00	Precio en USA.
Multicam (distribuye Tabla S.A.)	Multicam 3-103-R-PF	58,299.00	Precio en Guatemala, con instalación.
CNC-Step	HIGH-Z S-1400	10,370.00	Precio en Alemania, sin computadora, y es la mitad del tamaño de AYIN.
Jinan Dwin Technology Co.	DW1325	9,000.00	Precio en China.
Anhui Jiachen Digital Control Science & Technology Co.	Woodworking machine	\$9,600.00	Precio en China.

Según la Tabla 17, el precio de la máquina de CNC Guatemala esta por debajo de los precios de fábrica de sistemas similares en el comercio internacional, únicamente las empresas de China proveen precios más bajos. La adquisición de un sistema importado para cualquier cliente nacional, deberá tomar en cuenta el precio mostrado en la Tabla 17 por cada proveedor, más flete, seguro e impuestos, para obtener la estimación del precio puesto en plaza. Las estimaciones de los precios de los fabricantes de Alemania y China Continental muestran incrementos sustanciales cuando ya se han calculado los componentes descritos anteriormente.

Es importante resaltar que, CNC Guatemala es la única empresa de las mencionadas en la Tabla 17, que incluye capacitación, y la única junto con Multicam, que incluye la instalación, pero con un precio mucho más accesible al de esta empresa. Ésta es una fuerte ventaja debido a que en Guatemala no existe un conocimiento generalizado de sistemas CNC, debido a la falta de empresas que distribuyen estos equipos y la falta de personas capacitadas en esta área. Además, gracias al precio relativamente bajo que se maneja, se busca lograr introducir Routers CNC en las pequeñas y medianas empresas que transforman la madera, para que, con una mayor producción e implementación de tecnología, tengan un crecimiento y desarrollo acelerados.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones del diseño e implementación del Router CNC son las siguientes:

- Las dimensiones de la máquina diseñada se adecuan a las presentaciones comunes de materiales en el mercado, ya que la máquina puede trabajar directamente planchas de 4x8 pies.
- La elección de los materiales electos para el Router se limita a aquellos disponibles en proveedores locales, debido a que se necesita disponibilidad inmediata de los mismos.
- Los motores de pasos son adecuados para movilizar el Router en sus tres ejes, debido a que permiten el control de su posición con alta precisión y protocolos existentes.
- El extractor de viruta, la mesa al vacío y el cambiador automático de herramientas, son componentes que no son necesarios para el funcionamiento del Router CNC, pero proveen facilidades y ventajas a los operarios de la máquina.
- El Router CNC brinda una mayor producción en un menor tiempo tanto en trabajos de cortes sencillos como detallados.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones del diseño e implementación del Router CNC son las siguientes:

- Se recomienda utilizar seguridad en todos los procesos de la fabricación de la máquina, esto incluye utilizar: lentes, tapones de oídos, casco, careta para soldar y guantes, dependiendo de la labor que se realice.
- Se podría tener un acuerdo con proveedores locales, para tener un precio especial de los materiales por compras fijas determinadas mensualmente. Con esto se asegura que los proveedores no fallarán.
- Se pueden definir diferentes accesorios con diferentes especificaciones para darle un servicio especializado a cada cliente. Se podría en la mesa al vacío, por ejemplo, definir si se desea cubrir la mesa al vacío por completo, o parcialmente. Dependiendo de esto, se puede definir la potencia necesaria de la bomba de cada máquina.
- En la utilización de la mesa al vacío, se recomienda cubrir las áreas que no se utilizan para minimizar las fugas y tener más fuerza de succión.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ArtSoft. *Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration, version 3*. http://www.machsupport.com/docs/Mach3Mill_Install_Config.pdf
- Cypress Software Inc. *Mach Script Language Reference*. http://www.machsupport.com/docs/VBScript_Commands.pdf
- Keling Technology Inc. *KL-4030*. <http://www.kelinginc.net/KL-4030.pdf>
- Keling Technology Inc. *KL-8060*. <http://www.kelinginc.net/KL-8060.pdf>
- Keling Technology Inc. *KL23H286_20_8B*. <http://www.kelinginc.net-/KL23H286-20-8B.pdf>
- Keling Technology Inc. *KL34H280_45_4A*. http://www.kelinginc.net-/KL34H280_45_4A.pdf
- Melin Tools. *End Mills: Technical Information*. <http://www.endmill.com/>
- Rodas, Ogden. 1009. *El sector forestal de Guatemala, 2009*. Guatemala. Programa Forestal Nacional de Guatemala, INAB. 8 págs.
- Universidad Nacional de Colombia. *Propiedades mecánicas de los materiales*. <http://www.unalmed.edu.co/~cpgarcia/mecanicas.PDF>
- Zamora, René. 2010. *Diagnóstico y marco de referencia de estrategia foresto-industrial*. Guatemala. Programa Forestal Nacional de Guatemala. 115 págs.

VIII. APÉNDICE

A continuación, se muestra el código implementado para el cambiador automático de herramienta, hecho en el editor de Visual Basic que incluye el software Mach.

```
'Cambiador automático de herramienta.
Sub Main()
OldTool = GetOEMDRO (1200)
x = GetToolChangeStart( 0 )
y = GetToolChangeStart( 1 )
z = GetToolChangeStart( 2 )
a = GetToolChangeStart( 3 )
b = GetToolChangeStart( 4 )
c = GetToolChangeStart( 5 )
tool = GetSelectedTool()
NewTool = tool
'Tool Changer Macro (Bed Type)
MaxToolNum = 8 'Cantidad máxima de herramientas
ToolDown = -3.125 'Altura para soltar herramienta
ToolUp = 0.0 'Altura de movimiento de la maquina
If NewTool = OldTool Then
    Exit Sub
End If
While NewTool > MaxToolNum
NewTool = Question ("Enter New Tool Number up to " & MaxToolNum)
Wend
Code "G00 G53 Z" & ToolUp
While IsMoving()
Wend
Call MovePos(OldTool)
While IsMoving()
Wend
Code "G53 Z" & ToolDown
Code "G4 P.75"
While IsMoving()
Wend
ActivateSignal(Output1) 'Suelta la herramienta
Code "G4 P1.0" 'Espera
'SystemWaitFor (7)
Code "G53 Z" & ToolUp
```

```
Call MovePos(NewTool)
While IsMoving()
Wend
Code "G53 Z" & ToolDown
Code "G4 P.75"
While IsMoving()
Wend
DeActivateSignal(Output1) 'Agarra la herramienta
Code "G4 P1.0" 'Espera
While IsMoving()
Wend
Code "G53 Z" & ToolUp
Call SetUserDRO (1200,NewTool)
SetCurrentTool( NewTool )
Code "G00 X" & x & " Y" & y 'Regresa al lugar de origen
End Sub
Sub MovePos(ByVal ToolNumber As Integer)
Select Case ToolNumber
    Case Is = 1
        Xpos = 12.00
        YPos = 2.00
    Case Is = 2
        Xpos = 14.00
        YPos = 2.00
    Case Is = 3
        Xpos = 16.00
        YPos = 2.00
    Case Is = 4
        Xpos = 18.00
        YPos = 2.00
    Case Is = 5
        Xpos = 12.00
        YPos = 4.00
    Case Is = 6
        Xpos = 14.00
        YPos = 4.00
    Case Is = 7
        Xpos = 16.00
        YPos = 4.00
End Select
Code "G53 X" & XPos & " Y" & YPos
End Sub
Main.
```

IX. GLOSARIO

ACM: (Aluminum Composite Material), Es un material compuesto con aluminio, utilizado para fachadas y sistemas arquitectónicos por su buena apariencia visual y alta resistencia a la intemperie, (p. 57).

Automático: Que sucede de manera necesaria e inmediata a ciertos condicionantes, (p. 3, 4, 7, 58-60, 60, 66, 69, 72).

CNC: (Control numérico por computadora), Es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volante o palancas, (p. 1-4, 6-9, 17, 26, 32, 39, 50-52, 54, 59, 60, 62-70).

Cold Roll: (Rolado en frío), Técnica de fabricación de tubos, perfiles y otros materiales metálicos, en donde se obliga al material a pasar por rodos que lo deforman y le brindan diferentes propiedades al material, (p. 15).

Cremallera: Pieza dentada que describe un movimiento rectilíneo en uno u otro sentido según la rotación del piñón, (p. 27, 29, 31).

Duraluminio: Forja de aluminio, cobre, magnesio y silicio. Pertenece a la familia de las aleaciones aluminio-cobre (1998). Presenta una elevada resistencia mecánica a temperatura ambiente, sin embargo, su resistencia a la corrosión, soldabilidad y aptitud para el anodizado son bajas. Se emplean en la industria aeronáutica y de automoción, (p. 15, 16, 35).

Eje: (De rotación y de función), Es una línea recta con respecto a la cual una figura geométrica puede rotar. También se utiliza para los ejes de una función: el

eje X horizontal, el eje Y vertical y el eje Z como posible tercer eje para gráficas en 3 dimensiones, (p. 5, 6, 10, 12, 13, 18-20, 26-36, 41-48, 53, 55, 70).

Fresadora: Máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa, (p. 6, 39).

Hembra: (Perfil), Perfil estructural rectangular de diferentes alturas y grosores, normalmente de pequeñas dimensiones (menor a una pulgada de altura y media pulgada de grosor), (p. 27, 29, 31, 35).

Husillo: (En el entorno práctico de la industria), Conjunto de sujetador de herramientas, eje de rotación y motor en una máquina CNC, (p. 59, 61).

Inercia: En física, es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de movimiento, mientras no se aplique sobre ellos alguna fuerza, (p. 42).

Machuelear: Acción de utilizar un machuelo para crear roscas en agujeros, (p. 32).

MDF: (Medium density fibreboard), Es un aglomerado con fibras de madera, aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media, (p. 29, 55, 63).

Mecatrónica: Sinergia que une la ingeniería mecánica, electrónica, de control e informática; para diseñar y desarrollar productos que involucren sistemas de control para el diseño de productos o procesos inteligentes, (p. 2).

Microstep: Subdivisión del desplazamiento angular de un motor de pasos, gracias a la regulación de la corriente que ingresa a cada bobina, (p. 43, 44, 46).

Módulo elástico: Es un tipo de constante elástica que relaciona una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación, (p. 5, 14, 15, 16).

Motores de pasos: Dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control, (p. 41, 59).

Piñón: Rueda dentada normalmente con forma cilíndrica que describe un movimiento de rotación alrededor de su eje, (p. 29, 32).

Pórtico: Espacio conformado por galería de columnas adosadas a una estructura, (p. 9).

Rectificar: Corregir la deformación o desviación de una pieza metálica, (p. 27, 29, 30-32, 35, 40).

Router: (Anglicismo), Es una herramienta de carpintería usada para desbastar, cortar o ahuecar un área del frente de una pieza de madera, (p. 1-10, 17, 19, 20, 26, 32, 35-37, 51, 52, 54-59, 62-70).

Tallar: Dar forma o trabajar un material, (64, 65).

Torque: Magnitud que indica la fuerza de cuerpos en rotación, (p. 42-45, 47).

Travesaño: Pieza que atraviesa de una parte a otra, (p. 6, 26, 27, 29, 30).

Viruta: Es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído mediante un cepillo u otras herramientas, (p. 3, 4, 7, 29, 40, 57, 58, 66, 69).