



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO  
EN INGENIERÍA**

**DISEÑO MECÁNICO DE LA  
ESTRUCTURA PARA UN ROUTER  
CNC**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

PRESENTA:

**ING. HUGO ANDRÉS MORALES RÍOS**

TUTOR:

**DR. ARMANDO ROJAS MORIN**

2012





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR. ARTURO BARBA PINGARRON  
Secretario: DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA  
Vocal: DR. ARMANDO ROJAS MORIN  
1<sup>er</sup>. Suplente: DR. RICARDO GANEM CORVERA  
2<sup>do</sup>. Suplente: DR. FÉLIX SÁNCHEZ DE JESÚS

Lugar donde se realizó la tesis:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE  
INGENIERÍA, MÉXICO D.F.

**TUTOR DE TESIS:**

ARMANDO ROJAS MORIN

---

**FIRMA**

## DEDICATORIAS

A Dios

Gracias por dejarme terminar este proyecto, siempre guiándome por el camino correcto y ayudándome a cumplir este y otros muchos objetivos en la vida.

A mi madre:

Guadalupe

Por estar siempre que la necesito, es la persona que me ayuda a salir adelante día a día con sus ánimos y sus bendiciones, gracias por todo lo que me has dado y me sigues dando, te quiero mucho Mamá Lupita.

A mi hermana:

Blanca

Porque siempre me has ayudado en mis proyectos y me has enseñado a nunca bajar los brazos y seguir adelante, porque si Dios quiere, todo se puede realizar en esta vida, te quiero mucho Tela.

A mis hermanos:

Rita, Carlos, Carmen y Arizbe

Que al igual que mis padres y Blanca, me han apoyado en muchas decisiones importantes, también me han aconsejado de la manera correcta y siempre ha sido, es y seguirá siendo muy grato confiar en ustedes y tener una muy buena relación, los quiero mucho hermanos.

A Maribel:

Por tu gran amor y paciencia en todas mis actividades a lo largo de todo este tiempo, es muy bueno saber que estas allí y que nos apoyamos en nuestros proyectos de vida, te amo Mary.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor:

Dr. Armando Rojas Morin.

Por su apoyo, consejos, enseñanzas y sobre todo por la confianza que siempre me ha brindado. Por ayudarme a la obtención del grado de Maestro Ingeniero, muchas gracias.

A mi Comité Tutorial:

Dr. Arturo Barba Pingarron,

Dr. Adrián Espinosa Bautista,

Dr. Armando Rojas Morin,

Dr. Ricardo Ganem Corvera,

Dr. Félix Sánchez de Jesús.

Por su apoyo, ayuda y tiempo para poder llegar a cumplir este objetivo en mi vida.

Al Director de la Facultad de Ingeniería:

Mtro. José Gonzalo Guerrero Zepeda

Al Coordinador del Posgrado en Ingeniería:

Dr. Luis A. Alvarez-Icaza L.

Al presidente del campo de conocimiento de Ingeniería Mecánica:

Dr. Francisco Javier Solorio Ordaz

Gracias por el arduo trabajo y el esfuerzo que realizan día a día para hacer de la Facultad de Ingeniería una institución de calidad, que es algo que me hace sentir orgulloso al ser parte de ella.

A mis profesores:

Dr. Armando Rojas Morin,

Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich,

Dr. Vicente Borja Ramírez,

Dr. Adrián Espinosa Bautista,

Dr. Arturo Barba Pingarron,

Dr. Alvaro Ayala Ruíz,

Dr. Fernando Velázquez Villegas.

Por su enseñanza a lo largo de todo este tiempo, por compartir su conocimiento y ayudar en la formación de Maestros Ingenieros, gracias a todos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Por el apoyo económico el cual contribuyó en gran parte a la realización de mis estudios de maestría.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM

Por permitirme obtener el grado de Ingeniero Mecánico y ahora como Maestro Ingeniero, porque es un orgullo haberme formado profesionalmente en esta gran institución educativa llamada UNAM y particularmente en ti FI.

A mis amigos:

Porque todo este tiempo de conocerlos me he encontrado con un grupo de personas que coincidimos en diversos objetivos, que cada uno de nosotros se encuentra realizando diferentes proyectos en su vida pero eso no implica que la buena amistad que tenemos se termine, si no más bien que perdure para toda la vida. Muchas gracias colegas Ingenieros Mecánicos, Industriales y Petroleros.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS.....	IX
NOMENCLATURA.....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1 LA MANUFACTURA .....	1
1.2 LAS MÁQUINAS, LAS HERRAMIENTAS Y LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTA .....	3
1.3 PROCESOS DE MANUFACTURA .....	5
1.4 PROCESOS DE MAQUINADO.....	6
1.4.1 Torneado.....	7
1.4.2 Taladrado.....	8

1.4.3 Brochado .....	9
1.4.4 Fresado .....	10
1.4.4.1 Fresado periférico .....	11
1.4.4.2 Fresado de careado o refrentado .....	12
1.4.4.3 Fresado frontal .....	13
1.4.4.4 Otros tipos de fresado .....	13
1.4.4.5 Otras capacidades del proceso de fresado .....	14
1.4.4.6 Tipos de fresadoras .....	16
1.5 ROUTER MANUAL .....	17
1.6 ROUTER CNC .....	20
1.7 OBJETIVOS .....	24
<b>2. METODOLOGÍA DE DISEÑO .....</b>	<b>25</b>
2.1 PLANEACIÓN .....	27
2.1.1 Identificación de oportunidades .....	27
2.1.2 Las prioridades del proyecto .....	28
2.1.3 Planeación del anteproyecto .....	28
2.1.4 Identificación de las necesidades .....	29
2.1.5 Especificaciones del producto .....	31
2.1.5.1 Lista de métricas .....	31
2.1.5.2 Información de productos en el mercado; Benchmarking .....	33
2.1.5.3 Selección de valores objetivo ideales y marginalmente aceptables .....	34
2.2 DESARROLLO Y GENERACIÓN DE CONCEPTO .....	35
2.2.1 Sistema de sujeción para herramientas .....	35
2.2.2 Sistema de deslizamiento .....	36
2.2.3 Sistema de sujeción de materia prima .....	37

2.2.4 Sistema de movimiento en los tres ejes coordenados .....	38
2.3 DISEÑO A NIVEL SISTEMA, EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA .....	39
2.3.1 Tabla de combinación de conceptos.....	39
2.4 SELECCIÓN DE CONCEPTO Y DISEÑO A DETALLE.....	41
2.4.1 Filtrado de conceptos .....	41
2.4.2 Evaluación de conceptos .....	43
2.5 PRUEBAS Y REFINAMIENTO.....	45
<b>3. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y PARÁMETROS DE CORTE.....</b>	<b>47</b>
3.1 TIPOS DE ROUTER .....	48
3.2 HERRAMIENTAS DE CORTE.....	50
3.3 PARÁMETROS DE CORTE .....	52
3.3.1 Planteamiento del Problema.....	52
3.3.2 Obtención de la Fuerza de Corte .....	53
<b>4. DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>56</b>
4.1 SISTEMA DE SUJECCIÓN PARA MATERIALES, MESA DE MAQUINADO.....	57
4.2 SISTEMA DE DESLIZAMIENTO Y SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LINEAL .....	58
4.2.1 Sistema de movimiento en dirección “Y” .....	59
4.2.2 Sistema de movimiento en dirección “X” .....	62
4.2.3 Sistema de movimiento en dirección “Z” .....	64
4.3 SISTEMA DE SUJECCIÓN DE LA MÁQUINA DE CORTE.....	66
4.4 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA .....	67
<b>5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS SOBRE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES .....</b>	<b>69</b>
5.1 JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS .....	70
5.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS (FEA).....	71

5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS.....	73
5.3.1 Materiales utilizados .....	73
5.3.2 Posicionamiento y uniones de los componentes de la estructura.....	76
5.3.3 Mallado de las estructuras .....	79
5.3.4 Cargas y condiciones de frontera .....	82
<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
6.1 RESULTADOS DE LAS FUERZAS DE CORTE .....	85
6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS .....	90
6.2.1 Resultados del <i>Prototipo Previo</i> .....	92
6.2.2 Resultados del <i>Prototipo Final</i> .....	96
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
7.1 CONCLUSIONES DE LOS CÁLCULOS PARA LA FUERZA DE CORTE .....	100
7.2 CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS .....	102
7.3 RECOMENDACIONES.....	103
<b>APÉNDICE A .....</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>114</b>

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Evolución de una navaja suiza. ....	2
Figura 1.2. (a) Modelo de un motor de combustión interna; (b) Ejemplos de herramientas de corte para el proceso de fresado; (c) Fresadora Bridgeport.....	4
Figura 1.3. Torno convencional PINACHO SP/200. ....	8
Figura 1.4. (a) Taladro de banco marca Winwork. (b) Taladro de columna marca Ayerbe. (c) Taladro radial marca FAMA.....	9
Figura 1.5. (a) Engranés manufacturados mediante el proceso de brochado y sus respectivas brochas. (b) Procesos de brochado de engranes. ....	10
Figura 1.6. Características del fresado tangencial o periférico y del fresado frontal. ....	11
Figura 1.7. (a) Máquina fresadora de tipo bancada. (b) Máquina fresadora de cabezal giratorio. (c) Centro de maquinado CNC. ....	17
Figura 1.8. Primer router fabricado por la compañía estadounidense <i>Kelly Co.</i> ....	18

Figura 1.9. (a) Router <i>Craftsman</i> modelo 02768; (b) Router <i>Porter Cable</i> modelo 7518; (c) Router <i>Makita</i> modelo 3606. ....	19
Figura 1.10. Herramientas de corte para madera con diferentes tipos y diámetros de zanco. ....	20
Figura 1.11. (a) Mesa para router marca <i>Craftsman</i> ; (b) Mesa para router marca <i>Clarke</i> modelo <i>CRT1</i> . ....	21
Figura 1.12. Router CNC de la empresa mexicana <i>PRECIX</i> modelo <i>PCX-BT</i> . ....	23
Figura 2.1. Proceso de diseño genérico para la obtención de un producto. ....	26
Figura 2.2. Modelos de rodamientos lineales. (a) Rodamientos lineales de bolas y guías deslizables. (b) Rodamientos de transmisión lineal. (c) Rodamiento de bolas tipo husillo. 37	37
Figura 2.3. Rodamientos de bolas y rodillos de tipo husillo. ....	39
Figura 3.1. Diferentes tipos de routers manuales. ....	49
Figura 3.2. Diversos tipos de herramientas de corte para fresado. ....	50
Figura 3.3. Características geométricas de herramientas de corte para fresado. ....	51
Figura 4.1. (a) Perfil utilizado para la estructura de la mesa, (b) pieza angular de ensamble entre la mesa y las patas. ....	57
Figura 4.2. Mesa de sujeción de materiales y soporte principal. ....	58
Figura 4.3. (a) Rodamientos de transmisión lineal. (b) Rodamientos lineales de bolas con perfiles deslizables. ....	59
Figura 4.4. Tornillo lineal de bolas y su tornillo sinfín serie V1, NSK. ....	61

Figura 4.5. Ensamble del sistema de movimiento en el eje “Y”.....	61
Figura 4.6. Posicionamiento de los rodamientos de deslizamiento, los ejes guía y la guía deslizable. ....	63
Figura 4.7. Ensamble del sistema de movimiento en “X”. ....	64
Figura 4.8. Rodamientos lineales y ensamble de las placas de aluminio de 10 [mm] y 8 [mm] de espesor. ....	66
Figura 4.9. Ensamble del router al sistema de movimiento en dirección “Z”. ....	67
Figura 4.10. Imagen frontal de la Estructura para un Router CNC.....	68
Figura 4.11. Imagen trasera de la Estructura para un Router CNC.....	68
Figura 5.1. Posición del carro en dirección “Y” donde ocurre el esfuerzo estático máximo. ....	77
Figura 5.2. Posición del sistema de movimiento en dirección “X” donde se presenta el esfuerzo estático máximo. La flecha de color blanco muestra la posición del centro de masa del sistema de movimiento en dirección “Z”.....	77
Figura 5.3. Posición del sistema de movimiento en dirección “Z” donde se presenta el esfuerzo estático máximo. La flecha en color rosa representa el centro de masa del sistema. ....	78
Figura 5.4. Mallado del diseño del <i>Prototipo Previo</i> . ....	81
Figura 5.5. Mallado del diseño del <i>Prototipo Final</i> . ....	81
Figura 5.6. Esfuerzos y condiciones de frontera aplicados a la estructura del <i>Prototipo Previo</i> . ....	83
Figura 5.7. Esfuerzos y condiciones de frontera aplicados a la estructura del <i>Prototipo Final</i> . ....	84

Figura 6.1. Incremento de la velocidad de corte del router manual para el aluminio. ....	87
Figura 6.2. Incremento de la velocidad de remoción de material.....	88
Figura 6.3. Incremento de la potencia que se necesita para maquinar aluminio. ....	88
Figura 6.4. Incremento de la fuerza de corte respecto a la profundidad de corte. ....	89
Figura 6.5. Desplazamientos en el diseño del <i>Prototipo Previo</i> . ....	94
Figura 6.6. Esfuerzos de Von Mises en el diseño del <i>Prototipo Previo</i> .....	95
Figura 6.7. Desplazamientos en el diseño del <i>Prototipo Final</i> . ....	98
Figura 6.8. Esfuerzos de Von Mises en el diseño del <i>Prototipo Final</i> .....	99

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Recomendaciones generales para el proceso de fresado. ....	15
Tabla 2.1. Declaración de la misión para el proyecto del Diseño de la Estructura para un Router CNC. ....	29
Tabla 2.2. Plantilla de declaraciones del cliente y necesidades interpretadas. ....	30
Tabla 2.3. Necesidades del cliente de la Estructura para un Router CNC (ER CNC). ....	32
Tabla 2.4. Plantilla de métricas con sus respectivas unidades. ....	32
Tabla 2.5. Benchmarking de routers CNC. ....	33
Tabla 2.6. Valores de métricas objetivo e ideales para el diseño de la ER CNC. ....	34
Tabla 2.7. Modelos y especificaciones de Routers Manuales. ....	36
Tabla 2.8. Tabla de combinación de conceptos para la función de movimiento lineal de la Estructura para un Router CNC. ....	40

Tabla 2.9. Tabla de de combinación de conceptos para la función de sujeción de materia prima y herramientas para corte. ....	40
Tabla 2.10. Matriz de selección de conceptos de la ER CNC. ....	42
Tabla 2.11. Escala de desempeño relativo para la matriz de evaluación de conceptos. ....	43
Tabla 2.12. Matriz de evaluación de conceptos de la ER CNC. ....	44
Tabla 3.1. Especificaciones de 4 routers de diferentes capacidades. ....	49
Tabla 3.2. Especificaciones de la herramienta de corte de la figura 3.3. ....	52
Tabla 3.3. Intervalo de requerimientos de energía o potencia unitaria en las operaciones de corte. ....	54
Tabla 5.1. Materiales que conforman las piezas de las estructuras a analizar. ....	75
Tabla 5.2. Propiedades de los materiales utilizados en el diseño de las Estructuras para un Router CNC. ....	75
Tabla 5.3. Características del mallado de la estructura del <i>Prototipo Previo</i> . ....	80
Tabla 5.4. Características del mallado de la estructura del <i>Prototipo Final</i> . ....	80
Tabla 5.5. Tipos de cargas y condiciones de frontera aplicadas a ambas estructuras en estudio. ....	83
Tabla 6.1. Características y parámetros de la herramienta <i>SANDVIK R216.33-12040-AC26U</i> . ....	86
Tabla 6.2. Parámetros de corte para maquinar aluminio 1100H14. ....	91

Tabla 6.3. Esfuerzos de fluencia del aluminio serie 1100-H14 y aluminio 6061-T6..... 92

# NOMENCLATURA

$F_C$	Fuerza de corte [ $N$ ]
$V_C$	Velocidad de avance $\left[\frac{m}{min}\right]$
$D$	Diámetro del cortador [ $m$ ]
$N$	Velocidad rotacional del cortador de fresado [ $RPM$ ]
$v$	Velocidad de avance $\left[\frac{m}{min}\right]$
$f$	Avance por diente $\left[\frac{mm}{diente}\right]$
$n$	Numero de dientes del cortador
$MRR$	Velocidad de remoción de material $\left[\frac{mm^3}{s}\right]$
$w$	Anchura de corte [ $mm$ ]
$d$	Profundidad de corte [ $mm$ ]
$P_{req}$	Potencia requerida para maquinar el material [ $W$ ]
$P_{uni}$	Potencia unitaria para operaciones de corte $\left[\frac{W \cdot s}{mm^3}\right]$
$T$	Torque requerido para maquinar [ $N - m$ ]

$t$	Tiempo de corte [ $min$ ]
$l$	Longitud de la pieza de trabajo [ $mm$ ]
$l_c$	Longitud del primer contacto del cortador con la pieza de trabajo [ $mm$ ]

## **RESUMEN**

El proyecto titulado “Diseño de un Router CNC” está realizado dentro del Centro de Ingeniería de Superficiales y Acabados (CENISA) en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con el propósito de la fabricación de máquinas-herramienta que ayuden a la construcción de diversas piezas para el desarrollo de la investigación en el aprovechamiento de la energía solar en proyectos de manufactura y acabados superficiales.

El objetivo primordial de este trabajo es diseñar una estructura para un Router CNC y proponer una solución que se adecue a las necesidades de los trabajos de investigación que se pretenden realizar en el Centro y así poder manufacturar diferentes tipos de piezas con geometrías precisas para la fabricación de sistemas de concentración de energía solar.

Aplicando una metodología de diseño se pretende establecer un orden de actividades y darle un buen seguimiento al proyecto, de tal forma que al generar el concepto solución este sea capaz de reproducirse y/o mejorarse en cualquier lugar.

Debido a los altos costos de venta de las máquinas Routers CNC comerciales, a los costos de producción de piezas por métodos de control numérico, como por ejemplo, corte con chorro de agua o maquinado por arranque de viruta, y otros diversos factores, este proyecto requiere diseñar una máquina de precisión para garantizar el ahorro en la producción de piezas particulares.

Esta tesis muestra el desarrollo empleado para el diseño de la estructura de la máquina-herramienta, tanto a un nivel conceptual así como a un sistema tridimensional, pasando por las etapas de desarrollo de los modelos propuestos, selección de materiales, análisis de esfuerzos de la propuesta de estructura mediante un análisis por elementos finitos y las propiedades de funcionamiento de la misma.

Como primer aspecto en este trabajo se muestra una descriptiva de las máquinas-herramienta así como su desarrollo a través de la historia, su funcionamiento y aplicaciones primordiales.

Al final del documento se presentan los resultados obtenidos de los objetivos propuestos, con estos resultados se determina si es viable o no la construcción del mismo.

## **ABSTRACT**

The project titled “Design of a CNC Router is performed in the Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA) in the Facultad de Ingeniería, UNAM, its propose is manufacturing machine tools which will help to produce different parts for development in the use of solar energy in manufacturing projects and surface finishes.

The primary objective of this work is to design a structure for a CNC Router which satisfies the needs of the research which will perform in the Center so we can manufacture different kinds of pieces which have precise geometry to make Concentrated Solar Power Systems.

Apply a design methodology aims to establish an order of activities and give a nice follow up the project, so that when we choose the solution concept is capable to reproduce and/or improved at any place.

Due to the high cost of selling CNC Routers commercial machines, the production cost of parts by numerical control, for example, water jet cutting or machining by chip removal, and various other factors, this project requires to design a precision machine which assures economical savings in the production of particular pieces.

This thesis shows the development used in the design of the machine tool structure, both at conceptual level and three-dimensional system, passing through the stage of development of the propose models, selection of materials, stress analysis of the proposed structure using a finite element analysis and operation properties thereof.

As a first point in this paper is a description of the machine tools and their development through history, its operations and its key applications.

At the end of the document presents results obtained of the propose objectives, with this results is determined if it is feasible or not its construction thereof.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo muestra el desarrollo de la Estructura para un Router CNC (ER CNC), su proceso de diseño y las pruebas que se desarrollaron para asegurar su óptimo funcionamiento, esto con el propósito de implementarla al desarrollo de piezas de precisión en proyectos de aprovechamiento de energía solar, entre otros.

Esta tesis está constituida por 7 capítulos los cuales se describen a continuación.

En el capítulo número uno se presenta una serie de antecedentes referentes a las máquinas-herramienta, su evolución y su importancia en el desarrollo tecnológico de la sociedad, así como también un estudio de los procesos de maquinado y sobre máquinas Routers CNC, para finalizar con los objetivos del proyecto.

En el segundo capítulo se muestra el trabajo realizado al aplicar la metodología de diseño, con la cual se definen las actividades realizadas para desarrollar un proyecto que cumpla con las expectativas de funcionamiento por parte del usuario, así como la obtención de características del diseño para evitar que el producto falle.

El tercer capítulo está enfocado a la investigación y obtención de los parámetros de corte, que son directamente aplicados a la herramienta de trabajo, con estos datos se puede realizar una correcta elección de un router manual, además estos datos son indispensables para al análisis de elementos finitos.

En el cuarto capítulo se muestra el diseño del prototipo final de la ER CNC, sus características y su modo de ensamble, detallando cada una de sus piezas y funcionamiento.

El quinto capítulo describe el proceso de la aplicación del análisis de elementos finitos a dos estructuras para routers CNC, esto con el fin de realizar un análisis funcional de cada una de ellas.

En el sexto capítulo se reportan los resultados obtenidos en el cálculo de las fuerzas de corte y la aplicación del análisis de elementos finitos entre otros.

Al final de esta Tesis se dan a conocer las conclusiones en torno al funcionamiento de la Estructura para un Router CNC en su análisis estructural, además se presenta una serie de recomendaciones finales para un trabajo a futuro.

# **CAPITULO 1**

## **ANTECEDENTES**

En la vida cotidiana los seres humanos interactuamos con diversos objetos que son indispensables para realizar diferentes tareas, ya sea en nuestra casa o en el trabajo. Estos objetos pueden llegar a ser fabricados en una sola pieza o como un conjunto de varias, siendo ensambladas para generar un producto.

La fabricación de los productos depende de la capacidad de transformar la materia prima en las piezas necesarias para conformar un producto y obtener así a un mueble, una máquina, un electrodoméstico etc. Es por eso que la manufactura es un aspecto importante en el desarrollo de la tecnología en la vida cotidiana.

Muchas de estas piezas de diversos productos tienen que ser muy precisas en su manufactura para que tengan una forma o una característica específica adecuada y así el producto al que pertenecen pueda desarrollar su función de una manera óptima.

### **1.1 LA MANUFACTURA**

La manufactura tiene su origen entre los 5000 y los 4000 a.C. en donde el ser humano primitivo manejaba materiales para cazar, para cortar sus vestimentas o para hacer dibujos

en cavernas, utilizando materiales como la madera, la piedra y los cerámicos. Estas actividades fueron mejorando con el paso de los años e incrementando su funcionalidad con el uso del martillo y la fundición.

Para los años 600 y 800 d.C. con la producción del acero, la manufactura comenzó a tomar nuevos horizontes, desarrollando nuevos productos con la extracción de nuevos materiales como los metales no ferrosos. En la *Primera Revolución Industrial (1750)* la producción se hacía de forma continua, con el uso de nuevas herramientas de maquinado como el torno, la fresadora y el cepillo de mesa, además de los métodos de moldeado y formado.

La *Segunda Revolución Industrial* llegó a Europa con el desarrollo de los dispositivos electrónicos y las computadoras a mediados del siglo XX, después llegó a los Estados Unidos donde se desarrolló a profundidad el avance del diseño y la fabricación de piezas intercambiables, es decir, antes de esta época no se podían manufacturar elementos con formas exactamente iguales, por ejemplo los son tornillo.

En las últimas décadas, con el arribo de tecnologías computacionales, con mayor accesibilidad para todo ser humano, los sistemas de diseño y manufactura han avanzado de forma considerable, tanto que ahora se pueden realizar Diseño Asistido por Computadora (CAD), maquinar de forma automática con la Manufactura Asistida por Computadora (CAM) o realizar análisis estructurales con la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) [1.1].



**Figura 1.1. Evolución de una navaja suiza. Imagen de *Victorynox PhotoPress*, tomada del sitio: <http://www.e-webtechnologies.com/sak/html/history.html>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

## **1.2 LAS MÁQUINAS, LAS HERRAMIENTAS Y LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTA**

En la actualidad existe una cantidad enorme de máquinas y de herramientas que facilitan la vida a los seres humanos, trasladarse de un lado a otro, realizar un trabajo demasiado pesado, entre muchas otras actividades son las funciones que estas desarrollan. Antes de que llegaran las maquinas a la vida del hombre, se tenían que realizar actividades aplicando grandes cantidades de fuerza humana, un ejemplo de ello son las grandes edificaciones antiguas, que tardaban generaciones en ser terminadas, sin en cambio hoy en día, una obra de esa magnitud puede ser terminada en un periodo muy corto de tiempo a comparación.

Una máquina se puede definir como un conjunto de piezas unidas que tienen la capacidad de aprovechar, dirigir o convertir la energía, o realizar un trabajo con el fin de facilitar una actividad.

Las herramientas son otro factor importante en el desarrollo de la humanidad, ya que antes de la existencia de las herramientas, los seres humanos realizaban todas las actividades con artefactos improvisados para satisfacer las necesidades de alimentación, vestido e incluso para hacer nuevas herramientas. Con el tiempo las herramientas han ido evolucionando de la mano de la humanidad, de tal forma que las actividades que realizábamos con herramientas manuales, hoy se pueden hacer con herramientas eléctricas o inclusive trabajos que no se pueden realizar con las manos, un ejemplo de esto son las sierras eléctricas, los desatornilladores eléctricos, los roto martillos, los routers o rebajadoras, etc.

Se puede definir a una herramienta como un instrumento u objeto que tiene como función facilitar el trabajo mecánico de alguna actividad realizada por una persona. Existen herramientas sencillas y herramientas compuestas que utilizan ciertos principios mecánicos para su funcionamiento.

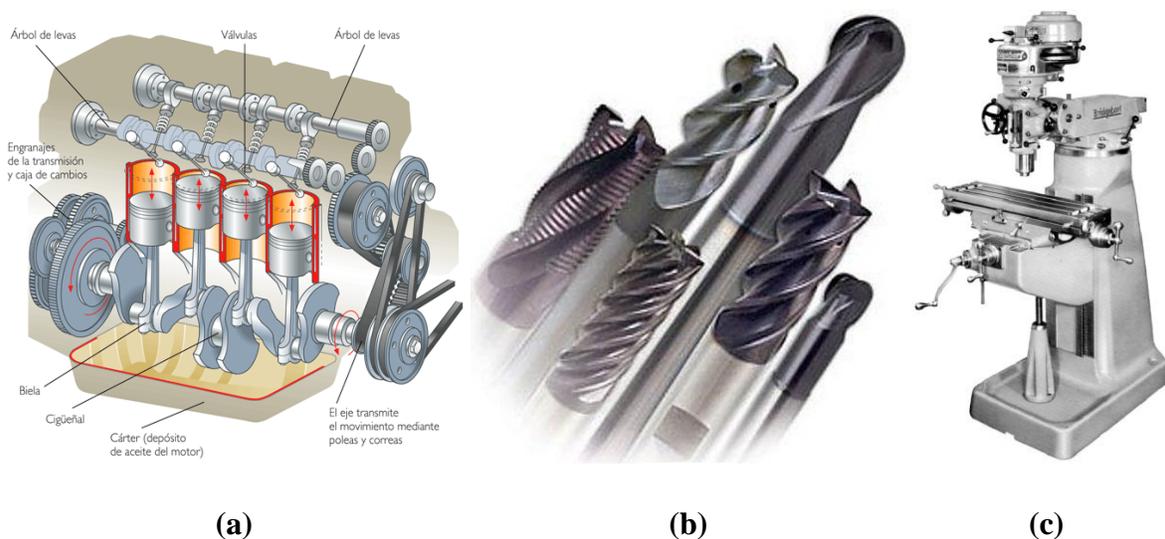
Las máquinas- herramienta son aquellos instrumentos que ayudan a realizar operaciones de remoción de materiales, tienen la característica de producir piezas con un excelente acabado superficial y precisión dimensional. A la operación de remoción de material también se le da el nombre de maquinado y consiste básicamente en modificar la superficie

de un material a través de cortes, ya sea longitudinales o circulares con métodos y procesos característicos de cada máquina-herramienta.

Las máquinas-herramienta están constituidas como un sistema que consta de 4 componentes:

- ✓ Pieza de trabajo
- ✓ Herramienta de corte
- ✓ Máquina-herramienta
- ✓ Personal de producción

En la figura 1.2 se muestran ejemplos de una máquina (a), una herramienta (b) y una máquina-herramienta (c).



**Figura 1.2. (a) Modelo de un motor de combustión interna. Imagen de *Evolución de los motores*, tomada del sitio: <http://evodelosmotores.webnode.es/>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012); (b) Ejemplos de herramientas de corte para el proceso de fresado. Imagen tomada del sitio: <http://www.multipino.es/offer401493.html>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012); (c) Fresadora Bridgeport. Imagen de *Bridgeport (Machine Tool Brand)*, tomada del sitio: <http://www.bpt.com/index.asp?pageID=63&prodID=56>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

### **1.3 PROCESOS DE MANUFACTURA**

Existe una gran variedad de procesos de manufactura, los cuales sirven para generar piezas particulares con cada uno de ellos. La selección apropiada de un proceso de manufactura depende en gran parte del material, es decir, no todos los materiales cuentan con las características apropiadas para ser transformados con cualquier proceso de manufactura.

Los procesos de manufactura pueden ser clasificados en 6 categorías:

- ✓ Procesos de Fundición
- ✓ Procesos de Formado y Modelado
- ✓ Procesos de Unión
- ✓ Procesos de Acabado
- ✓ Procesos de Maquinado
- ✓ Procesos de Nanofabricación

Los procesos de fundición consisten en vaciar metal fundido en la cavidad de un molde en donde al solidificarse adquiere la forma de la cavidad. Gracias a la fundición se pueden realizar piezas de forma compleja y de gran volumen, también se pueden utilizar materiales que por otro medio es difícil o costoso darles forma.

En el proceso de formado y moldeado el material puede tener la forma de una placa, barra o varilla y puede cambiar su estado inicial aplicándole una fuerza, ya sea con una prensa, una laminadora o una extrusora. Los procesos de formado y modelado son: laminado, forjado, extruido, estirado, metalurgia de polvos, procesamiento de plásticos y formado y modelado de cerámicos.

Ya que no todos los objetos que nos rodean pueden estar fabricados de una sola pieza, como las computadoras o los automóviles, existen medios de unión entre cada una de los componentes que los constituyen, además, en muchos productos no es económico ni mucho menos viable elaborarlos de esta forma. Algunos procesos de unión son: la soldadura, unión con adhesivos, sujeción mecánica, entre otros.

El acabado es una parte fundamental en elementos de precisión o inclusive en artículos donde la estética es muy importante. Existen varios procesos para dar acabado a los materiales, uno de ellos es el uso de abrasivos, que son pequeñas partículas afiladas que tienen la capacidad de remover pequeñas cantidades de material mediante un determinado proceso de corte. Con los métodos abrasivos se pueden obtener tolerancias menores a 1  $[\mu\text{m}]$  y rugosidades tan finas como 0.025  $[\mu\text{m}]$ . También, los abrasivos se pueden utilizar para lapear, abrillantar y pulir diferentes tipos de piezas [1.2].

En los últimos años los procesos de nanofabricación permiten fabricar piezas a nivel nano (una milmillonésima). Estos procesos de fabricación tienen que ver con técnicas de ataque, haces de electrones y el uso de rayos láser.

#### **1.4 PROCESOS DE MAQUINADO**

Existe una gran cantidad de procesos de maquinado, los cuales se pueden clasificar en dos grupos: maquinado convencional y maquinado avanzado. Dentro del maquinado convencional se encuentran los procesos de desprendimiento de viruta, mientras que los procesos de maquinado avanzado involucran métodos de corte con procesos químicos o utilizando rayos láser.

Algunos ejemplos de procesos de maquinado convencional son: el torneado, mandrinado, taladrado, fresado, cepillado, escariado, rectificado. Los procesos de maquinado avanzado son: maquinado químico, maquinado eléctrico, maquinado electroquímico, maquinado por rayo de alta energía, maquinado por chorro de agua.

Dentro del maquinado convencional existen diversos factores que influyen la operación, estos factores involucran tanto a la herramienta de corte como a la máquina. La velocidad de corte, la profundidad de corte, el avance y el fluido de corte afectan directamente a la herramienta con la que se está trabajando, ya que de estas características depende la vida útil de la misma. El ángulo de corte de la herramienta, las características de la viruta y la temperatura, además de influir en las propiedades de la herramienta también actúan sobre el corte y el acabado de la pieza [1.3].

A continuación se describen los procesos de manufactura por arranque de viruta más comunes.

#### **1.4.1 Torneado**

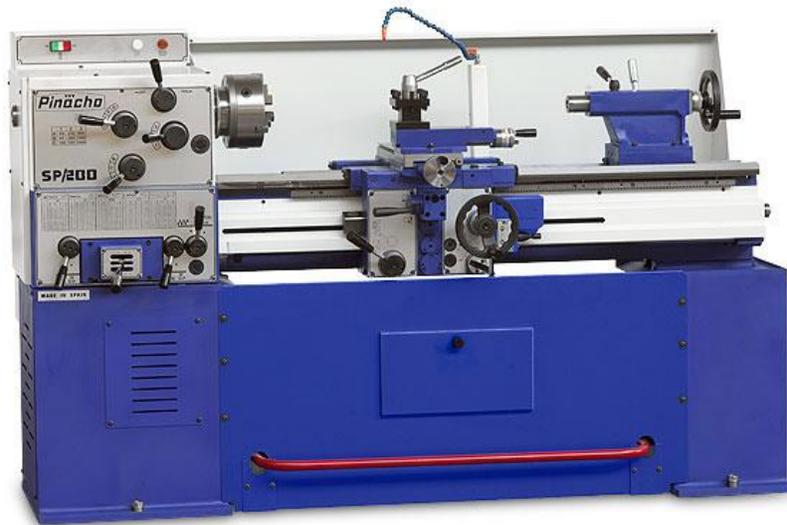
El proceso de torneado tiene la capacidad de producir piezas de geometrías circulares, es uno de los procesos más básicos de maquinado ya que comprende el uso de herramientas de corte de un solo punto, es decir, la herramienta solo utiliza un filo para realizar el corte de material.

Con un torno, se puede realizar diferentes tipos de corte como lo son: torneado, careado o refrentado, perforado, taladrado, tronzado, roscado y moleteado. Cada uno de estos procesos requiere diferentes tipos de herramientas, diferentes velocidades de avance y producen diferentes fuerzas de corte.

Para llevar a cabo un proceso de torneado es necesario iniciar con un desbaste en la superficie de la pieza de trabajo aplicando altas velocidades y grandes profundidades de corte pero con poca consideración en las tolerancias, después le procede una operación de acabado, en donde el avance y la profundidad de corte son más bajos pero las tolerancias dimensionales son muy altas.

El fluido de corte es un aspecto importante en cualquier operación de maquinado, ya que este tiene la función de disminuir temperatura entre la pieza y la herramienta, es decir, funcionar como refrigerante y además tiene la tarea de lubricar el proceso de desprendimiento de viruta.

En el mercado existen diversos tipos de tornos, tornos de banco, tornos copiadores, tornos automáticos, tornos de torreta, entre otros, sin embargo, todos tienen el mismo principio de funcionamiento. En la figura 1.3 se muestra un torno convencional modelo Pinacho SP/200 [1.4].



**Figura 1.3. Torno convencional PINACHO SP/200. Imagen de *Metosa-Pinacho, Matalurgica Torrent, S. A.*, tomada del sitio: [http://www.metosa-pinacho.com/es/productos/tornos\\_convencionales/sp\\_200.html](http://www.metosa-pinacho.com/es/productos/tornos_convencionales/sp_200.html), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

#### **1.4.2 Taladrado**

El producir un orificio en un material parece ser un tarea muy común hoy en día, sin embargo, es una de las operaciones más importantes en la industria de la manufactura, ya que todo material ensamblado tiene por lo menos una cavidad donde puede entrar un tornillo, un perno o un remache.

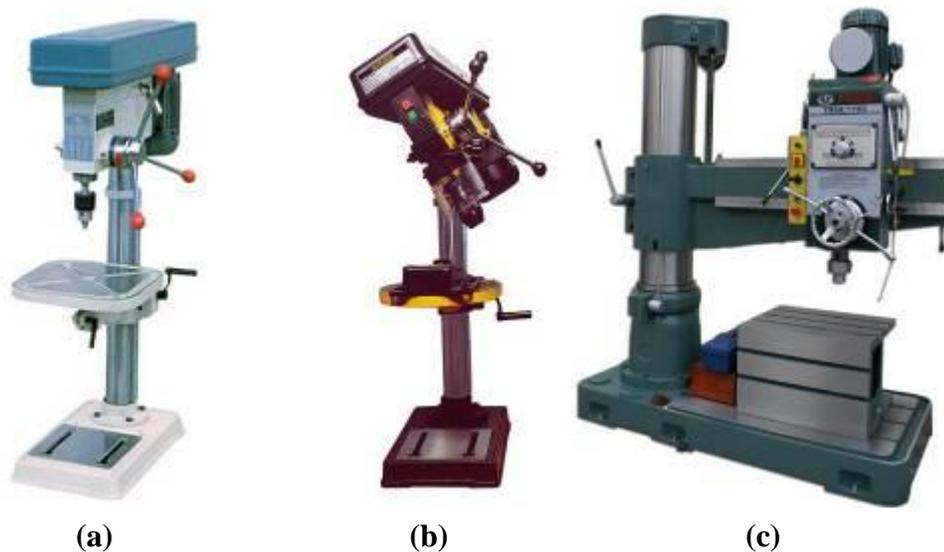
El proceso de taladrado se lleva a cabo con una herramienta conocida como broca, la cual gira a altas revoluciones penetrando el material por medio de sus filos. Una broca tiene una relación de longitud diámetro muy alta, es por eso que se pueden realizar perforaciones profundas.

Las brocas más comunes, son aquellas fabricadas con acero rápido y son conocidas como brocas helicoidales de punta estándar. Para hacer una selección apropiada de una broca, se tienen que considerar diferentes factores como el material a perforar, el ángulo de punta, el ángulo de alivio, el ángulo de filo y el ángulo de hélice.

Existen otros tipos de brocas para diferentes aplicaciones, algunas de ellas son: brocas escalonadas, que sirven para producir orificios de diferentes diámetros en una misma

pasada, brocas de núcleo para agrandar un orificio ya existente, brocas de abocardar que producen pequeños huecos para albergar cabezas de tornillos y las brocas tipo espada, las cuales producen orificios profundos y diámetros muy grandes.

Algunos ejemplos de máquinas para taladrar son: el taladro de columna o vertical, el taladro tipo banco, las taladradoras radiales y las taladradoras universales, las cuales tienen un cabezal móvil para el intercambio de herramientas. La figura 1.4 muestra 3 tipos de taladro y sus respectivas marcas [1.5].



**Figura 1.4. (a) Taladro de banco marca Winwork. (b) Taladro de columna marca Ayerbe. (c) Taladro radial marca FAMA. Imagen tomada de *Belltec, Heramientas y Equipos*, tomadas del sitio: [http://www.belltec.com.co/tienda\\_virtual/clientes/index.php](http://www.belltec.com.co/tienda_virtual/clientes/index.php), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

### 1.4.3 Brochado

El brochado es un proceso de manufactura en el cual por medio de un cortador largo de dientes múltiples es removido el material de una pieza aplicándole una fuerza en una sola dirección, este es muy parecido al proceso de cepillado. Con una brochadora se pueden maquinar superficies internas y externas, oficios circulares, rectangulares o irregulares donde las profundidades de corte son muy grandes en comparación con otras máquinas de corte de viruta, pero aún así no dejan de ser precisas dejando un muy buen acabado

superficial. Las brochadoras son máquinas-herramientas que debido a sus arranques de material los tiempos de corte son bajos, esto implica un elevado costo de la máquina.

Las brochas pueden generar diferentes tipos de geometría y acabados, las más comunes son las brochas planas para maquinarse superficies planas, pero también existen brochas de precisión como la brocha de ranuras, de contorno, de cola de milano o de anillo, mientras que las brochas para generar formas internas son las que generan orificios regulares o irregulares, otro tipo de brochas internas son las brochas de ranura de chaveta y de engrane interno y estriado, estas últimas se utilizan para manufacturar los cañones de las armas.

En la figura 1.5 se muestran diferentes piezas maquinadas con brochadoras así como la forma de realizar la operación de corte [1.6].



**Figura 1.5. (a) Engranés manufacturados mediante el proceso de brochado y sus respectivas brochas. (b) Procesos de brochado de engranes. Imágenes de *GUiMA Máquinas- Herramienta S. L.*, tomadas del sitio: [http://www.guima-mh.com/maqui\\_2/maqui\\_2.htm](http://www.guima-mh.com/maqui_2/maqui_2.htm), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

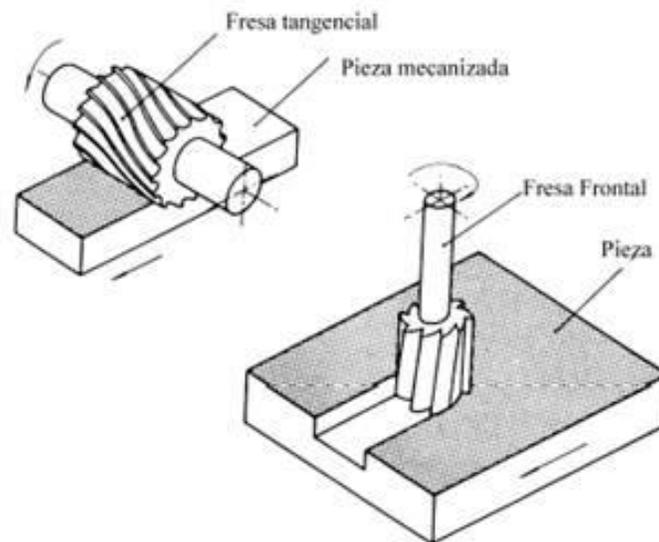
#### 1.4.4 Fresado

El proceso de fresado es aquel en el que una herramienta multifilo (cortador o fresa), mediante un movimiento rotatorio retira material mientras avanza a lo largo de diversos ejes respecto de la pieza de trabajo, todo esto incluyendo diversas operaciones de maquinado demasiado versátiles. El cortador o fresa puede contar con 2 o más filos o dientes, de forma helicoidal o recta, los cuales producen una acción ortogonal u oblicua

respectivamente, los cortadores helicoidales son utilizados con mayor frecuencia debido a que cada diente corta de forma parcial conforme va girando y avanzando. Dentro del proceso de fresado existen diferentes formas para realizar el corte de material, es por esto que dicho proceso se puede clasificar en tres tipos:

- ✓ Fresado periférico
- ✓ Fresado de careado y
- ✓ Fresado frontal

En la figura 1.6 se muestra la diferencia entre el fresado frontal y el fresado periférico o tangencial, el fresado de careado se realiza de forma similar al fresado frontal.



**Figura 1.6. Características del fresado tangencial o periférico y del fresado frontal.**

Imagen de *Hidalgo de Caviedes, 1975*, tomada del sitio:

<http://www.monografias.com/trabajos70/acabados-superficiales-normas-simbologia/image018.jpg>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).

#### **1.4.4.1 Fresado periférico**

El fresado periférico es la operación de corte en donde el eje de rotación del cortador es paralelo a la superficie de trabajo, dado que el cuerpo del cortador tiene varios filos a lo largo de su circunferencia, cada uno de ellos actúa como una herramienta de corte. Un caso particular del fresado periférico sucede cuando la longitud del cortador es mayor que el

ancho de corte, este proceso es conocido como fresado plano. El fresado periférico se puede llevar a cabo de dos formas:

- ✓ Fresado convencional y
- ✓ Fresado concurrente.

El fresado convencional o fresado hacia arriba tiene la característica de producir el máximo espesor de virutas al final del corte en el material, esto sucede cuando se presenta el último contacto entre la pieza de trabajo y uno de los filos del cortador. Las ventajas más importantes al aplicar el fresado convencional son dos, la primera tiene que ver con el ataque del diente, ya que este no actúa en función de las características de la superficie de la pieza trabajo, mientras que la segunda característica es ayudar a alargar la vida útil del cortador, ya que debido a la posición de los filos, estos no se contaminan con el óxido que pueda haber en la superficie del material.

En el fresado concurrente o fresado hacia abajo, el corte comienza donde inicia en la superficie de la pieza de trabajo, en la parte donde la viruta es más gruesa. La ventaja de este tipo de corte es que la pieza de trabajo se mantiene en su lugar, sin embargo existe una fuerza de impacto mayor en comparación a la del fresado convencional, haciendo que el mecanismo de avance de la mesa haga un retroceso, es por esto que la operación debe mantenerse rígida en la sujeción.

#### **1.4.4.2 Fresado de careado o refrentado**

En este proceso el cortador es colocado en un husillo el cual gira en un solo lugar de forma perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo, al mismo tiempo la pieza avanza a cierta velocidad lineal permitiendo el arranque de material. El proceso de careado tiene la particularidad de dejar pequeñas marcas sobre la superficie de la pieza, parecida a las del proceso de torneado. Para llevar a cabo este proceso se necesita una herramienta de corte la cual contiene cierto número de insertos comúnmente de carburo de tungsteno, en una operación de careado se debe cumplir con la relación diámetro de cortador-anchura de corte, esta no debe ser menor a 3:2.

### **1.4.4.3 Fresado frontal**

El fresado frontal es la operación de corte más común en el uso de corte por fresadora, esto debido a su versatilidad y la capacidad para producir diversos perfiles y superficies curvadas. El cortador o fresa frontal tiene un zanco recto o cónico el cual es montado en el husillo de la fresadora, al igual que el proceso de careado, el cortador gira de forma perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. Los cortadores o fresas pueden ser de punta esférica o recta los cuales provocan el acabado del maquinado, por ejemplo, los cortadores de punta esférica producen superficies esculpidas, las cuales son usadas en el maquinado de matrices y moldes para inyección.

En los últimos años el fresado frontal a altas velocidades se ha convertido en un proceso importante en el maquinado, ya que tiene la característica de maquinar piezas de aluminio de gran volumen, de hasta 3 [m] por 6 [m] de área y con un peso de hasta 60 toneladas, las cuales son utilizadas en el área aeronáutica, el maquinado a altas velocidades se lleva a cabo a velocidades en el husillo de 20,000 a 60,000 [RPM].

### **1.4.4.4 Otros tipos de fresado**

A demás de las operaciones de fresado antes mencionadas también existen otras operaciones particulares para generar diferentes formas a la superficie del material, estas operaciones son:

- ✓ Fresado combinado de fresas paralelas
- ✓ Fresado de forma
- ✓ Acanalado
- ✓ Cortado

Las operaciones anteriores se realizan mediante el proceso de fresado periférico, cada una con un cortador que cuenta con ciertas características.

En el fresado combinado de fresas paralelas se montan dos o más cortadores transversales con cierta distancia entre ellos sobre el eje rotatorio, de tal modo que al maquinar la superficie los cortes sean idénticos y equidistantes. Para realizar el fresado de forma se

utilizan fresas con dientes muy afilados de forma curva, estos dientes proporcionan un corte similar a la forma del cortador sobre la superficie del material maquinado, de ahí su nombre. En las operaciones de acanalado y cortado, son utilizados cortadores circulares parecidos a una hoja de sierra, estas sierras de corte llegan a tener hasta 5 [mm] de espesor, las cuales según sea la profundidad de corte pueden formar ranuras o definitivamente traspasar el material.

En la industria existe procesos de fresado combinado, un ejemplo es corte de ranura en “T”, el cual está dividido en dos procesos diferentes, el primero consiste en generar un corte acanalado sobre el material, posteriormente es utilizada una fresa hueca colocada en un zanco largo, esto para hacer pasar el zanco por en medio del acanalado y al mismo tiempo la fresa hueca realiza un corte de mayor tamaño sobre el mismo canal.

#### **1.4.4.5 Otras capacidades del proceso de fresado**

A demás de las características antes descritas, para llevar a cabo el proceso de fresado es necesario obtener diversos parámetros que tiene que ver con la máquina, la herramienta y otros procesos externos como es la lubricación y el incremento de temperatura producto de la fricción entre materiales.

Dependiendo del la materia prima que se desee maquinar serán las características de la herramienta de corte y los parámetros del proceso, como lo es la velocidad de corte, que va de los 30 hasta los 3000 [m/min], el avance por diente, que es de alrededor de 0.1 mm y la profundidad de corte que se encuentra en un rango de 1 [mm] hasta 8 [mm] [1.7].

En la tabla 1.1 se muestran algunas de las recomendaciones necesarias aplicadas al proceso de fresado para diferentes materiales.

**Tabla 1.1. Recomendaciones generales para el proceso de fresado. Tabla de S. Kalpakjian, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 5ª edición, Prentice Hall, pp. 736, 2008.**

Material	Herramienta de corte	Condiciones iniciales de propósito general		Variedad de condiciones	
		Avance [mm/diente]	Velocidad [m/min]	Avance [mm/diente]	Velocidad [m/min]
Aceros de bajo carbono y de maquinado libre	Carburo con recubrimiento, carburo recubierto, cermets	0.13 – 0.20	120 - 180	0.085 – 0.38	90 – 425
<b>Aceros aleados</b>					
Blandos	Cermets con recubrimiento	0.10 – 0.18	90 - 170	0.08 – 0.30	60 – 370
Duros	Cermets, PcBN	0.10 – 0.15	180 - 210	0.08 – 0.25	75 - 460
<b>Hierro fundido, gris</b>					
Blando	Cermets sin recubrimiento, recubiertos, SiN	0.10 – 0.20	120 - 760	0.08 – 0.38	90 – 1370
Duro	Cermets, SiN, PcBN	0.10 – 0.20	120 - 210	0.08 – 0.38	90 - 460
<b>Acero Inoxidable</b>					
Austenítico	Cermets sin recubrimiento	0.13 – 0.18	120 - 370	0.08 – 0.38	90 – 500
<b>Aleaciones de alta temperatura</b>					
Base níquel	Cermets sin recubrimiento, SiN, PcBN	0.10 – 0.18	30 - 370	0.08 – 0.38	30 - 550
Aleaciones de titanio	Cermets sin recubrimiento	0.13 – 0.15	50 - 60	0.08 – 0.38	40 – 140
<b>Aleaciones de aluminio</b>					
Maquinado libre	PCD sin recubrimiento, recubiertos	0.13 – 0.23	610 - 900	0.08 – 0.46	300 – 3000
Alto silicio	PCD	0.13	610	0.08 – 0.38	370 – 910
Aleaciones de cobre	PCD sin recubrimientos, recubiertos	0.13 – 0.23	300 - 760	0.08 – 0.46	90 - 1070
Plásticos	PCD sin recubrimiento, recubiertos	0.13 – 0.23	270 - 460	0.08 – 0.46	90 - 1370

#### **1.4.4.6 Tipos de fresadoras**

Como ya se había mencionado con anterioridad, la fresadora es una de las maquinas herramienta más versátil y útil, la primera fue construida en el año de 1820 por Eli Whitney. En la actualidad existen diversos tipos de fresadoras cada una con diferentes características, sin embargo, en los últimos años los centros de maquinado las han ido remplazando.

La mayoría de las fresadoras cuentan con piezas similares entre ellas, las cuales tienen una función principal dentro de la operación de maquinado, estas piezas son: la mesa de trabajo, que es donde se sujeta el material a maquinar, el carro, es aquel que soporta la mesa de trabajo y al mismo tiempo proporciona ciertos movimientos lineales al maquinado, el cabezal es el que contiene al husillo, y el sujetador del cortador, es aquí donde se proporciona el movimiento rotacional al cortador.

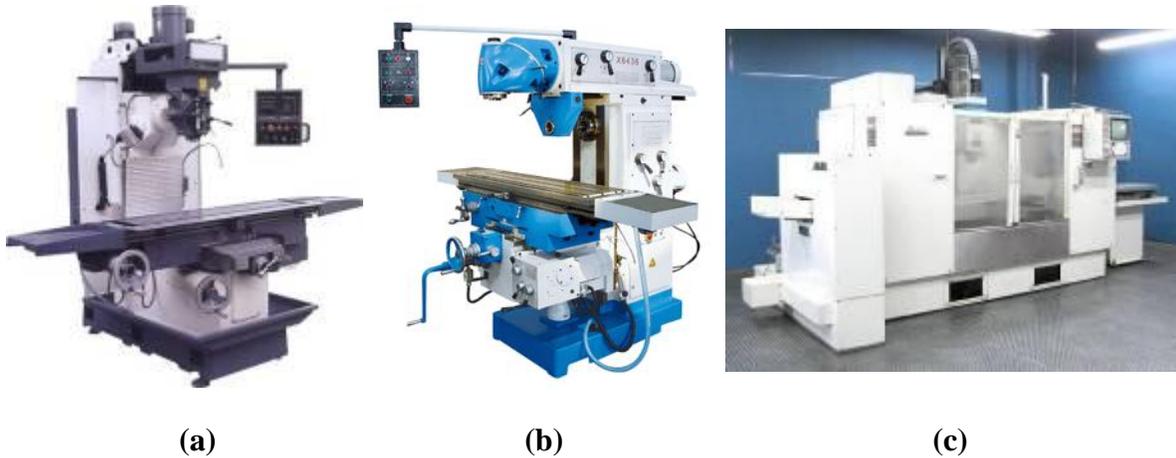
Dentro de las fresadoras más comunes se encuentra la fresadora de tipo columna y codo, en donde el cortador es montado en el husillo, el cual puede ser horizontal o vertical, ya sea para fresado periférico o para fresado de careado y frontal respectivamente.

Las fresadoras de tipo bancada tienen la propiedad de ser de alta rigidez, ya que la mesa de trabajo está sujeta a una bancada, de tal forma que solo puede moverse en una sola dirección, comúnmente este tipo de fresadora es usada en trabajos de alta producción.

Las fresadoras tipo cepilladora son similares a las de tipo bancada, con la diferencia de tener diferentes cabezas y cortadores para poder realizar cortes de diferentes superficies, se utilizan para maquinar piezas de gran volumen y de mejor calidad que una cepilladora.

Las máquinas de control numérico por computadora (CNC) están remplazando con rapidez a las fresadoras manuales, ya que son más versátiles y tienen la característica de poder realizar diferentes operaciones además del fresado, como lo son: taladrar, mandrinar y machuelear, todo esto con una precisión repetitiva.

En la figura 1.7 se ilustran tres tipos de máquinas fresadoras, el centro de maquinado mostrado incorpora dos tipos de operaciones, fresado y torneado [1.8] [1.9].



**Figura 1.7. (a) Máquina fresadora de tipo bancada. (b) Máquina fresadora de cabezal giratorio. (c) Centro de maquinado CNC. Imágenes tomadas de *THL Machine Tools Co.*, del sitio: <http://www.thlmachine.com/Default.aspx?iT=1&aID=10&sLT=3&bID=66>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

## 1.5 ROUTER MANUAL

Un Router también conocido como rebajadora, es una herramienta eléctrica usada en trabajos de carpintería y artesanías, tiene la función de cortar material por medio de una herramienta de corte giratoria parecido al de una máquina fresadora pero de carácter manual y a menor escala, también es utilizada para generar diferentes tipos de relieves sobre materiales como madera o polímeros, para realizar cada uno de estos trabajos se requiere un tipo de herramienta o cortador en especial.

Nadie sabe a ciencia cierta quién fue el inventor del router, sin embargo, esta herramienta de corte a menudo le es acreditada a la empresa *Kelly Machine Co.* ubicada en Buffalo Nueva York, ya que en el año de 1905 lo empezó a producir comercialmente. Este primer router tenía un aspecto muy burdo y era demasiado pesado, pero aun así fue de gran ayuda para los carpinteros que dejaron las tareas de tallado de madera a un lado. En el año de 1914 la empresa *Carter Co.* comenzó a fabricar routers más ligeros, sin embargo, el modelo de 1.5 HP seguía pesando casi 16 kilogramos. Muchos de los principios de funcionamiento y componentes de los routers antiguos siguen siendo utilizados en la fabricación de los routers actuales, tal es el caso del alojamiento de forma roscada del motor o las guías laterales en su estructura [1.10].

En 1929 *Stanley Electric Tools* compró a *Carter Co.* y se dedicó a la fabricación de routers hasta que fue adquirida por *Bosch Tool Co.* en la década de 1980. El router de inmersión como se conoce hoy en día no fue diseñado hasta el año de 1949 por una empresa alemana, *Elu*. El router de la compañía *Elu* llegó a ser considerado como el mejor del mundo, incluso estableció una norma para todos los routers de inmersión, mientras que en los Estados Unidos no se fabricaba este modelo si no hasta la década de 1980. No hace mucho tiempo la compañía *Elu* fue adquirida por *Black and Decker* que es propiedad de *DeWalt Tool Co.*, quienes siguen fabricando en Europa clones directos del router de inmersión de *Elu* [1.11].

En la figura 1.8 se ilustra el primer router fabricado por la empresa *Kelly Co.* en 1905, el cual pesaba 67 [kg] y tenía un diámetro de 30 [cm] con una longitud de 40 [cm].

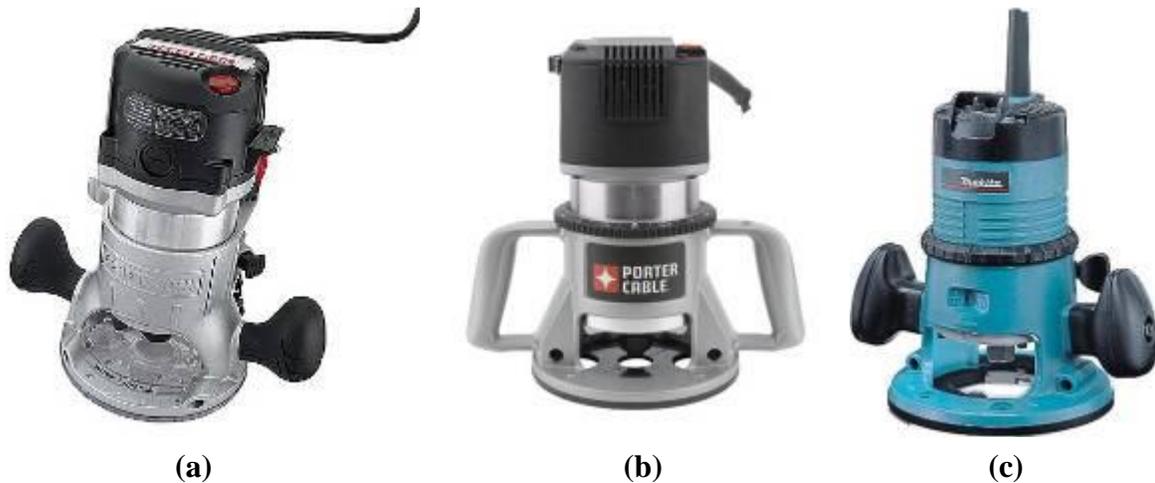


**Figura 1.8. Primer router fabricado por la compañía estadounidense *Kelly Co.* Imágenes de Patrick Spielman, “*The Art of the Router, Award Winning Design*”, Sterling Publishing Co. Inc., pp. 8, 1998.**

En la actualidad existen más de 100 modelos diferentes de routers solo de 14 fabricantes, de los cuales la mayoría son de tipo inmersión, ya que los de base fija no se pueden someter a trabajos en donde es necesario maquinar diversos tipos de relieves sin tener que cambiar de forma manual la posición de la herramienta de corte, la única característica relevante de los routers de base fija es que por lo general el motor puede ser retirado de la base y poderse utilizar de forma independiente colocándolo en otras posiciones.

La potencia es una característica importante a la hora de adquirir un router, esta potencia puede ir desde 1 hasta 3 ¼ caballos de fuerza en los routers comerciales, los cuales pueden ser aprovechados según el material a maquinar y el tiempo de operación con el cual se

trabaje, un ejemplo de ellos son el router *Craftsman* modelo 02768 con una potencia de 2 [HP] (figura 1.9 (a)), el router *Porter Cable* modelo 7518 de 3 ¼ de [HP] de potencia (figura 1.9 (b)) y el router *Makita* modelo 3606 de 1 [HP] de potencia (figura 1.9 (c)), cada uno de ellos es diseñado para diferentes tipos de aplicaciones [1.12] [1.13] [1.14].



**Figura 1.9. (a) Router *Craftsman* modelo 02768. Imagen de *Craftsman*, del sitio: [www.craftsman.com](http://www.craftsman.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012); (b) Router *Porter Cable* modelo 7518. Imagen de *Porter Cable*, del sitio: [www.portercable.com](http://www.portercable.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012); (c) Router *Makita* modelo 3606, Imagen de *Makita*, del sitio: [www.makitatools.com](http://www.makitatools.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

A la hora de elegir el tipo y marca de router, ya sea de inmersión o fijo, es muy importante saber la capacidad de apertura de la boquilla ya que entre más grande sea esta es mejor, esto debido a los diferentes tipos de herramientas de corte que se le pueden adaptar. La mayoría de los modelos comerciales tienen una apertura de ¼ de pulgada y ½ de pulgada.

En la figura 1.10 se pueden observar diferentes diámetros y tipo de zancos de las herramientas de corte para un router manual.



**Figura 1.10. Herramientas de corte para madera con diferentes tipos y diámetros de zanco. Imágenes de Patrick Spielman, “The Art of the Router, Award Winning Design”, Sterling Publishing Co. Inc., pp. 10, 1998.**

Las herramientas, máquinas y tecnologías, tienden a evolucionar con el tiempo y el router manual no se puede quedar atrás, ya en los últimos años empresas fabricantes de herramientas manuales están desarrollando nuevas formas de acoplar los cortadores al router, de tal forma que el cambio de herramienta sea fácil y en menos tiempo, esto mediante acoplamientos magnéticos, algo similar es el portabrocas que no necesita una llave para apretar la boquilla diseñada por *Jacobs Chuck Mfg. Co.*

## **1.6 ROUTER CNC**

El router es comúnmente utilizado de forma manual para trabajos artesanales, sin embargo existe un aditamento conocido como mesa del router, la cual es utilizada para trabajos de mayor precisión, ya que al trabajar a altas revoluciones es común que la precisión disminuya debido a tres factores: al movimiento del router, al movimiento de la pieza de trabajo o a las vibraciones resultado del contacto y corte entre el material y la herramienta. La función principal de una mesa para router es fijar al router en una posición vertical, en la mayoría de las mesas comerciales el router es fijado en la parte de abajo de la mesa, dejando salir solo al cortador por un orificio en la misma, además, permite alinear el material en una sola posición y deslizarlo a lo largo de mesa para dejar que el cortador realice su función (figura 1.11). Algunas mesas tienen aditamentos para poder conectar un sistema de succión mediante una aspiradora, esto para poder retirar la viruta producto del corte.



(a)



(b)

**Figura 1.11. (a) Mesa para router marca *Craftsman*. Imagen de *Craftsman*, tomada del sitio: [www.craftsman.com](http://www.craftsman.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012); (b) Mesa para router marca *Clarke* modelo *CRT1*. Imagen de *Clarke Tools Power Products*, tomada del sitio: <http://www.clarkeinternational.com/pages/clarke-home>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

Así pues, la mesa de corte puede ser considerada como precursora de un router automatizado, esto con la finalidad de poder realizar trabajos similares al de una máquina-herramienta de control numérico, en donde se desarrollan operaciones de fresado, torneado, taladrado, entre otras, pero con la particularidad de solo realizar trabajos de fresado con materiales cuya dureza no necesite motores de gran potencia para poder ser maquinados y con un costo considerablemente bajo en comparación con las grandes máquinas-herramienta, utilizando una precisión muy cercana a la de los centros de maquinado.

El control numérico tiene sus orígenes a finales de la década de 1940 y principios de 1950 por *John T. Parsons* en colaboración con el *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* con el propósito de ayudar a la manufactura después de la guerra y facilitar la construcción de aviones. En el año de 1952 fueron utilizadas tarjetas perforadas o cintas de aluminio para realizar los primeros programas de control numérico, con la llegada de los microprocesadores se hizo posible la conexión entre los ordenadores y las máquinas y así poderlas controlar por medio de las computadoras. Las máquinas CNC fueron construidas

originalmente para maquinar metales pero con el tiempo se realizaron adecuaciones para nuevos diseños y así poder trabajar maderas, plásticos, espumas, telas y otros materiales. No importando la función de las máquinas CNC, todas ellas tienen cuatro características en común:

- ✓ Un programa
- ✓ Un controlador
- ✓ Una máquina herramienta
- ✓ Una estructura que la soporte

Cada una de estas características cumple con una función importante dentro del sistema general en la operación de maquinado de piezas.

Un router CNC difiere de una máquina-herramienta para trabajar metales principalmente en la cantidad de esfuerzos, cargas y vibraciones a la que está sometida cada una de ellas, por ejemplo, una fresadora puede alcanzar hasta 60,000 [RPM] con mesas de trabajo de 1.5 por 6 metros de longitud y velocidades de corte de 3000 [m/min], además de las velocidades, la precisión y las tolerancias son mayores en las máquinas para trabajar metales.

Un Router CNC se puede definir como una herramienta automatizada de control numérico de 3 ejes utilizada para manufacturar piezas de diferentes materiales blandos, como lo son: madera, acrílico, cerámicos, entre otros. Este tipo de máquinas es utilizado en la pequeña y mediana empresa para generar piezas artesanales con acabados precisos sin tener que recurrir a las grandes máquinas comerciales. Isao Shoda afirma haber hecho las primeras máquinas router CNC en el mundo y haberlas exhibido en la feria internacional de Osaka en 1968 [1.15] [1.16].

Un Router CNC está constituido básicamente por 11 componentes, los cuales se pueden dividir en 3 sistemas principales que deben trabajar en conjunto, esto para asegurar su óptimo funcionamiento:

- ✓ Sistema mecánico y estructura del router.
  - Mesa de trabajo
  - Movimientos del router

- Sistema de accionamiento
- Ejes de desplazamiento
- Fijación de material
- Fijación de la herramienta manual
- ✓ Sistema de automatización y control.
  - Controladores
  - Programación de control numérico
- ✓ Maquinaria de corte.
  - Router manual
  - Herramienta de corte
  - Parámetros de corte

Un ejemplo de un router comercial se puede observar en la figura 1.12, es un router de la marca *PRECIX* modelo *PCX-BT* que utiliza un router manual *Porter Cable* de 3 ¼ HP de potencia como máquina de corte y tiene un área de corte de 1.22 por 1.22 metros [1.17].



**Figura 1.12. Router CNC de la empresa mexicana *PRECIX* modelo *PCX-BT*. Imagen de *PRECIX MÉXICO*, tomada del sitio: <http://precix.com.mx/>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

## 1.7 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es diseñar la estructura para una máquina router CNC siguiendo un modelo estructurado de diseño, esto con la finalidad de llegar a un prototipo final de calidad, evitando iteraciones en actividades que lleguen a costar tiempo y dinero.

Los objetivos particulares son:

1. Realizar el diseño mecánico de la Estructura para un Router CNC.
2. Establecer y seguir una metodología de diseño y obtener un prototipo final para el proyecto de la Estructura para un Router CNC.
3. Establecer los parámetros de corte de un router manual aplicados a un metal no ferroso, aluminio.
4. Establecer las características necesarias para la selección adecuada de un router manual que satisfaga las necesidades del proyecto.
5. Realizar un diseño en una plataforma CAD que cumpla con las necesidades del proyecto.
6. Analizar el o los diseños propuestos mediante un análisis de elementos finitos con la finalidad de realizar pruebas de funcionamiento.
7. Realizar la comparación entre diseños y analizar la viabilidad para construir la estructura final seleccionada.

Así pues, mediante los aspectos anteriores se pretende obtener los argumentos necesarios para iniciar la construcción del modelo físico de la estructura, trabajando a la par con los equipos encargados del diseño de la automatización y control del router CNC.

En este capítulo se mostró una recopilación de conceptos que hacen entender el funcionamiento y la necesidad del uso de las máquinas-herramientas en el desarrollo de productos útiles para la vida cotidiana, así como las definiciones de un router o rebajadora manual, su origen y evolución, todo esto para poder describir a una máquina-herramienta router CNC. Finalmente se presentaron los objetivos particulares y generales los cuales describen la dirección del proyecto.

# CAPITULO 2

## METODOLOGÍA DE DISEÑO

Una vez definidos los conceptos principales para el desarrollo de la Estructura para el Router CNC y haber establecido los objetivos a alcanzar, a continuación se describen las diferentes etapas a seguir utilizando una metodología estructurada, la cual está basada en el proceso de diseño genérico para la obtención de un producto del autor *Karl T. Ulrich* [2.1].

Ya analizadas diferentes metodologías de diseño, fue elegido para su aplicación al proyecto el modelo genérico del autor *Karl T. Ulrich* debido a las capacidades de adaptación de los conceptos al modelo a desarrollar, algunas de las actividades que propone el autor se les presenta mayor interés en este proyecto, en particular aquellas que tienen que ver con la obtención de necesidades, es decir, aquellas donde se tiene contacto con el usuario, debido a lo anterior se puede considerar que la metodología utilizada se encuentra centrada en el usuario final.

La ventaja que brinda esta metodología al proyecto es que a través del contacto constante y directo con los usuarios finales se pueden obtener las características fundamentales que el usuario necesita para facilitar el uso de la máquina-herramienta en comparación con los productos existentes en el mercado, sin embargo, algunas características no serán del todo satisfechas, ya que se tienen que estudiar diferentes aspectos técnicos que cumplan con la

funcionalidad y que no intervengan entre ellos para su desarrollo, es por esto que dentro de la metodología existe un estudio de prioridades de las necesidades para el producto.

La metodología utilizada en el proyecto de diseño de la Estructura para un Router CNC tiene por objetivo organizar las actividades a realizar, desde la obtención de la oportunidad de desarrollo de proyecto, hasta llegar a un producto final, pasando por el análisis de necesidades, especificaciones y la generación de conceptos, todo esto para satisfacer las necesidades para las cuales se está desarrollando el trabajo.

El proceso genérico para el desarrollo del producto comprende 6 etapas importantes, las cuales se desarrollan de tal forma que entre cada una de ellas existe una constante búsqueda de información, ya sea a nivel cliente, tecnología, productos existentes y posibles soluciones, todo esto para poder pasar así a la siguientes etapas, con la finalidad de obtener un diseño que cumpla con todas las expectativas de funcionalidad y así el usuario tenga la comodidad de realizar el trabajo requerido con esta máquina.

En la figura 2.1 se ilustra el proceso de diseño genérico del autor *Karl T. Ulrich* utilizado para el desarrollo del producto.



**Figura 2.1. Proceso de diseño genérico para la obtención de un producto. Imagen de Karl T. Ulrich, “*Diseño y desarrollo de productos*”, 4ª edición, Mc Graw Hill, pp. 26, 2009.**

El proceso de mejora incremental de un producto tomando en cuenta los sistemas existentes en el mercado es la base para el desarrollo del producto. A continuación se muestran cada una de las etapas aplicadas al proyecto.

## **2.1 PLANEACIÓN**

La planeación en un proceso de diseño inicia con la identificación de una oportunidad para generar o mejorar un producto, posteriormente le siguen cierto número de actividades, las cuales hacen que el diseño sea organizado y así evitar iteraciones innecesarias sacrificando tiempo y dinero durante el proceso.

A continuación se describen cada una de las etapas realizadas durante la planeación de diseño de la Estructura para un Router CNC.

### **2.1.1 Identificación de oportunidades**

La oportunidad de desarrollar el proyecto de un router CNC surge de la necesidad de maquinar piezas de precisión para construir sistemas de concentración de energía solar en el Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados.

Algunas de las piezas que el Centro desea manufacturar son:

- ✓ Costillas para canales parabólicos.
- ✓ Costillas para concentradores solares de disco parabólico.
- ✓ Piezas para las estructuras de los sistemas de concentración.
- ✓ Piezas para sistemas de receptor central.

La precisión de las piezas que los sistemas de concentración utilizan es un factor importante en el funcionamiento de los mismos, esto debido a que el seguimiento del sol y la reflectancia de las superficies en un punto específico determinan su óptimo funcionamiento. El alto costo de manufactura en máquinas-herramienta es otro factor por el cual se consideró la elaboración de un sistema de manufactura exclusivo para este tipo de piezas.

### **2.1.2 Las prioridades del proyecto**

El primer contacto con el cliente arroja muchos de los datos importantes de funcionamiento que él desea de una máquina de control numérico, es aquí donde se observan las primeras prioridades e inquietudes del cliente. Estas prioridades de la voz del cliente son:

- ✓ *“Me gustaría una máquina que tuviera una precisión adecuada para el maquinado de piezas para sistemas de concentración de energía”*
- ✓ *“Los materiales que me interesa maquinar son polímeros, maderas, aglomerados y metales no ferrosos, particularmente aluminio”*
- ✓ *“Que la estructura sea fácil de montar y desmontar, por cuestiones de espacio y mantenimiento”*
- ✓ *“Que se puedan maquinar piezas de gran volumen”*
- ✓ *“Que los materiales de los cuales este constituida la máquina sean resistentes y de buena calidad”*
- ✓ *“Los materiales de la estructura fuesen fácil de conseguir y que no sean muy caros”*

Así como se toman en cuenta las primeras impresiones, posteriormente resultaran una serie de requerimientos propios del proyecto, ya sea por nuevas necesidades del cliente o particulares a la hora de diseñar.

### **2.1.3 Planeación del anteproyecto**

A continuación se describen concretamente los aspectos principales del proyecto, es decir, la declaración de la misión.

**Tabla 2.1. Declaración de la misión para el proyecto del Diseño de la Estructura para un Router CNC.**

<b>Declaración de la Misión: Estructura para un Router CNC</b>	
<b>Descripción del producto</b>	✓ Sistema de maquinado CNC, router domestico manual, corte y desbaste de diversos materiales.
<b>Propuesta de valor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Maquinar metales no ferrosos, aluminio</li> <li>✓ Maquinar a medianas dimensiones</li> <li>✓ Fácil armado y desarmado</li> <li>✓ Sistema modular</li> </ul>
<b>Mercado primario</b>	✓ Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados
<b>Mercado Secundario</b>	✓ Empresas o particulares dedicadas a la manufactura de relieves, por ejemplo: carpintería, artesanías o relieves en polímeros.
<b>Suposiciones y restricciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Metálica</li> <li>✓ Ligera (comprada con las estructuras comerciales)</li> <li>✓ De fácil armado</li> <li>✓ Resistente al intemperie</li> </ul>
<b>Involucrados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Usuario</li> <li>✓ Diseñador mecánico</li> <li>✓ Diseñador de software</li> <li>✓ Diseñador de sistemas electrónicos</li> </ul>

#### **2.1.4 Identificación de las necesidades**

Para obtener las necesidades del proyecto se recabó información de dos fuentes: la primera consistió en entrevistar al cliente, el cual proporciona información sobre sus expectativas de la maquina tanto de funcionamiento como de carácter estético. La segunda fuente de información fue directamente con los fabricantes de maquinas comerciales de routers CNC y los usuarios que utilizan estas maquinas para laborar, los carpinteros.

Con la información obtenida de las entrevistas se generó la siguiente tabla de necesidades interpretadas de la Estructura para un Router CNC (ER CNC):

**Tabla 2.2. Plantilla de declaraciones del cliente y necesidades interpretadas.**

Pregunta / sugerencia	Enunciado del cliente	Necesidad interpretada
Usos típicos	Necesito una precisión adecuada para maquinar piezas para sistemas de concentración solar.	La ER CNC proporciona movimientos precisos al router.
	Maquinar piezas de gran volumen.	La ER CNC puede alojar materia prima de gran tamaño.
	Buen trabajo con madera y acrílico.	La ER CNC maquina materiales blandos.
Les gusta: Máquina comercial	Me agrada el sistema de deslizamiento de la máquina ya que no se atora a la hora de maquinar mis piezas.	El sistema de deslizamiento de la ER CNC en cada eje se desliza suavemente.
	Me gusta la forma de sostener el router a la estructura.	El sistema de sujeción de la ER CNC se adapta perfectamente al router manual.
	Me agrada la idea de usar un router manual en un una máquina de control numérico.	La ER CNC acopla un router para su funcionamiento.
No les gusta: Máquina comercial	No me gusta cuando la herramienta de corte se rompe en pleno proceso.	El sistema de corte de la ER CNC indica la profundidad adecuada para cada material.
	Es bastante molesto cuando tengo que mover la máquina de lugar ya que luego no cabe por las puertas.	La ER CNC está constituida modularmente para un fácil ensamble y desensamble.
	No me gusta la forma de sujetar el material a la mesa de trabajo, es muy incomodo.	El sistema de sujeción para materia prima del ER CNC se adecua a todo tipo de material.
Mejoras sugeridas	Además de usar un Router, también me gustaría taladrar y cortar.	A la ER CNC se le pueden adaptar otras herramientas manuales.
	Poder maquinar aluminio y aceros.	La ER CNC soporta materiales ferrosos y no ferrosos, ya sea a nivel sujeción y a nivel corte.
	Poder utilizar la estructura de forma manual.	La ER CNC permite al usuario trabajar de forma manual con el sistema de movimiento en los 3 ejes.
	Que el mantenimiento de la máquina sea de forma intuitiva y no tenga que llamar a un técnico profesional.	Las piezas de la ER CNC son de fácil obtención y de instalación intuitiva.

## **2.1.5 Especificaciones del producto**

Una vez identificadas las necesidades del cliente, éstas tienen que ser traducidas a un conjunto de especificaciones precisas y que se puedan cuantificar, ya que el rango de interpretación de las necesidades es demasiado subjetivo.

Las especificaciones del producto proporcionan una descripción precisa de las funciones del mismo, es decir, los requisitos del producto o las características ingenieriles del producto.

Para establecer las especificaciones objetivo se realizan dos actividades primordiales:

- ✓ Elaborar una lista de métricas.
- ✓ Recabar información de productos ya existentes.
- ✓ Establecer valores objetivo ideales y marginalmente aceptables.

### **2.1.5.1 Lista de métricas**

La lista de métricas consiste en hacer una traducción de las necesidades del cliente a un conjunto de especificaciones precisas y capaces de ser medidas, por lo tanto si se cumple con las especificaciones, las necesidades del cliente serán cumplidas.

A continuación se muestran las tablas de necesidades y de métricas respectivamente de la Estructura para un Router CNC, la importancia de las necesidades tiene una escala del uno al cinco, donde el número uno corresponde a las necesidades de mayor importancia, mientras que el número cinco a las de menor importancia.

**Tabla 2.3. Necesidades del cliente de la Estructura para un Router CNC (ER CNC).**

Número		Necesidad	Importancia
1	La ER CNC	Ayuda a proporcionar movimientos precisos al router manual.	1
2	La ER CNC	Aloja materia prima de gran tamaño.	1
3	La ER CNC	Ayuda al maquinado de materiales blandos.	1
4	La ER CNC	Se adapta al router manual con facilidad.	2
5	La ER CNC	Ayuda a aprovechar al máximo la herramienta de corte.	3
6	La ER CNC	Se monta y se desmonta con facilidad.	2
7	La ER CNC	Sujeta la materia prima con facilidad y confiabilidad.	1
8	La ER CNC	Se adapta a otras herramientas manuales.	5
9	La ER CNC	Ayuda al maquinado de metales no ferrosos	2
10	La ER CNC	Permite al usuario maquinar piezas de forma manual.	5
11	La ER CNC	Permite el mantenimiento con herramientas sencillas.	4
12	La ER CNC	Tiene una larga vida útil.	5
13	La ER CNC	Permite la fácil reposición de piezas desgastadas.	1
14	La ER CNC	Es ligera en peso.	4

**Tabla 2.4. Plantilla de métricas con sus respectivas unidades.**

Métrica número	Número de necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	6, 14	Masa total	1	[kg]
2	1, 6, 10	Medidas de la estructura	1	[mm]
3	6	Tiempo para ensamblar la estructura	2	[s]
4	13, 14	Costo de manufactura	1	[\$]
5	11, 13	Tiempo de ensamble/desensamble para el mantenimiento	4	[s]
6	11, 13	Herramientas necesarias para el mantenimiento	5	[lista]
7	2, 5, 8, 9	Resistencia a la flexión	1	[N]
8	2, 3, 7, 9	Medidas del sistema de sujeción de material	3	[mm]
9	4, 8	Medidas del sistema de sujeción para herramienta	4	[mm]
10	12	Vida útil	2	[días]

El valor de “*lista*” en la tabla anterior, corresponde a una lista de herramientas que son utilizadas para el armado de cualquier tipo de máquinas.

### 2.1.5.2 Información de productos en el mercado; Benchmarking

La comparación entre los sistemas comerciales de routers CNC es necesaria para analizar y acordar el posicionamiento detallado de cada uno de ellos y así reunir información para apoyar las decisiones del producto a diseñar.

Se encontraron diversos modelos de Routers CNC en el mercado, pero solo se seleccionaron aquellos que tratan de cumplir con los requerimientos del cliente, así como la calidad y las facilidades de proporcionar información por parte del proveedor.

En la tabla 2.5, se hace una comparación de las características de algunos routers CNC comerciales [2.2] [2.3] [2.4] [2.5].

**Tabla 2.5. Benchmarking de routers CNC.**

	Características								
Modelos	Vol. externo	Precisión	Motor de corte	Peso	Desplazamiento en Z	Tamaño de cama	Vel. de corte	Área de trabajo	Diam. de corte
LaserMex K1212A	-	0.05	3	-	> 80	1300 x 1500	14000	1200 x 1200	6
SeikiTech RCC1325A	-	0.02	4	1240	160	-	24000	1300 x 2500	12
PCX-Modela	24	0.05	4.7	950	250	1120 x 2440	21000	1050 x 2150	12
Multicam Serie 1000	-	0.02	3	680	200	1270 x 1270	-	1270 x 1270	12
Techno LC3024	1.4	0.005	3	153	226	762 x 610	6350	762 x 610	6
LaserMex R-6090	-	0.05	3	450	120	-	25000	600 x 900	6
PCX-4898	-	0.05	4.7	-	150	1120 x 2440	21000	1050 x 2150	6
LaserMex K1325AT	13	0.05	10	3000	200	1350 x 3100	60000	1300 x 2500	6
Techno 4896	16	0.005	7	907	226	2770 x 3785	20320	1980 x 3000	6
	[m <sup>3</sup> ]	[mm]	[HP]	[kg]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[mm]	[mm]

### 2.1.5.3 Selección de valores objetivo ideales y marginalmente aceptables

La principal función de este paso es sintetizar la información obtenida y determinar los valores objetivo para la métrica del proyecto, y así establecer las especificaciones finales.

En la tabla número 2.6 se muestra el valor marginal para cada una de las métricas, así como también el valor ideal que se desea obtener.

**Tabla 2.6. Valores de métricas objetivo e ideales para el diseño de la ER CNC.**

Métrica	Imp.	Unid.	Valor marginal	Valor ideal
Masa total	1	[kg]	< 600	400
Medidas de la estructura	1	[mm]	> 1000 x 2000	> 1200 x 2400
Costo de Manufactura	1	[\$]	< 260,000.00	< 180,000.00
Resistencia a la flexión	1	[N]	< 50	< 50
Tiempo para ensamblar la estructura	2	[hrs]	< 12	< 8
Vida útil	2	[años]	> 20	20
Medidas del sistema de sujeción de material	3	[mm]	Ancho de placa > 50.8	Ancho de placa = 38
Medidas del sistema de sujeción para herramientas	4	[mm]	< 150	Intercambiable
Tiempo de ensamble/desensamble para el mantenimiento	4	[hrs]	< 3	< 2
Herramientas necesarias para el mantenimiento	5	lista	Desarmadores hallen	Desarmadores hallen

Algunos de los datos de la tabla anterior son establecidos gracias a la información recabada de los sistemas comerciales, como lo es el costo de total de la máquina-herramienta o la vida útil. La resistencia a la flexión fue calculada a partir de una simulación de maquinado a un perfil de aluminio (ya que es uno de los materiales que el usuario se encuentra más interesado en maquinar), así como con el peso de la misma estructura.

La resistencia a la flexión se detalla en el capítulo número cinco, en donde se realizó un análisis de elementos finitos a los modelos de dos estructuras propuestas para determinar el comportamiento de las mismas al ser sometidas a las cargas que actúan sobre ellas.

A partir de los datos obtenidos para los valores marginales e ideales, se puede definir el rango en el cual se debe encontrar nuestro diseño en cuanto a especificaciones, y una vez aprobada la misión, poder dar paso al siguiente objetivo.

## **2.2 DESARROLLO Y GENERACIÓN DE CONCEPTO**

Con esta actividad, se pretende dar una descripción aproximada de la tecnología que se utilizará para satisfacer las necesidades del cliente y así poder realizar un diseño final. Gracias a esta generación de conceptos se pueden ahorrar costos y tiempo de diseño, ya que el desarrollo de estos no tiene precio y se realizan de manera relativamente rápida.

Para desarrollar un sistema completo de la Estructura para un Router CNC se tuvo que dividir en diferentes subsistemas, y al final integrarlos para su óptimo funcionamiento. Estos subsistemas son:

- ✓ Sistema de sujeción para herramientas.
- ✓ Sistema de deslizamiento.
- ✓ Sistema de sujeción de materia prima.
- ✓ Sistema de movimiento en los 3 ejes coordenados.

### **2.2.1 Sistema de sujeción para herramientas**

Este sistema básicamente es utilizado para soportar al router manual y otro tipo de herramientas que puedan ser acopladas a la estructura, como por ejemplo un taladro o una sierra caladora. Para este sistema se analizan diferentes posibilidades, las cuales incluyen materiales y diseños de sistemas ya existentes.

Ya que principalmente la máquina debe sujetar un router manual, se realizó un estudio de tipos de routers manuales que cumplan con las características apropiadas para llevar a cabo el trabajo de corte de las piezas que se pretenden maquinar.

En la tabla 2.7 se muestra una comparativa de especificaciones de routers manuales comerciales.

**Tabla 2.7. Modelos y especificaciones de Routers Manuales.**

Modelo	Especificaciones				
	Potencia [HP]	Velocidad de giro [RPM]	Medidas (diámetro x longitud) [mm]	Peso [kg]	Ajustador del husillo [mm]
<b>Makita RP2301FC</b>	3 ¼	9000 - 22000	168 x 235	6.1	12.7
<b>Craftsman 14-amp</b>	2 ½	25000	152 x 229	7	6.35 – 12-7
<b>Porte Cable 892</b>	2 ¼	10000 - 22000	152 x 229	4	6.35 – 12-7
<b>Porter Cable 7518</b>	3 ¼	10000 - 21000	179 x 279	6.5	12.7

### 2.2.2 Sistema de deslizamiento

La función principal del sistema de deslizamiento es poder realizar los movimientos en los tres ejes coordenados en los cuales se requiere trasladar el router. La mayoría de los sistemas comerciales están constituidos por rodamientos de alta precisión, diseñados específicamente para maquinas CNC. Estos rodamientos son conocidos como rodamientos lineales.

Muchas empresas dedicadas al diseño y manufactura de rodamientos cuentan con una línea especializada en el desarrollo de rodamientos lineales. Básicamente existen tres modelos de este tipo de rodamientos:

- ✓ Rodamientos lineales de bolas y guías deslizables.
- ✓ Rodamientos de transmisión lineal.
- ✓ Rodamiento de bolas tipo husillo.

El primer modelo funciona como deslizador en una sola dirección lineal, ya que tiene restringidos los movimientos de rotación gracias al perfil del eje guía. El segundo modelo también cuenta con un movimiento lineal en una sola dirección, pero además, este rodamiento tiene la capacidad de poder rotar sobre su eje guía de movimiento lineal, ya que el eje guía es una barra circular. El tercer modelo tiene como función principal convertir

movimientos rotacionales en movimientos lineales. Las características generales de este tipo de rodamientos son:

- Aceleración de hasta  $100 \left[\frac{m}{s^2}\right]$
- Velocidad de hasta  $5 \left[\frac{m}{s}\right]$
- Precisión de hasta  $50 \left[\mu m\right]$
- Temperatura de trabajo entre los  $-20 \left[^\circ C\right]$  y  $80 \left[^\circ C\right]$
- Longitud de eje de hasta  $6 \left[m\right]$

Como se puede observar en las características, estos rodamientos son fabricados especialmente para aplicaciones de precisión. En la figura 2.2 se muestran ejemplos de los tres tipos de rodamientos lineales [2.6].



**Figura 2.2. Modelos de rodamientos lineales. (a) Rodamientos lineales de bolas y guías deslizables. (b) Rodamientos de transmisión lineal. (c) Rodamiento de bolas tipo husillo. Imágenes de SKF Rodamientos, tomadas del sitio: [www.skf.com](http://www.skf.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

### 2.2.3 Sistema de sujeción de materia prima

El sistema de sujeción es aquel en el cual se colocan las placas de materia prima para poder ser maquinadas por el router. Este sistema debe de sujetar al material de tal forma que restrinja el movimiento en todas las direcciones y así asegurar el maquinado preciso.

La base de la estructura del router o cama de la estructura del router, como es llamada en los sistemas comerciales, debe ser rígida y segura en su montaje ya que es una de las piezas de mayor volumen en la estructura y de ella depende la estabilidad de la misma. En algunos

sistemas comerciales la cama está constituida de una sola pieza, mientras que en otras puede estar constituida por la unión de varias. Algunos de los materiales que son considerados para la cama de la estructura son:

- Placa de aluminio 1100-H14
- Placa de acero inoxidable aleación 430
- Perfil cuadrado de aluminio 6061-T6
- Solera de acero inoxidable aleación 304
- Perfil de aluminio serie P-40X80
- Placas de madera

#### **2.2.4 Sistema de movimiento en los tres ejes coordenados**

El sistema de movimiento en los ejes  $X$ ,  $Y$  y  $Z$ , es la parte fundamental de la Estructura para un Router CNC, ya que estos realizan el traslado del router manual a lo largo de la pieza de trabajo para así poder maquinaarla. Los movimientos en dichos ejes son de carácter lineal, además, se tienen que trasladar a lo largo del eje un una dirección de ida y vuelta. Existen diferentes mecanismos para realizar estos movimientos, los cuales brindan las características requeridas, por ejemplo, por medio de un motor rotatorio, en donde se tiene que definir el método para trasladar el movimiento de giro del motor a un movimiento lineal, o simplemente hacer uso de motores lineales, los cuales no hace mucho tiempo de su presencia en el mercado, son más eficientes pero su costo se eleva demasiado.

Existen diferentes formas para transformar movimientos rotatorios en movimientos lineales en las maquinas CNC comerciales, la forma más común es a través de tornillos tipo sinfín con una precisión adecuada para este tipos de trabajo. Los tornillos sinfín fueron mencionados cuando se describieron los rodamientos lineales, se trata de los rodamientos de bolas tipo husillo. Algunas características importantes en este tipo de rodamientos son:

- Tienen una vida útil de hasta 15000 horas
- Soportan velocidades de hasta 150 [m/min]
- Soportan temperaturas de hasta 80 [°C]
- Permiten un fácil mantenimiento
- Tienen una precisión de hasta 0.035 [mm]

En la figura 2.3 se pueden observar los diferentes tipos de los rodamientos de bolas y rodillos de tipo husillo [2.7].



**Figura 2.3. Rodamientos de bolas y rodillos de tipo husillo. Imagen de SKF Rodamientos, tomadas del sitio: [www.skf.com](http://www.skf.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

## **2.3 DISEÑO A NIVEL SISTEMA, EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA**

Después de una búsqueda interna y externa de información para mantenerse al tanto de diversos tipos de tecnologías que pudiesen aplicarse al proyecto, se dispone a realizar una exploración sistemática la cual tiene por objetivo navegar a través de un espacio de posibilidades y alternativas para organizar y sintetizar diferentes soluciones.

### **2.3.1 Tabla de combinación de conceptos**

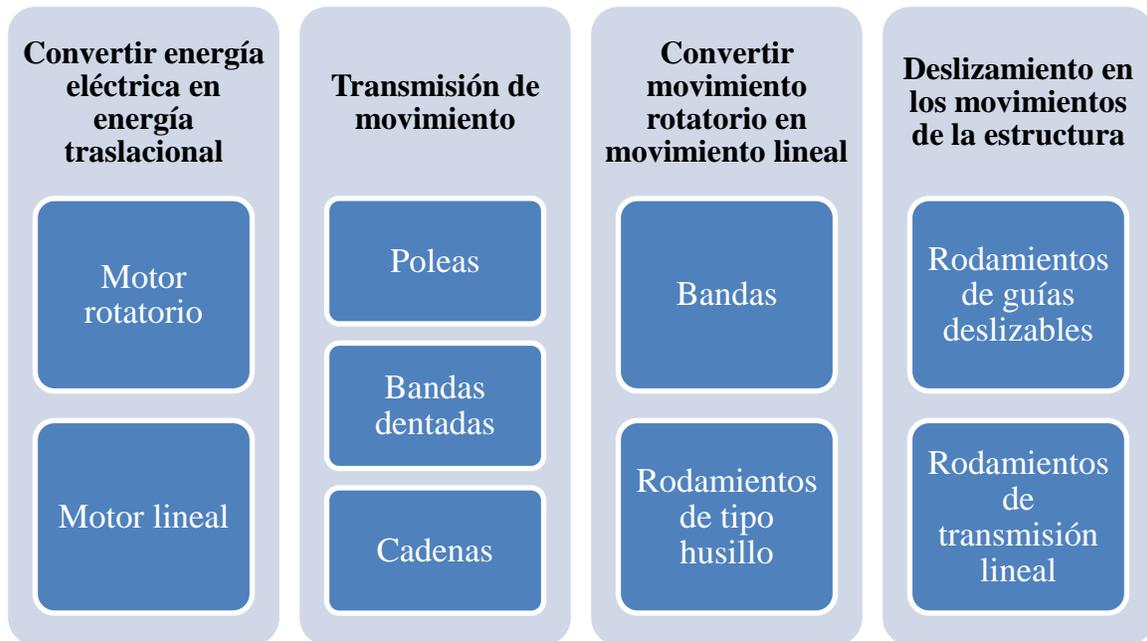
Las tablas de combinación de conceptos contienen una manera de considerar en forma sistemática combinaciones de fragmentos de solución, es decir, a partir de una división de funciones en el proyecto se pueden realizar diversas combinaciones para solucionar el problema, acotando y organizando el número de posibles soluciones.

Las columnas de las tablas de combinación de conceptos corresponden a los problemas identificados en el proyecto, las entradas de las columnas contienen las posibles soluciones para estos problemas.

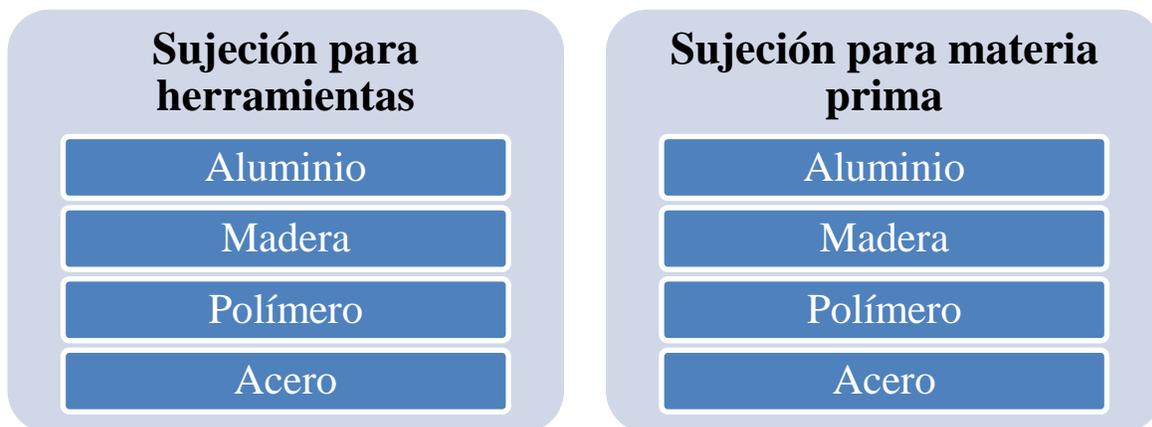
Un aspecto que se debe considerar en el uso de las tablas de combinación de conceptos es el desarrollo y refinamiento de las combinaciones de fragmentos antes de poder ser una

solución integrada. La tabla de combinación es solo una forma de hacer asociaciones para estimular el pensamiento creativo, de ninguna forma dará una solución completa.

**Tabla 2.8. Tabla de combinación de conceptos para la función de movimiento lineal de la Estructura para un Router CNC.**



**Tabla 2.9. Tabla de de combinación de conceptos para la función de sujeción de materia prima y herramientas para corte.**



Con el uso de las tablas 2.8 y 2.9 se acotaron las posibles soluciones, descartando las que realmente no cumplen con el objetivo del proyecto y también se considerarán unas cuantas alternativas para ser desarrolladas posteriormente.

## **2.4 SELECCIÓN DE CONCEPTO Y DISEÑO A DETALLE**

La selección de concepto es una actividad en la cual se tienen que depurar las posibles soluciones propuestas con anterioridad, afinando detalles para obtener un concepto final que cumpla con las expectativas de funcionalidad, en este proceso se evalúan los conceptos con respecto a las necesidades del cliente, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los conceptos. Para realizar esta actividad existen diferentes métodos que son utilizados con la finalidad de escoger un concepto, estos métodos pueden variar de acuerdo al diseñador o al equipo de trabajo, sin embargo, un método estructurado es la mejor opción para definir un concepto solución ya que ayuda a mantener la objetividad del concepto evitando la mayoría de las veces una elección basada en emociones.

Esta metodología está dividida en dos etapas para su selección: la primera consiste en un filtrado de conceptos y la segunda en una evaluación de conceptos, cada una apoyada en una matriz de decisión.

### **2.4.1 Filtrado de conceptos**

El filtrado es una evaluación rápida y aproximada que tiene por objetivo principal generar pocas alternativas viables, es decir, reducir rápidamente el número de conceptos y mejorarlos. Para llevar a cabo esta actividad se tiene que elaborar una matriz de selección en la cual se introducirán los conceptos y criterios relevantes, estos criterios son seleccionados de las necesidades del cliente.

Un aspecto importante en la tabla de filtrado de conceptos son:

1. Un concepto referencia y
2. La forma de evaluar los conceptos propuestos.

El concepto referencia es tomado de la investigación realizada en el benchmarking, el cual será seleccionado según aquel que sea el más próximo a cumplir las necesidades del cliente. La forma de evaluación de los conceptos está determinada por una comparación entre el concepto referencia y los conceptos propuestos, esta evaluación es relativa de: “mejor que”, “igual a” o “peor que”, utilizando los símbolos (+), (0) y (-), respectivamente.

Una vez calificados los conceptos, se podrá definir entre descartar el concepto, seguir adelante con el concepto, revisar el concepto o combinarlos con otros conceptos.

La tabla siguiente muestra la matriz de selección de conceptos de la Estructura para un Router CNC (ER CNC).

**Tabla 2.10. Matriz de selección de conceptos de la ER CNC.**

Criterios de selección	Conceptos				
	A Estructura aluminio y rodamientos tipo husillo.	B Estructura de acero y bandas móviles.	C (Referencia) PCX MODELA	D Estructura de madera y bandas móviles.	E Estructura de aluminio, polímero y rodamientos tipo husillo.
Precisión en volvimientos de traslación.	0	-	0	-	-
Facilidad para montar y desmontar.	+	-	0	+	0
Facilidad y confiabilidad de sujeción de materia prima.	0	+	0	-	-
Facilidad de adaptación a diferentes tipos de herramientas manuales.	+	0	0	+	-
Durabilidad.	+	0	0	-	-
Peso	+	0	0	+	+
Facilidad de uso.	+	+	0	+	+
Facilidad de maquinado de metales no ferrosos.	+	+	0	-	-
Suma +	6	3	0	4	2
Suma 0	2	3	7	0	1
Suma -	0	2	0	4	5
Evaluación neta	6	1	0	0	-3
Lugar	1	2	3	3	4
¿Continuar?	SI	COMBINAR	COMBINAR	REVISAR	NO

Como se puede observar en la tabla número 2.10, los conceptos que tuvieron una mayor aceptación son el concepto A y el concepto B, mientras que el concepto D al tener una evaluación neutra se puede tomar para una revisión profunda en su funcionamiento y poder obtener algunas mejoras del mismo, pero el concepto E es descartado al tener un número negativo elevado en cuanto a los criterios de selección.

Ya que el concepto A tiene la calificación más alta, este será tomado con mayor seriedad para el desarrollo de un prototipo, realizar modificaciones y posteriormente pruebas de funcionamiento.

#### **2.4.2 Evaluación de conceptos**

La evaluación de conceptos es utilizada para determinar una solución más aceptable y así lograr una mejor diferencia entre cada concepto que compite por ser el adecuado para cumplir con los objetivos de funcionamiento. Esta actividad es determinada mediante la calificación de la suma ponderada en una matriz de evaluación de conceptos.

Los conceptos que son elegidos para el análisis son aquellos que previamente fueron refinados a partir de la matriz de filtrado de conceptos, también se pueden agregar más detalles a los criterios de selección.

Para realizar la evaluación ponderada se deben agregar a la matriz valores de importancia a cada uno de los criterios de selección, es decir, asignar 100 puntos porcentuales entre ellos, mientras que a cada concepto se le asigna una evaluación con respecto a un criterio, a diferencia de la matriz de filtrado, ahora la escala de evaluación tiene que ser más fina, esto para añadir una resolución adicional a la distinción entre conceptos. La evaluación a cada concepto se define como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2.11. Escala de desempeño relativo para la matriz de evaluación de conceptos.**

<b>Desempeño relativo</b>	<b>Calificación</b>
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Los puntos de referencia provienen de los conceptos a consideración del estudio comparativo de los productos existentes en el mercado (benchmarking) y del valor objetivo de las especificaciones del producto. La evaluación ponderada es calculada multiplicando las evaluaciones sin procesar por los valores de los criterios. Cada concepto recibe una evaluación correspondiente a su evaluación total.

De igual forma que la etapa de filtrado, el buscar cambios o combinaciones entre conceptos es el objetivo principal, ya que esta actividad es útil para definir la mejora de los mismos, pues en este proceso se puede dar cuenta de los puntos fuertes y débiles de cada uno de los conceptos, por otra parte, el concepto que logre la calificación más alta no necesariamente es aquel que resulte ser el producto final.

A continuación se presenta la tabla de evaluación de conceptos de la Estructura para un Router CNC.

**Tabla 2.12. Matriz de evaluación de conceptos de la ER CNC.**

		<b>Conceptos</b>					
		<b>A + Aluminio y rodamientos tipo husillo.</b>		<b>BC Acero y bandas móviles.</b>		<b>D + Madera y bandas móviles.</b>	
<b>Criterios de selección</b>	<b>Peso</b>	<b>Calif.</b>	<b>Evaluación ponderada</b>	<b>Calif.</b>	<b>Evaluación ponderada</b>	<b>Calif.</b>	<b>Evaluación ponderada</b>
<b>Precisión en movimientos de traslación.</b>	15%	4	0.6	3	0.45	2	0.3
<b>Facilidad para montar y desmontar.</b>	10%	3	0.3	3	0.3	4	0.4
<b>Facilidad y confiabilidad de sujeción de materia prima.</b>	15%	4	0.6	4	0.6	3	0.45
<b>Facilidad de adaptación a diferentes tipos de herramientas manuales.</b>	5%	4	0.2	2	0.2	4	0.2
<b>Durabilidad.</b>	10%	4	0.4	3	0.3	1	0.1
<b>Peso.</b>	10%	4	0.4	3	0.3	4	0.4

<b>Facilidad de uso.</b>	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
<b>Facilidad de maquinado de metales no ferrosos.</b>	20%	4	0.8	3	0.6	2	0.4
<b>Costo de manufactura (material y mano de obra).</b>	5%	2	0.1	3	0.15	4	0.2
	<b>Total</b>		<b>3.8</b>		<b>3.3</b>		<b>2.85</b>
	<b>Lugar</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>
	<b>¿Continuar?</b>		<b>Desarrollar</b>		<b>Analizar</b>		<b>No</b>

La mayoría de los criterios de selección son tomados de las necesidades del cliente, algunos de los aspectos incorporados en la tabla que no fueron definidos por los usuarios resultan ser de gran importancia para elaboración de un producto como lo son: la facilidad de manufactura, el costo de material del producto y el costo de manufactura, es por eso que son integrados en la matriz de evaluación.

## 2.5 PRUEBAS Y REFINAMIENTO

Una vez teniendo definido uno o dos conceptos solución, el siguiente paso de la metodología es realizar un prototipo para realizar pruebas de funcionamiento y comportamiento de los mismos.

Un prototipo es aquel que muestra una aproximación del producto en una o más dimensiones de interés, los cuales pueden clasificarse en:

- ✓ Prototipos físicos y
- ✓ Prototipos analíticos

Los prototipos físicos son aquellos que son tangibles, semejantes al producto, es decir, modelos que se ven y se sienten como el producto final, estos son usados principalmente para probar de forma rápida una idea. Los prototipos analíticos representa al producto en una forma no tangible, pero esto no implica que no se puedan realizar pruebas de funcionalidad, ya que generalmente son hechos con herramientas de cómputo donde se pueden analizar por medio de programación computacional para identificar aspectos

importantes, dado el caso del diseño asistido por computadora (CAD) en conjunto con las herramientas de la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE).

Básicamente un prototipo proporciona un aprendizaje al diseñador, pues a partir de estos se resuelven las dudas de funcionalidad y satisfacción de los requerimientos del cliente, ambas al mismo tiempo. Así mismo, mediante la elaboración de un prototipo se puede determinar si algún trabajo de desarrollo tendría que repetirse, esto proporciona la ventaja de ahorrar tiempo y dinero, factores realmente importantes dentro del proyecto.

Los capítulos siguientes describen la obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de las fuerzas de corte y la elaboración de los prototipos, en el capítulo número cuatro es definido el prototipo final, este es el resultado del trabajo obtenido con la metodología utilizada, mientras que en el capítulo número cinco se describe el desarrollo de las pruebas de funcionalidad mediante un análisis de elementos finitos a un prototipo previo y al prototipo final.

# CAPÍTULO 3

## SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y PARÁMETROS DE CORTE

Una vez realizadas las etapas que involucran el diseño a nivel sistema y haber elegido de entre un número de conceptos propuestos en el capítulo anterior, a continuación se describe el proceso para la selección de la herramienta de corte adecuada para llevar a cabo el proceso de maquinado con el router manual, además, también se desglosan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las fuerzas de corte, las cuales son necesarias para realizar el análisis de elementos finitos.

La selección adecuada de la herramienta de corte para cada tipo de maquinado es un factor importante para el correcto funcionamiento de la máquina-herramienta, de esto también depende la calidad y precisión de la pieza de trabajo. En esta selección debemos considerar principalmente el tipo de material con el cual se trabajara y el tipo de sujeción entre la herramienta de corte y la máquina-herramienta. En el mercado existen diversos tipos de herramientas para diferentes materiales y diferentes aplicaciones.

El diseño del router CNC debe tener la capacidad para maquinar madera, algunos polímeros como los son acrílico y nylamid, y además metales no ferrosos como el aluminio, y así

poder cumplir con los requerimientos del diseño, todo esto depende en gran parte del tipo de router y la herramienta que se utilizaran para cada material.

### **3.1 TIPOS DE ROUTER**

Como se había mencionado en el capítulo uno, un router manual tiene como función principal desbastar material con movimientos giratorios parecido a una fresadora vertical, solo que de menor tamaño y su potencia es mucho menor.

Existen diferentes marcas y tipos de routers o rebajadoras en el mercado, la gran mayoría son utilizados en la industria carpintera, esto debido a su fácil funcionamiento y a las necesidades que puede llegar a satisfacer. Un inconveniente que se puede presentar al utilizar un router de este tipo es la precisión, ya que son herramientas de uso manual que dependen de la destreza y habilidad de la persona que lo maneja.

Los routers pueden ser clasificados en tres categorías:

- Router compacto, que tienen una potencia que va de los  $\frac{3}{4}$  de HP hasta  $1 \frac{1}{4}$  HP
- Router de tamaño medio, que tienen una potencia de  $1 \frac{3}{4}$  a  $2 \frac{1}{4}$  de HP
- Router de producción el cual cuenta con una potencia de hasta  $3 \frac{1}{4}$  HP

En la figura 3.1 se pueden observar algunos modelos de routers comerciales de diferentes tamaños, potencia y capacidad.



**Figura 3.1. Diferentes tipos de routers manuales. Imagen de *Hecho por Nosotros Mismos 2010*, tomada del sitio: <http://img816.imageshack.us/img816/9380/img4783.jpg>, (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

Dependiendo el modelo, cada uno proporciona diferentes revoluciones por minuto, ya sea de carácter fijo o variable, esto por medio de velocidades. Estas revoluciones van de las 5000 a las 22000 [RPM]. A continuación se muestran en la tabla 3.1 las especificaciones de 4 modelos diferentes de routers, los cuales fueron seleccionados según su potencia, eficiencia y velocidad de rotación de cada uno [3.1], [3.2], [3.3].

**Tabla 3.1. Especificaciones de 4 routers de diferentes capacidades.**

Modelo Router	Potencia [HP]	Velocidad de rotación del husillo [RPM]	Ajuste de profundidad [mm]	Peso [kg]	Ajustador del husillo [mm]
Router Makita RP1800	3 ¼	22000	0 - 70	6	12.7
Router Dewalt DW618	2 ¼	8000 - 22000	0 - 60	3.3	6.35 – 12.7
Router Porter Cable 892	2 ¼	10000 - 22000	0 - 70	4	6.35 – 12.7
Router Makita RP2301FC	3 ¼	9000 - 22000	0 - 70	6.1	12.7

### 3.2 HERRAMIENTAS DE CORTE

Existe una extensa variedad de herramientas de corte en el mercado para distintas máquinas-herramienta, las cuales se pueden clasificar de diversas formas, por ejemplo: según el tipo material para maquinarse, tamaño, material con el que están hechas y muchas otras características particulares. Específicamente, las herramientas para fresadoras pueden ser clasificadas según el tipo de corte que se desee trabajar, ya sea careado, refrentado, desbaste, entre otras. Las herramientas para los routers manuales están diseñadas para cortar maderas, sin embargo, los routers cuentan con un husillo al cual se le pueden adaptar herramientas de zanco recto, esto permite que se le puedan acoplar otro tipo de herramientas de corte como lo son las fresas de vástago. En la figura 3.2 se muestran diferentes tipos de herramientas de corte para fresadoras, entre ellas: fresas cilíndricas de corte frontal, de sierra circular, de vástago, fresa para ranurar y fresas para corte periférico.

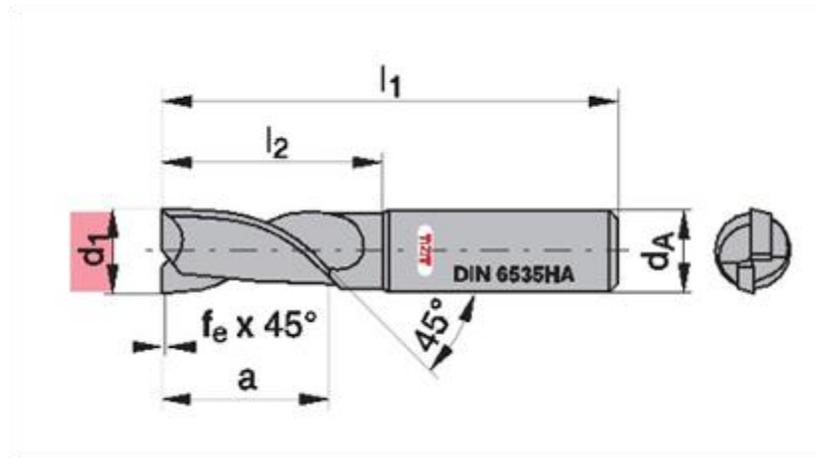


**Figura 3.2. Diversos tipos de herramientas de corte para fresado. Imagen de MAYKESTAG Industrial Cutting Tools, tomada del sitio: [http://www.alpenmaykestag.com/fileadmin/user\\_upload/images/hss-fraeser\\_05.jpg](http://www.alpenmaykestag.com/fileadmin/user_upload/images/hss-fraeser_05.jpg), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

Ya que dentro de las especificaciones del cliente está incluido el poder maquinar materiales como lo son polímeros, maderas y metales no ferrosos (aluminio concretamente), la selección de herramientas se reduce a un tipo en particular, además, las características de los routers manuales nos restringen el rango de herramientas que podemos utilizar, ya sea por la medida del husillo o por las velocidades de rotación del mismo.

Como ya se había mencionado, los routers comerciales están diseñados para maquinar materiales blandos, los cuales generan fuerzas de corte muy pequeñas, pero es preciso maquinarlos a altas velocidades, lo mismo pasa con los materiales no ferrosos, es por eso que la selección se realizó con herramientas que cumplan con estas características.

Para realizar el análisis de los parámetros de corte se revisaron diferentes catálogos de herramientas, tanto para metales como el aluminio, así como también para madera y polímeros [3.4], [3.5], las especificaciones de la herramienta de corte seleccionada se pueden observar en la tabla 3.2 [3.6].



**Figura 3.3. Características geométricas de herramientas de corte para fresado.**  
Imagen tomada de *PLANSEE TIZIT Cutting Tools*, Catalogo HSC High Performance, pp. 26, 2010.

**Tabla 3.2. Especificaciones de la herramienta de corte de la figura 3.3.**

Descripción	$d_1$ [mm]	$l_1$ [mm]	$d_A$ [mm]	$a$ [mm]	$f_c \times 45^\circ$ [mm]	$n$
R216.33-12040-AC26U	12	83	12	22	0.1	2

Donde  $n$  es el número de filos que tiene la herramienta de corte.

### 3.3 PARÁMETROS DE CORTE

A continuación se presenta la metodología utilizada para el cálculo de las fuerzas de corte que actúan sobre la herramienta del Router [3.7].

#### 3.3.1 Planteamiento del Problema

Una vez seleccionada la herramienta de corte, se obtienen los parámetros de corte, esto con el fin de calcular las fuerzas que actúan sobre el cortador, es decir, las fuerzas de corte ( $F_C$ ).

Estas fuerzas de corte son transmitidas a la estructura de la máquina-herramienta por medio del mecanismo de sujeción del router. Las fuerzas de corte son importantes, ya que con estas se obtiene el comportamiento de toda la máquina-herramienta al ser aplicadas a los modelos CAD para realizar el análisis estructural de la misma.

Dentro del procedimiento para localizar las fuerzas de corte también se obtiene la potencia requerida, la cual es un dato importante para la selección apropiada del router manual.

### 3.3.2 Obtención de la Fuerza de Corte

El procedimiento a seguir para obtener la fuerza de corte inicia con el cálculo de la velocidad de corte  $V_c$ , ya que con el resultado de esta operación se pueden comparar las velocidades de corte a las que se debe maquinar un material y observar a cuantas revoluciones por minuto se debe trabajar. La velocidad de corte se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot N}{1000} \quad (3.1)$$

Con los datos obtenidos de la velocidad de corte se seleccionan las velocidades de rotación adecuadas en revoluciones por minuto [RPM], con las cuales trabajará la máquina y así poder calcular la velocidad de avance ( $v$ ), esta velocidad es aquella con la cual se desplaza la pieza de trabajo al ser maquinada y se obtiene con la ecuación 3.2.

$$v = f \cdot N \cdot n \quad (3.2)$$

La velocidad de avance es necesaria para obtener la velocidad de remoción o tasa de remoción de material ( $MRR$ ), la cual se define como el volumen de material removido por unidad de tiempo:

$$MRR = w \cdot d \cdot v \quad (3.3)$$

A partir de este valor, se calcula la potencia requerida para el proceso de corte ( $P_{req}$ ) con la siguiente expresión:

$$P_{req} = P_{uni} \cdot MRR \quad (3.4)$$

Los valores de energía específica de maquinado o potencia unitaria se presentan en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Intervalo de requerimientos de energía o potencia unitaria en las operaciones de corte. Tabla de S. Kalpakjian, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 5ª edición, Prentice Hall, pp. 622, 2008.**

Material	Energía específica o potencia unitaria	
	W·s/mm <sup>3</sup>	hp·min/pulg <sup>3</sup>
Aleación de aluminio	0.4 - 1	0.15 - 0.4
Hierros fundidos	1.1 - 5.4	0.4 - 2
Aleaciones de cobre	1.4 - 3.2	0.5 - 1.2
Aleaciones de alta temperatura	3.2 - 8	1.2 - 3
Aleaciones de magnesio	0.3 - 0.6	0.1 - 1.2
Aleaciones de níquel	4.8 - 6.7	1.8 - 2.5
Aleaciones refractarias	3 - 9	1.1 - 3.5
Aleaciones inoxidables	2 - 5	0.8 - 1.9
Aceros	2 - 9	0.7 - 3.4
Aleaciones de titanio	2 - 5	0.7 - 2

Una vez obtenida la potencia requerida se puede calcular el torque requerido para maquinar al material ( $T$ ) con la siguiente expresión:

$$T = \frac{P_{req} \cdot 60}{2\pi \cdot N} \quad (3.5)$$

Finalmente la Fuerza de Corte se obtiene con la expresión 3.6:

$$F_C = \frac{T \cdot 2}{D} \quad (3.6)$$

Para calcular el tiempo de corte, el cual corresponde a una sola pasada transversal con cierta profundidad de corte se utiliza la siguiente fórmula:

$$t = \frac{l + l_c}{v} \quad (3.7)$$

Así pues, en este capítulo se describieron las características que debe tener una herramienta de corte para poder ser utilizada en el proceso de maquinado de aluminio utilizando un router manual, además de mostrar el proceso para la obtención de las fuerzas de corte, estas formulas serán utilizadas en conjunto con los parámetros de la herramienta seleccionada y las características del router manual que se pretenda utilizar, todo esto para poder obtener los datos que serán aplicados al análisis de elementos finitos en los prototipos finales. En el capítulo número seis se muestran los resultados obtenido al utilizar las formulas mencionadas.

# **CAPITULO 4**

## **DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA**

Siguiendo los pasos de la metodología utilizada, a continuación se describe el diseño de cada uno de los sistemas en los cuales fue dividido el funcionamiento de la estructura. En capítulos anteriores se analizaron diferentes tipos de routers, herramientas de corte y conceptos solución, los cuales sirvieron para obtener el modelo descrito en este capítulo.

La estructura que soporta al sistema Router CNC consta de 4 sistemas, los cuales desarrollan 3 funciones principales, la primera de ellas consiste en sujetar la materia prima evitando el movimiento de la misma al entrar en contacto con la herramienta de corte. La segunda función es proporcionar los movimientos en los 3 ejes coordenados, “X”, “Y” y “Z” en conjunto con el sistema de deslizamiento lineal. La tercera y última consiste en sujetar la máquina de corte, que en este caso es un router manual, que a su vez también se le pueden ser acopladas otras herramientas manuales.

Las especificaciones mencionadas en el capítulo número 2 se tienen que satisfacer para el óptimo funcionamiento de la máquina-herramienta, a partir del análisis de mercado realizado (benchmarking) debe haber una optimización del producto comercial para garantizar un mayor rango de funcionalidad sobre los materiales a maquinar.

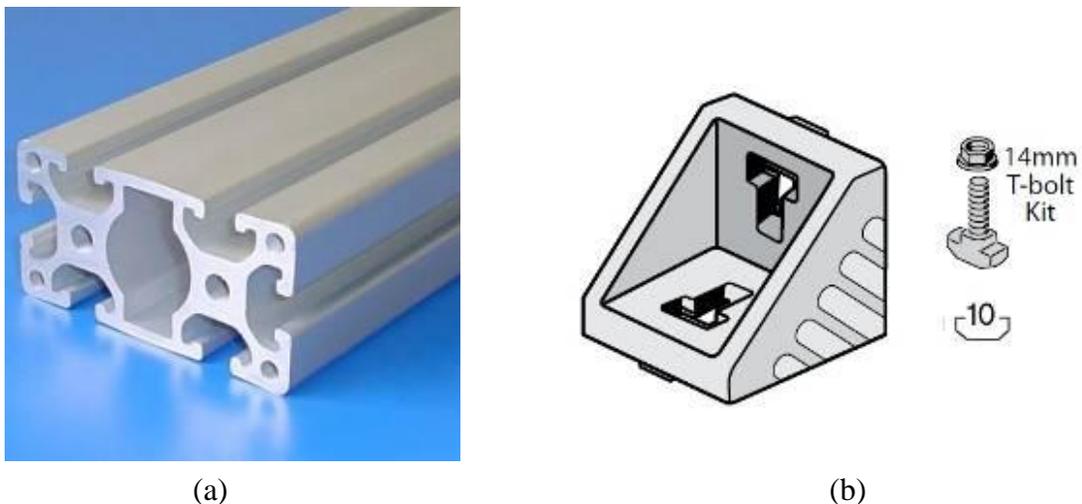
A continuación se presenta una descripción detallada del diseño final elegido de la combinación de los modelos propuestos en la metodología de diseño de la Estructura para un Router CNC y su funcionamiento.

#### 4.1 SISTEMA DE SUJECCIÓN PARA MATERIALES, MESA DE MAQUINADO

El diseño de esta estructura tiene como finalidad sostener a todo el sistema del router CNC, fijar los materiales a ella para poder maquetarlos y finalmente fungir como centro de masa de la máquina, ayudando a tener estabilidad a toda la estructura a la hora del proceso de maquinado.

Esta mesa se encuentra construida con 15 perfiles de aluminio de la serie *P-40X80* con una longitud de 2.40 [m] unidos en los extremos a dos placas de aluminio de 3 [mm] de espesor con cierta geometría, a las cuales se les da el nombre de “*extremos de la cama*”, cada una fijada a los perfiles de aluminio con tornillos allen de ¼ de pulgada.

La mesa cuenta con 4 patas hechas con perfiles de aluminio de la misma serie de los perfiles de la cama, con una longitud de 1.1 [m] fijados a la mesa con ángulos de unión diseñados especialmente para este tipo de perfiles (*Die-Cast Gussets serie 40x40*). En la figura 4.1 se presenta una imagen del perfil utilizado, así como también las piezas que sirven para ensamble de las patas [4.1] [4.2].

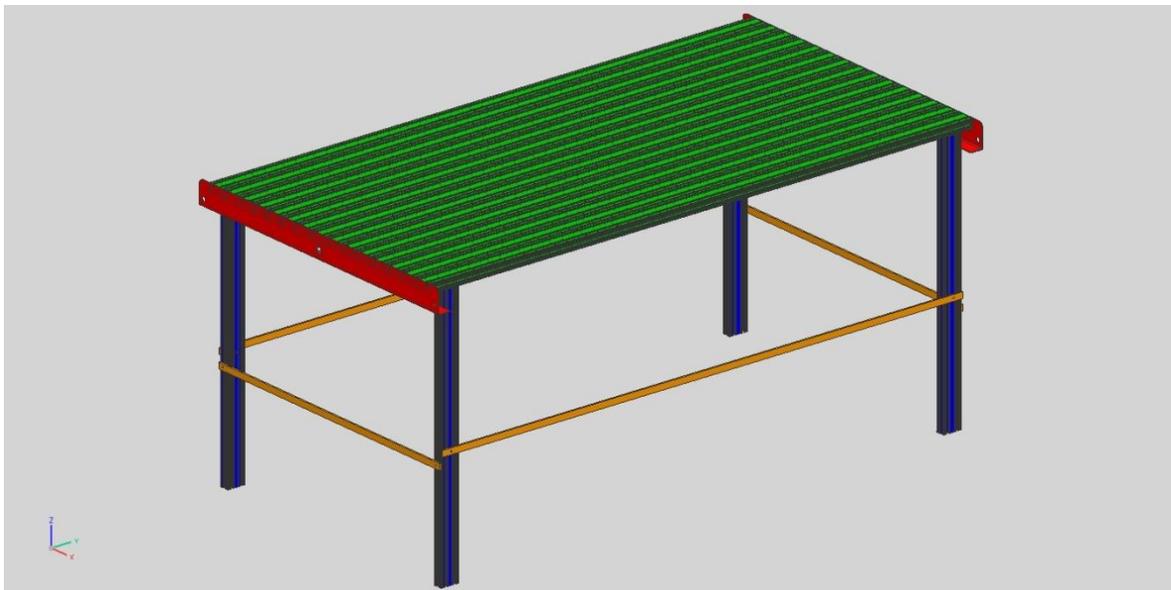


**Figura 4.1. (a) Perfil utilizado para la estructura de la mesa, (b) pieza angular de ensamble entre la mesa y las patas. Imágenes de Rexroth Bosch Group, *Aluminum Structural Framing System*, V. 7, pp. 100, 2011.**

Las patas de la mesa, están reforzadas con solera de aluminio de 4 [mm] de espesor, estas son utilizadas para garantizar la estabilidad en las patas de la estructura de la máquina.

La mesa está diseñada de tal forma que las características de los perfiles tengan la función de sujetar al material, ya que gracias a la geometría del perfil, a los tornillos utilizados en los ángulos de la pieza *Die-CastGussets* serie 40x40 (figura 4.1 b) y a un conjunto de tuercas de seguridad, se garantiza la fijación del materia empotrándolo a la mesa en sus cuatro extremos, evitando así que se llegue a mover.

En la figura 4.2 se muestra el ensamble de la mesa de corte.



**Figura 4.2. Mesa de sujeción de materiales y soporte principal.**

## **4.2 SISTEMA DE DESLIZAMIENTO Y SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LINEAL**

El sistema de deslizamiento en conjunto con el sistema de movimiento en los ejes “X”, “Y” y “Z”, permiten que la translación de la herramienta se lleve a cabo con precisión y que dichos movimientos lineales puedan ser transmitidos con un motor rotativo. Cada uno de los movimientos en las tres direcciones está constituido por una serie de subsistemas con diferentes componentes, que van desde pequeños rodamientos lineales y ejes maquinados

con una gran exactitud los cuales permiten el libre deslizamiento de los rodamientos, hasta piezas maquinadas por el equipo de trabajo, las cuales permiten el acoplamiento del sistema.

A continuación se describen cada uno de los mecanismos de movimiento en los tres ejes coordenados de translación.

#### 4.2.1 Sistema de movimiento en dirección “Y”

El movimiento del router manual en dirección horizontal “Y” implica básicamente el uso de dos sistemas de deslizamiento en conjunto con un tercero que proporciona el movimiento a lo largo de la dirección lineal. Para poder realizar la tarea de deslizamiento, los sistemas que se seleccionaron tienen solo la función de proporcionar el libre traslado del mecanismo en dicha dirección, a través de unas guías conocidas como ejes de rodamientos lineales. El primer sistema se encuentra constituido por un rodamiento particular, conocido como rodamiento de transmisión lineal, en conjunto con sus ejes circulares, mientras que el segundo sistema está formado por rodamientos lineales de bolas que se desplazan a lo largo de perfiles de acero inoxidable conocidos como guías deslizables (figura 4.3) [4.3].



**Figura 4.3. (a) Rodamientos de transmisión lineal. (b) Rodamientos lineales de bolas con perfiles deslizables. Imágenes de SKF Rodamientos, tomadas del sitio: [www.skf.com](http://www.skf.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

Los ejes circulares están ubicadas a los costados de la mesa de sujeción de materiales y están fijadas a las mismas placas de acero inoxidable que sirven para unir la mesa (los extremos de la cama), los rodamientos lineales de bolas están alojados en pequeños cubos de aluminio maquinados de tal forma que se acoplen a los mismos, permitiendo a los rodamientos trasladarse a lo largo de los ejes circulares.

El segundo sistema de deslizamiento se encuentra debajo de la mesa de corte, las guías deslizables están fijadas a dos perfiles de aluminio de la mesa de corte, mientras que los rodamientos deslizantes planos son acoplados a un puente, el cual une a los 2 sistemas de deslizamiento. El sistema de guías deslizables también tiene la función de ayudar a sostener el carro que contiene a los sistemas de movimiento en “X” y en “Z”.

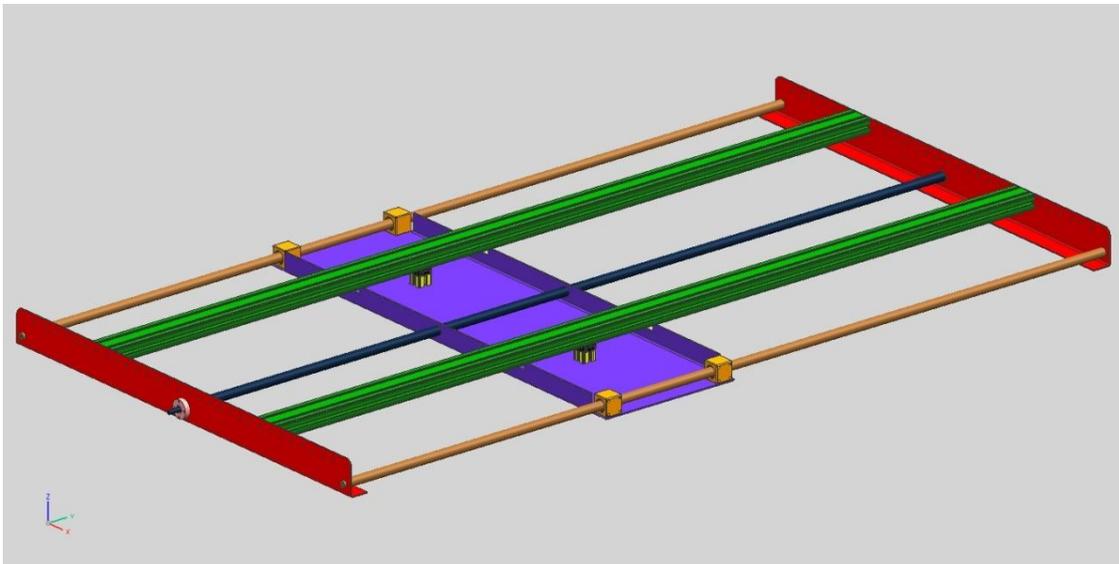
La parte inferior de las cajas de los rodamientos de transmisión lineal están fijadas a una lamina doblada de acero de 3 [mm] de espesor que lleva por nombre “*puente de unión*”, esta lamina cumple con tres funciones, la primera es unir las cuatro cajas de los rodamientos entre sí para poder ser deslizadas en conjunto, es decir, dos cajas en cada extremo del puente. La segunda función es sujetar a los rodamientos lineales de bolas con pequeños tramos de perfil cuadrado de aluminio de 31 [mm] de longitud, estos rodamientos se encuentran alineados a las guías deslizables del segundo sistema de deslizamiento. Finalmente, la tercera función consiste en alojar al rodamiento tipo husillo, el cual proporciona el movimiento lineal a través de un tornillo sinfín.

Para poder proporcionar el movimiento lineal a través de un motor, en el centro del sistema se encuentra colocado un tornillo sinfín de aplicaciones especiales para maquinas de control numérico (Figura 4.4), el cual es sujetado en sus extremos a las piezas conocidas como extremos de la cama por medio de rodamientos de contacto angular, estos fueron seleccionados debido a la cambio del movimiento radial que proporciona el motor sobre el sinfín que moverá al sistema provocando una serie de esfuerzos sobre los rodamientos. Los rodamientos de contacto angular se encuentran alojados en cajas circulares maquinadas de tal forma que puedan ser fijadas mediante tornillos allen.



**Figura 4.4. Tornillo lineal de bolas y su tornillo sinfín serie V1, NSK. Imagen de *SKF Rodamientos*, tomadas del sitio: [www.skf.com](http://www.skf.com), (Fecha de actualización: 17 de octubre de 2012).**

Finalmente, en un extremo del eje sinfín se encuentra colocado un piñón en dónde será acoplada la banda dentada que unirá al motor con el sistema. En la figura 4.5 se muestra el ensamble del sistema de desplazamiento lineal en dirección “Y”.



**Figura 4.5. Ensamble del sistema de movimiento en el eje “Y”.**

#### 4.2.2 Sistema de movimiento en dirección “X”

El desplazamiento del router manual en la dirección horizontal “X” es similar al desplazamiento en la dirección “Y”. El sistema cuenta con una serie de acoplamientos lineales los cuales garantizan el libre traslado del router en esta dirección, así como también una estabilidad al momento de realizar el maquinado, ya que sobre este mecanismo actúan indirectamente los esfuerzos de corte que son aplicados a la herramienta al encontrarse posicionado de forma perpendicular al corte.

El sistema de movimiento en “X” se encuentra unido al sistema de movimiento en “Y” por medio de dos placas de acero maquinadas de 8 [mm] de espesor llamadas “*piezas laterales*”, estas placas están ensambladas a las cajas cubicas de los rodamientos de transmisión lineal del sistema en “Y”, de tal forma que puedan conectar entre sí con ayuda del puente que une a cada uno de los extremos del mecanismo y así realizar un traslado en conjunto.

A cierta altura de estas placas se encuentran ensamblados 2 ejes de acero inoxidable, su función es servir de guías para cada uno de los juegos de rodamientos lineales (dos rodamientos en cada eje), los cuales se deslizan a lo largo de los mismos para poder realizar el traslado del carro. Los rodamientos lineales se encuentran alojados en cubos maquinados de aluminio similares a las cajas de los rodamientos en el sistema en “Y”, estos cubos se encuentran unidos entre sí por una placa maquinada en aluminio de 8 [mm] de espesor llamada “*placa soporte de rodamientos en X*”.

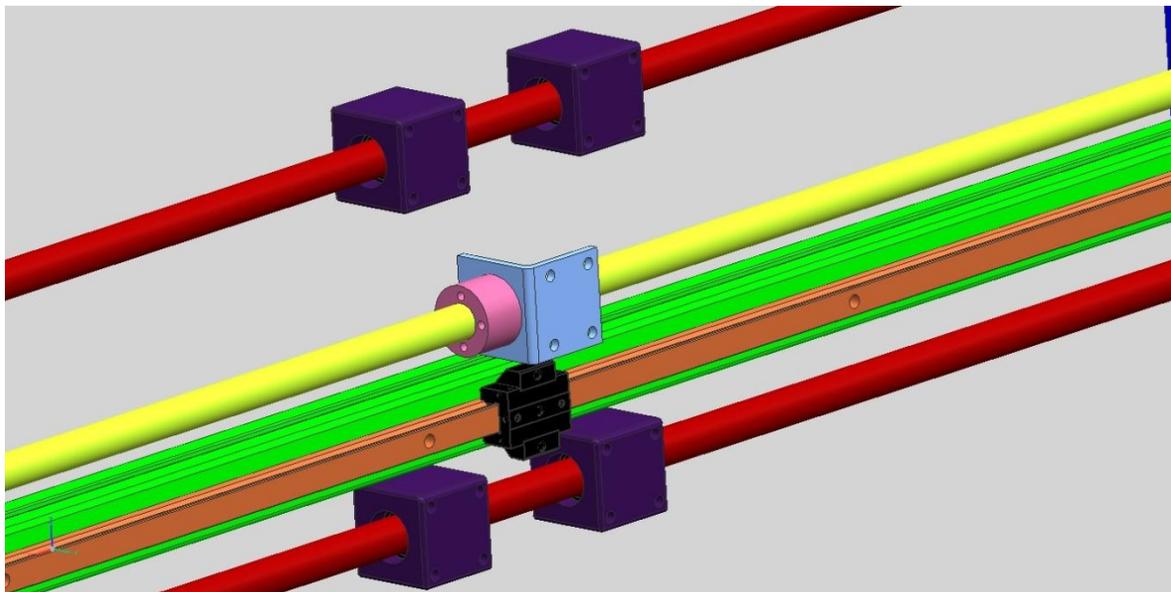
En la misma placa soporte, entre las cajas cubicas de los rodamientos, se encuentra atornillado un pequeño ángulo de aluminio, su función es fijar el rodamiento de bolas tipo husillo, que en conjunto con el tornillo sinfín convertirá el movimiento circular en movimiento lineal.

El tornillo sinfín se encuentra sostenido en los extremos en las placas laterales con rodamientos de carga axial, similares a los utilizados en el sistema de movimiento en “Y”, las cajas de los rodamientos están hechas con barras redondas de aluminio maquinadas las cuales se encuentran fijadas mediante tornillos allen.

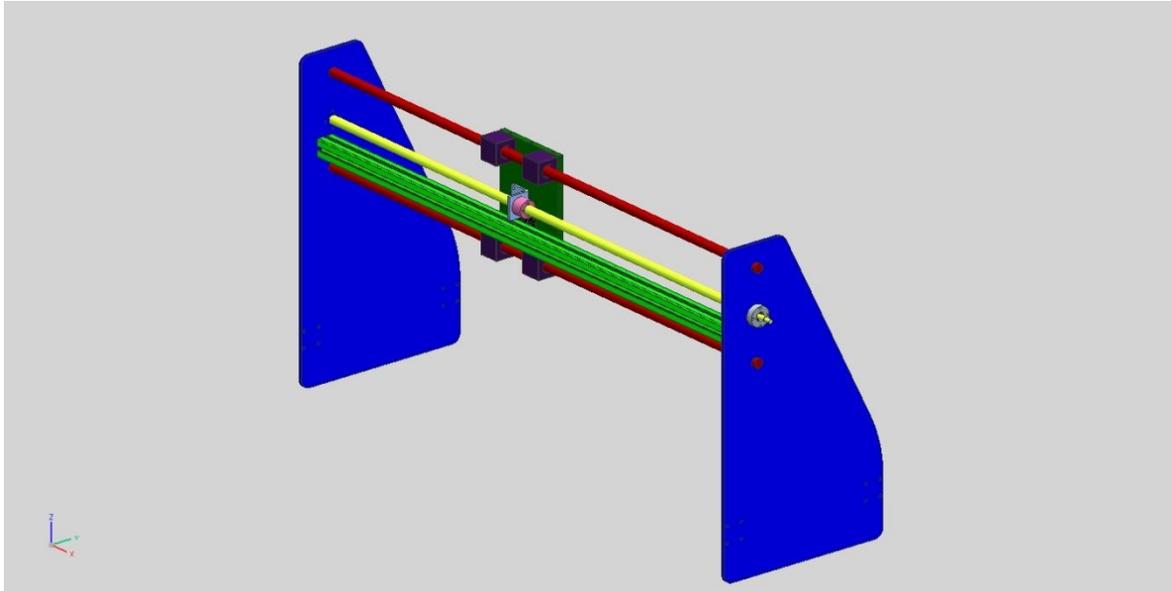
En un extremo del eje sinfín es colocado un piñón al cual se le colocará una banda dentada, la cual transmite el movimiento rotatorio procedente del motor.

Debajo del ángulo de aluminio, en la placa soporte de rodamientos en “X”, está fijado un rodamiento lineal de bolas, mientras que la guía deslizante se encuentra fijada a un perfil de aluminio *P-40X40*, este perfil se encuentra colocado de forma transversal paralelo a los ejes circulares deslizables de los rodamientos de transmisión lineal, sujetado en los extremos a las placas laterales, todo esto con el fin de contrarrestar las cargas perpendiculares que son aplicadas al cortador del router manual y son transmitidas a el sistema de movimiento en esta dirección.

En la figura 4.6 se observa la posición de los ejes que conforman el sistema de movimiento, así como los rodamientos lineales y la guía deslizante, mientras que en la figura 4.7 se muestra el ensamble completo del sistema de movimiento en dirección “X”.



**Figura 4.6. Posicionamiento de los rodillos de deslizamiento, los ejes guía y la guía deslizante.**



**Figura 4.7. Ensamble del sistema de movimiento en “X”.**

#### **4.2.3 Sistema de movimiento en dirección “Z”**

El sistema de movimiento en dirección “Z” se encuentra ensamblado directamente al router manual, este le proporciona un desplazamiento vertical y es el responsable de llevar a cabo la profundidad de corte en la pieza de trabajo, sin embargo, este sistema no cambia demasiado a comparación de los sistemas anteriores, ya que el principio de funcionamiento es prácticamente el mismo.

El sistema de movimiento en “Z” se une con el sistema de movimiento en “X” por medio de la placa de aluminio conocida como placa soporte de rodamientos en “X”, la cual como ya se menciono anteriormente une a todos los componentes del sistema de dicha dirección.

En la placa soporte de rodamientos en “X” se ensamblan dos placas de aluminio maquinadas de 8 [mm] de espesor, una en la parte superior y una en la parte inferior, las cuales se les dio el nombre de “*base superior de movimiento en Z*” y “*base inferior de movimiento en Z*”. Estas uniones se encuentran atornilladas con tornillos de tipo allen en los extremos inferior y superior.

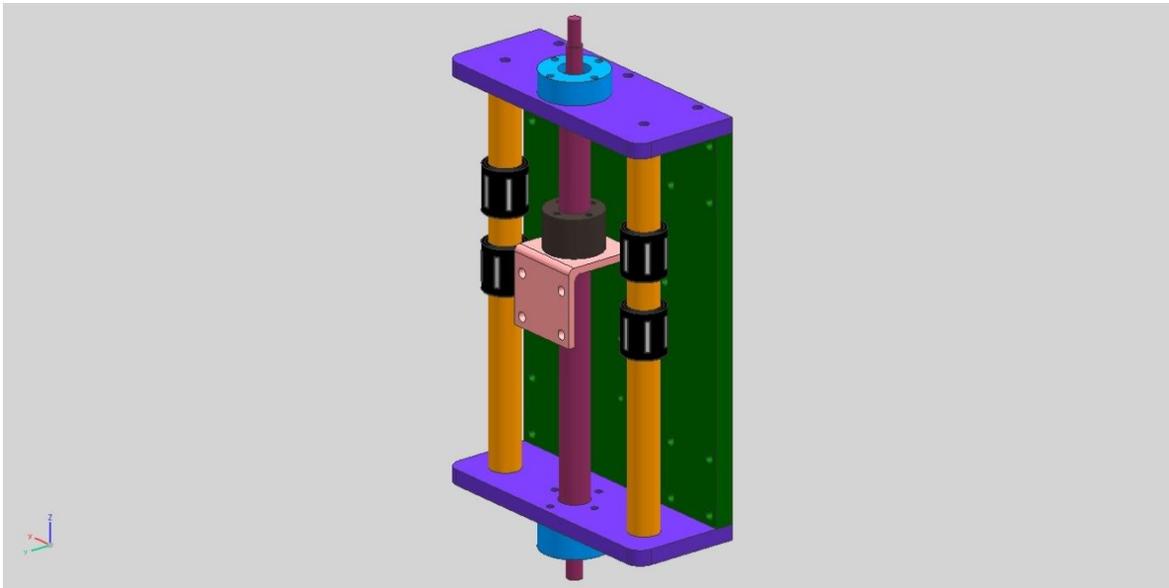
Entre las placas base inferior y superior se encuentran colocados dos ejes de acero inoxidable separados a cierta distancia, los cuales funcionan como guías para los rodamientos de transmisión lineal, estos rodamientos lineales se encuentran alojados en cubos maquinados de aluminio que sirven como caja, similares a los que se utilizaron para los sistemas anteriores, los cubos se encuentran perforados para poder ser atornillados a una nueva placa de aluminio de 10 [mm] de espesor, conocida como “*placa soporte del router*”, que tiene la función de sostener a otras placas las cuales fijan al router manual.

En medio de los dos ejes guías se localiza el tornillo sinfín, el cual se sujeta a las placas superior e inferior por medio de los rodamientos axiales. Los rodamientos axiales son alojados en pequeñas cajas circulares de aluminio maquinadas de tal forma que se atornillen a las placas de aluminio superior e inferior, este ensamble permite que el tornillo sinfín gire de forma libre.

Para que el tornillo sinfín transforme el movimiento giratorio en movimiento línea hacia el router, se incorpora un ángulo de aluminio, el cual es atornillado a la placa soporte del router, en este pequeño ángulo se encuentra fijado el rodamiento de bolas tipo husillo, el cual realiza el trabajo de desplazar al sistema de forma vertical.

En el extremo superior del tornillo sinfín es colocado un piñón al cual le es conectado una banda dentada, esta banda cumple con la función de transferir el movimiento rotatorio del motor al eje sinfín para poder realizar el desplazamiento lineal.

El ensamble del sistema de movimiento en “Z” sin las cajas de los rodamientos de transmisión lineal se puede observar en la figura 4.8, también se muestra la colocación del rodamiento tipo husillo en el ángulo de aluminio, y en los extremos del eje del centro se muestran las cajas de los rodamientos axiales.

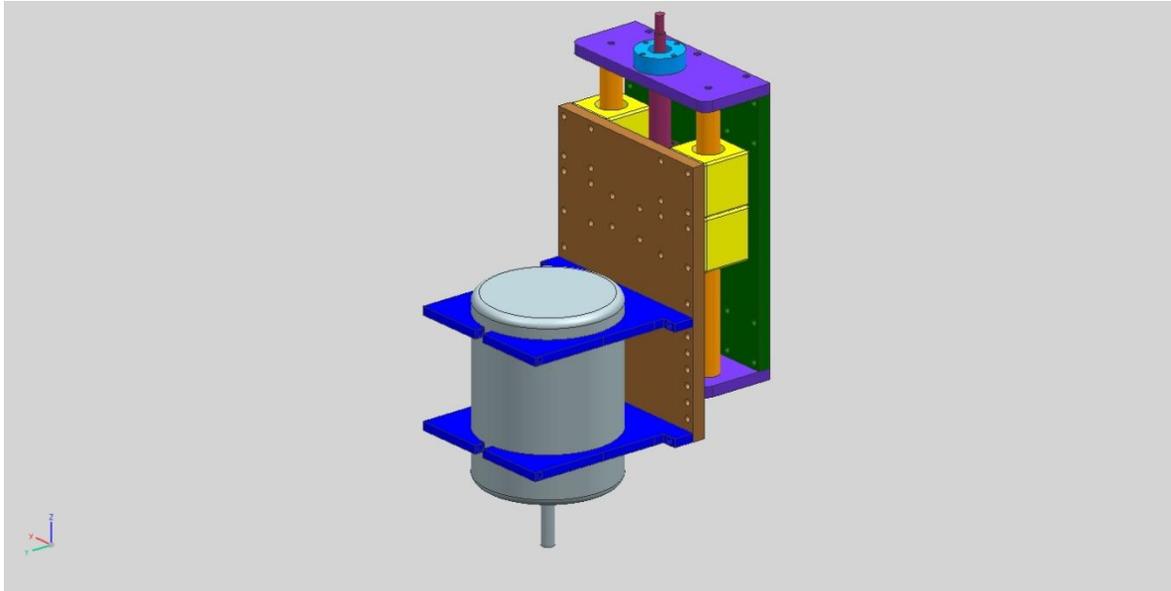


**Figura 4.8. Rodamientos lineales y ensamble de las placas de aluminio de 10 [mm] y 8 [mm] de espesor.**

### **4.3 SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA MÁQUINA DE CORTE**

Para poder fijar el router manual a la estructura, se realizaron pequeños orificios a la pieza conocida como placa soporte del router, estos orificios tiene la finalidad de poder fijar y cambiar de posición las piezas que sirven para sostener al router, estas piezas son maquinadas en placas de aluminio de 8 [mm] de espesor, las cuales se les dio nombre de “*placas de fijación del router*”, estas piezas tienen un orificio en el centro del mismo tamaño que el diámetro del router. El ajuste de las placas al router consiste en un acople tipo cinturón, el cual es apretado por medio de tonillos allen de 100 [mm] de largo que atraviesan las placas de fijación en su grosor.

En la figura 4.9 se puede observar el router montado en las placas de fijación y a su vez ensamblado al sistema de movimiento en “Z”.



**Figura 4.9. Ensamble del router al sistema de movimiento en dirección “Z”.**

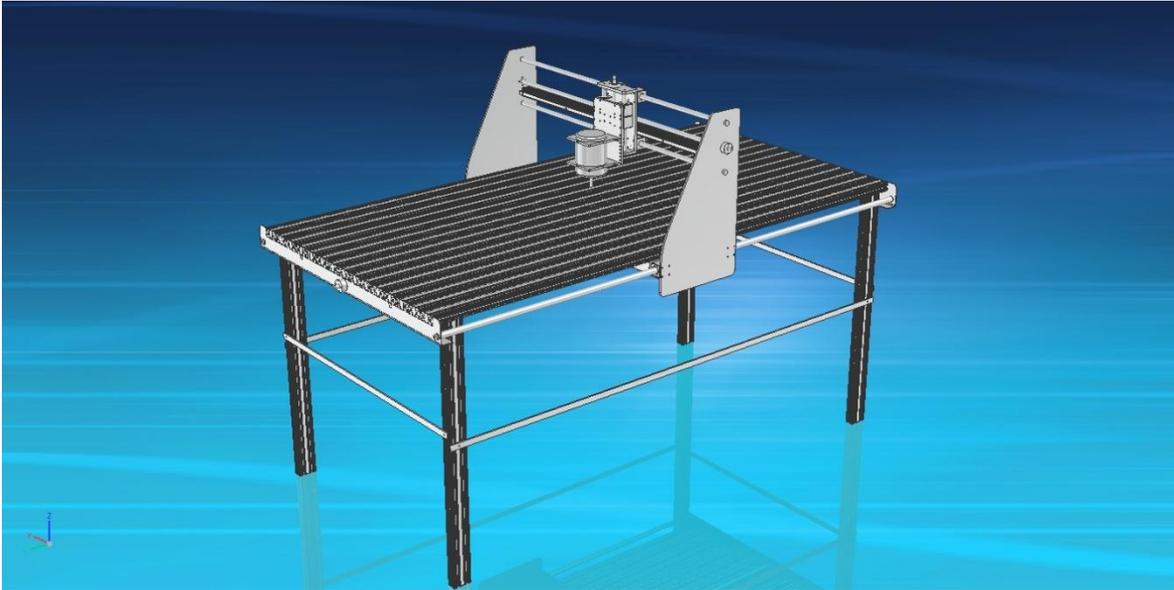
#### **4.4 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA**

Una de las características que tiene el diseño de esta estructura es el poder armar y desarmar intuitivamente cada uno de los componentes de la misma, para poder realizar esa tarea se seleccionaron componentes de unión que no fuesen complicados a la hora de ser utilizados y que las herramientas para manejarlos sean las más comunes, sin dejar a un lado la seguridad en las uniones, es por esto que toda la estructura se encuentra ensamblada con tonillos de tipo estándar y tipo allen así como también tuercas de seguridad para fijarlos y asegurar el ajuste adecuado para cada pieza.

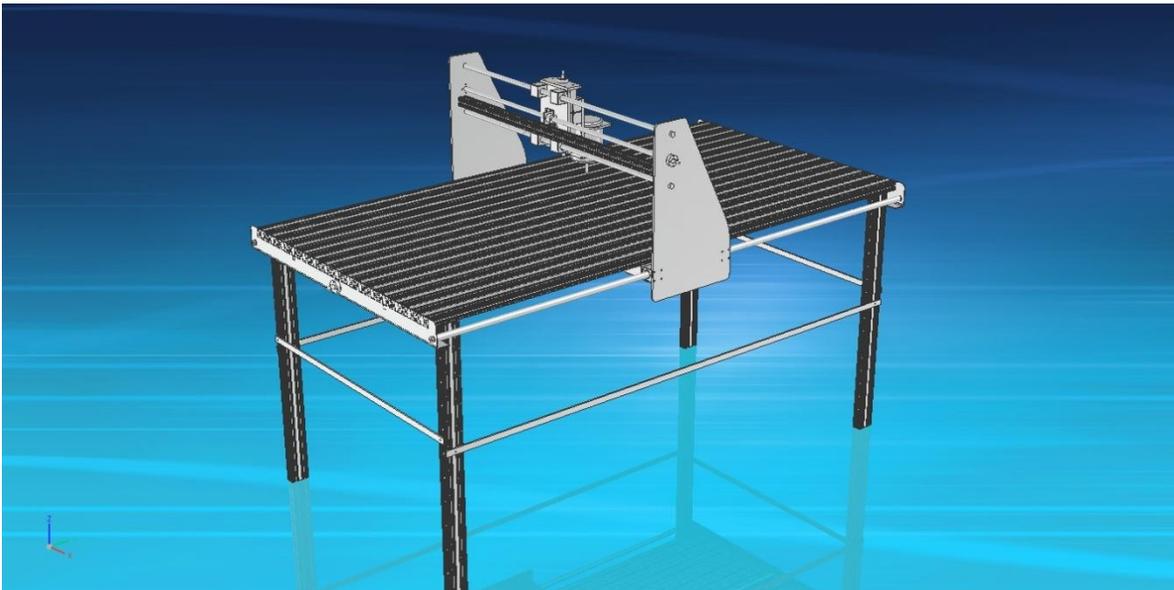
Dentro de las piezas que conforman la estructura existen piezas maquinadas, las cuales no tienen mayor complicación en su manufactura, sin embargo, estas piezas requieren ser hechas por personal capacitado. Otras piezas son proporcionadas por distribuidores con las características necesarias para ser ensambladas directamente en la máquina, como lo son: los diferentes tipos de rodamientos, los ejes para cada rodamiento y los perfiles de aluminio.

Finalmente, en la figura 4.10 y 4.11 se muestra el ensamble completo de los tres sistemas.

En el Apéndice A se presentan las características y medidas en los planos de las piezas que tienen mayor relevancia.



**Figura 4.10. Imagen frontal de la Estructura para un Router CNC.**



**Figura 4.11. Imagen trasera de la Estructura para un Router CNC.**

# **CAPITULO 5**

## **ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS SOBRE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES**

Una vez teniendo los modelos tridimensionales en el software CAD y habiendo descrito su funcionamiento y cada una de las partes que los conforman, a continuación se describen algunos aspectos de vital importancia para realizar el análisis de elementos finitos a los prototipos.

La Estructura del Router CNC se encuentra expuesta principalmente a dos tipos de esfuerzos de diferentes magnitudes y sentidos, los cuales son: los esfuerzos producto de la gravedad sobre la masa de los materiales y los esfuerzos debido a las cargas que actúan sobre la herramienta al momento de realizar un corte, cada uno de estos esfuerzos son trasladados a cada componente de forma indirecta, además, mientras más duro sea el material a remover o la profundidad del corte sea mayor los esfuerzos también se incrementarán y todo esto puede provocar que la máquina falle.

Como ya se menciona, un aspecto importante en este tipo de máquinas de gran tamaño es la masa, ya que al estar constituida por diversos componentes, la mayoría de ellos metales, el

peso se suma a la cantidad de fuerzas que actúan sobre el router manual y las cargas sobre los componentes estructurales incrementan.

A continuación se presenta la descripción de las pruebas de funcionalidad mediante un análisis de elementos finitos que se realizaron a los diseños seleccionados en la etapa de selección de conceptos dentro de la metodología de diseño.

## **5.1 JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS**

El realizar un análisis de elementos finitos a un primer diseño propuesto y al diseño del prototipo final tiene como objetivo principal observar el comportamiento estructural de la máquina al estar expuesto a los esfuerzos antes mencionados, es decir, observar los desplazamientos y el flujo de energía sobre el sistema. Con los resultados de este análisis se puede o no dar cabida a la construcción del producto final, iniciando por el proceso de manufactura de las piezas necesarias, después pasar al proceso de ensamblado y finalmente poder realizar diferentes pruebas a otros sistemas que conforman al router CNC.

Antes de realizar el análisis de elementos finitos al prototipo final se elaboró un primer diseño el cual cumple con las necesidades del cliente a partir de la metodología utilizada, esto para comprobar su funcionamiento a la hora de maquinar aluminio. Algunos modelos comerciales o sistemas hechos en casa aseguran poder maquinar aluminio sin ningún inconveniente pero no especifican las características para llevarlo a cabo, ya que la gran mayoría estos routers CNC son diseñados para trabajar maderas y polímeros, además de ser modelos pequeños, es decir, sistemas que cuentan con una mesa de maquinado de 1.5 por 1.5 metros de longitud, en donde solo se pueden fabricar piezas de pequeñas dimensiones, además de estar manufacturados con materiales que no proporcionan seguridad a la hora realizar el trabajo.

Otro de los aspectos a considerar en el primer análisis es poder observar si siguiendo el concepto de los diseños comerciales y caseros, por ejemplo, incrementando el tamaño de la mesa de maquinado, se puede cumplir con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente, además de observar en dónde podrían suscitarse problemas con el diseño en general, así como también se analiza cada una de las piezas de la estructura para tomar detalles de su comportamiento independiente.

El segundo análisis, realizado al prototipo final, se elabora específicamente para observar el comportamiento de la estructura con ciertas mejoras en primer diseño al realizar la operación de maquinado de aluminio, uno de los materiales que el cliente desea trabajar con esta máquina-herramienta, y así poder visualizar los desplazamientos y los esfuerzos de Von Mises de cada pieza al estar sometido a los diferentes tipos de esfuerzos.

Es importante señalar que ambos análisis se realizaron mediante un análisis estático de esfuerzos con modelos de materiales de comportamiento lineal, esto con la finalidad de optimizar el proceso del análisis, ya que los resultados que se desean obtener son básicamente el comportamiento de la estructura final según las condiciones extremas a las cuales se encontrara sometida la estructura.

Antes de describir el análisis aplicado a ambas estructuras realizadas, se presenta una breve introducción sobre la historia, evolución y características que involucra el realizar un análisis de elementos finitos.

## **5.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS (FEA)**

El uso de métodos numéricos para la resolución de problemas ingenieriles permite a los ingenieros expandir la capacidad para resolver problemas prácticos de diseño. El Análisis de Elementos Finitos, FEA (*Finite Element Analysis*) es un método numérico mediante el cual se pueden resolver problemas de flujo, por ejemplo, transferencia de calor, esfuerzos, deformaciones, vibraciones, flujo magnético, entre otros, ya que por medio de este método se resuelven un gran número de ecuaciones diferenciales las cuales sería casi imposible resolver sin la ayuda de una computadora.

Las ideas básicas sobre el análisis de elementos finitos se originaron en el año de 1941 gracias al avance en el análisis estructural de las aeronaves. En el año de 1943 *Richard Courant* un matemático alemán utilizó la interpolación polinomial sobre subregiones triangulares para modelar problemas de torsión. En el año de 1960 *Ray W. Clough* un Ingeniero Americano, fue el primero en emplear el término *Elemento Finito* en un documento en donde se estudiaba la rigidez y deformación de estructuras complejas. El primer libro sobre elemento finito fue publicado en el año de 1967 por *Zienkiewicz y Chung*. Finalmente en el año de 1970 se establecieron las bases matemáticas para la

resolución de problemas de elemento finito. Actualmente con el desarrollo de las computadoras se ha puesto al alcance de todo el mundo el uso del método de elementos finitos ya sea para investigación o en empresas que lo utilizan para el desarrollo de productos [5.1].

El método de elementos finitos consiste en dividir el cuerpo, superficie o dominio en pequeñas partes, cada una definida por ecuaciones que caracterizan el comportamiento físico del problema, estos subdominios no intersecantes entre si son denominados elementos finitos. Dentro de cada elemento existen ciertos puntos importantes llamados nodos, estos nodos se consideran adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito, de lo contrario puede pertenecer a otros elementos. Una serie de nodos, en donde se considera su adyacencia, le es conocida como malla, la malla es la principal fuente del análisis de elementos finitos, ya que sobre esta se realizan los cálculos para efectuar el análisis. Existen diferentes programas computacionales generadores de mallas, a este paso se le puede considerar como un pre-proceso al análisis de elementos finitos.

Las relaciones de adyacencia y conectividad entre nodos son relacionadas a un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo denominadas grados de libertad. Al conjunto de relaciones entre determinadas variables se puede describir mediante un sistema de ecuaciones lineales generando una matriz conocida como matriz de rigidez del sistema, el número de ecuaciones de este sistema es proporcional al número de nodos.

La forma usual de programar un problema mecánico en un ordenador, es calcular el campo de desplazamientos del sistema y posteriormente, a través de ecuaciones cinemáticas, poder obtener deformaciones y tensiones. Debido al uso de cálculos complejos y a la imposible obtención de resultados por medio de estudios prácticos que pueden llegar a costar tiempo y dinero, este proceso se realiza mediante una computadora, definitivamente el elemento finito es una alternativa práctica y segura de cálculo para resolver problemas ingenieriles [5.2].

### 5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El análisis de elementos finitos que se efectúa a las estructuras en estudio, está basado en el comportamiento de las mismas al estar sujetas a un proceso de corte de arranque de viruta similar al de una fresadora, el material que fue seleccionado para calcular las fuerzas de corte aplicadas al análisis es el aluminio, estas fuerzas fueron calculadas con las formulas presentadas en el capítulo número 3.

Como se mencionó previamente, las estructuras en estudio son 2, la segunda estructura lleva el nombre de “*Prototipo Final*”, la cual tiene sus bases en la estructura número uno llamada “*Prototipo Previo*”.

Es importante mencionar que para el realizar el análisis del *Prototipo Previo* no se tomó en cuenta la mesa de maquinado, diseñada con perfiles de aluminio, esto debido a que ningún otro componente actúa directamente sobre estas piezas, por otra parte, a los extremos de la cama de maquinado se les asigno una posición fija con cero grados de libertad ya que la mesa de maquinado les proporciona estabilidad al estar ensamblada directamente a las patas de la estructura, cayendo todo el peso de la misma sobre la cama y las patas.

Para el análisis del *Prototipo Final* si se consideró la cama de maquinado, ya que sobre esta se encuentran ensambladas las guías deslizables de los rodamientos lineales de bolas que a su vez se encuentran unidos al puente de unión sirviendo como un soporte más.

A continuación se describe paso a paso el procedimiento seguido para llevar a cabo ambos análisis a las estructuras mencionadas, iniciando con una descripción de los materiales utilizados, sus características y propiedades, posteriormente se definen el tipo de uniones en cada elemento de cada estructura, también se describe el tipo de mallado que fue utilizado en el pre-proceso y finalmente las fuerzas y las condiciones de frontera del análisis.

#### 5.3.1 Materiales utilizados

Las piezas de las estructuras a analizar están diseñadas con materiales similares, estos fueron escogidos a partir de un estudio de selección dentro de la metodología de diseño con la finalidad de llegar al prototipo óptimo para el cliente. El *Prototipo Previo* consta de 63 piezas, mientras que el *Prototipo Final* está conformado por 73 piezas, esto sin considerar

los componentes de ensamble, como lo son tornillos, turcas, rondanas y ángulos de unión para los perfiles de aluminio.

Saber las propiedades de los materiales con los cuales esta manufacturada cada pieza del sistema es un factor importante para llevar a cabo el análisis de elementos finitos, ya que el cálculo de este y otros métodos numéricos involucran propiedades como los son: el modulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y la densidad de cada uno de los materiales.

La mayoría de las piezas, si no es que todo el sistema estructural, se encuentra diseñada en aluminio, salvo los rodamientos que están hechos de acero inoxidable. Algunas de las características que se tomaron en cuenta para la realizar la selección de materiales son: que fuesen fácil de obtener y de maquinar, que fuesen resistentes a medio al cual estarán expuestos y que tuvieran cierta estética a la hora de ser ensamblados. A partir de una tabla de propiedades que proporciona el proveedor de cada material y comparándolas con la base de datos del software utilizado para realizar el análisis, las propiedades fueron asignadas a cada elemento de la estructura.

En la tabla 5.1 se muestra el tipo de materiales seleccionados para cada pieza maquinada o elemento que conforman a la estructura de ambos diseños, esto según las especificaciones del fabricante.

En la tabla 5.2 se describen las propiedades de los metales seleccionados para maquinar las piezas de los diseños.

**Tabla 5.1. Materiales que conforman las piezas de las estructuras a analizar.**

Material	Piezas			
Aluminio 1100H14	Extremos de la cama	Placas laterales	Placa soporte de rodamientos en eje X	Base superior de movimiento en Z
	Placa soporte del router	Puente de unión	Placa de fijación del router	Base inferior de movimiento en Z
Aluminio 6063-T6	Perfiles de aluminio serie P-40x80	Perfiles de aluminio serie P-40x40		
Aluminio 6061-T6	Cajas para rodamientos de transmisión lineal	Cajas para rodamientos axiales		
Aluminio 6063-T5	Ángulos para base de los rodamientos tipo husillo			
Acero Inoxidable AISI 302	Ejes circulares para rodamientos de transmisión lineal	Rodamientos de transmisión lineal	Ejes tipo sinfín para rodamientos tipo husillo	Rodamientos de bolas tipo husillo

**Tabla 5.2. Propiedades de los materiales utilizados en el diseño de las Estructuras para un Router CNC.**

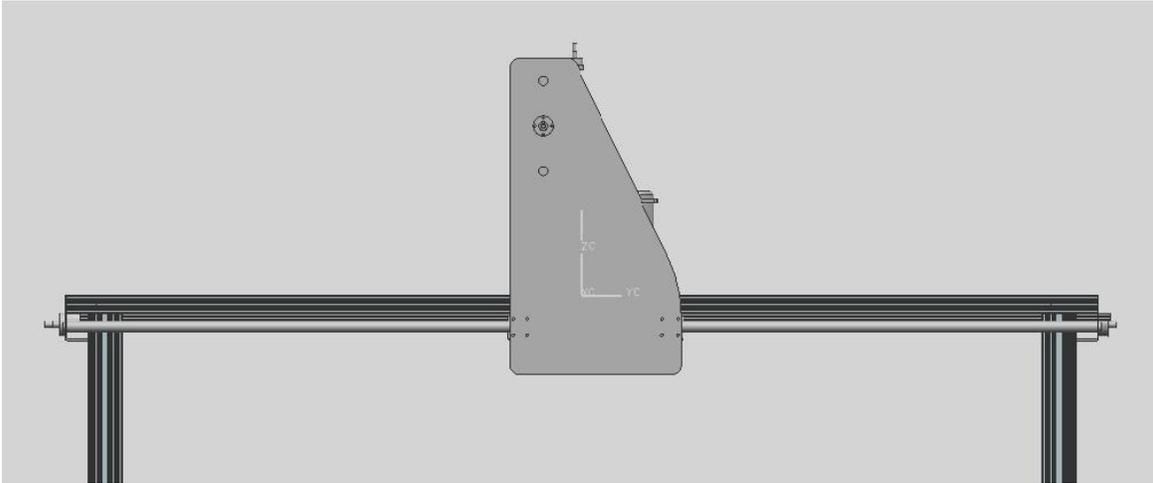
Material	Propiedades		
	Densidad $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$	Modulo de elasticidad [GP]	Coefficiente de Poisson [1]
Aluminio 1100H14	2714.47	69.64	0.36
Aluminio 6063-T6	2700	68.9	0.33
Aluminio 6061-T6	2700	68.9	0.33
Aluminio 6063-T5	2700	68.9	0.33
Acero Inoxidable AISI 302	7908.3	193.05	0.3

### 5.3.2 Posicionamiento y uniones de los componentes de la estructura

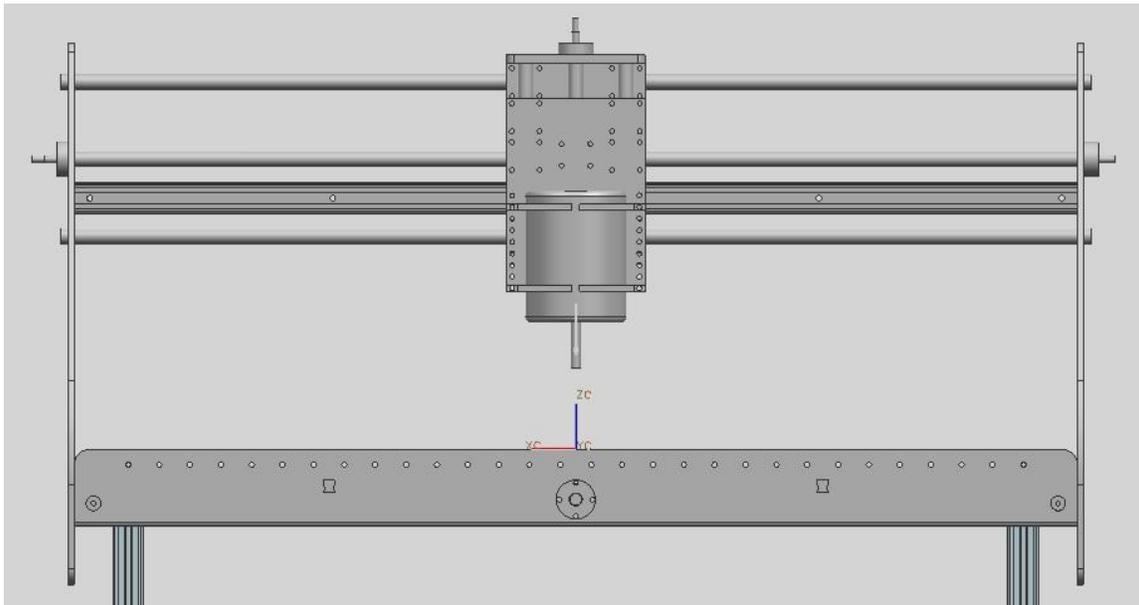
El análisis de elementos finitos que se realiza a ambas estructuras tiene la característica de ser un análisis estático de esfuerzos, sin embargo, la estructura no es del todo estática pues tiene movimientos en los tres ejes coordenados “X”, “Y” y “Z”, es por esto que dicho análisis es efectuado en la posición en donde la carga sobre los componentes de la estructura es mayor.

En el eje “Y” la posición en donde se concentra el esfuerzo estático máximo es cuando el centro de masa del carro que contiene al los sistemas de movimiento en “X” y en “Z” se encuentra alineado justamente a la mitad del eje en dirección “Y”. Para el eje en “X” la posición del esfuerzo estático máximo es a la mitad de su eje de deslizamiento, esto debido a que el sistema de deslizamiento en este eje en conjunto con el sistema de sujeción del router es simétrico. Debido a que el sistema de movimiento en dirección “Z” es el más cercano a la fuerza de corte que se produce en el contacto de la herramienta de corte y el material, el máximo esfuerzo estático ocurre cuando la profundidad de corte es mayor, es decir, cuando el desplazamiento en el sistema de movimiento en “Z” se encuentra en el límite de la posición en dirección negativa, esto provoca que la estructura pueda deformarse en la misma dirección en la que se efectúa el corte. Cabe mencionar que el diseño CAD fue realizado en la plataforma computacional *SIEMENS Unigraphics NX6* [5.3].

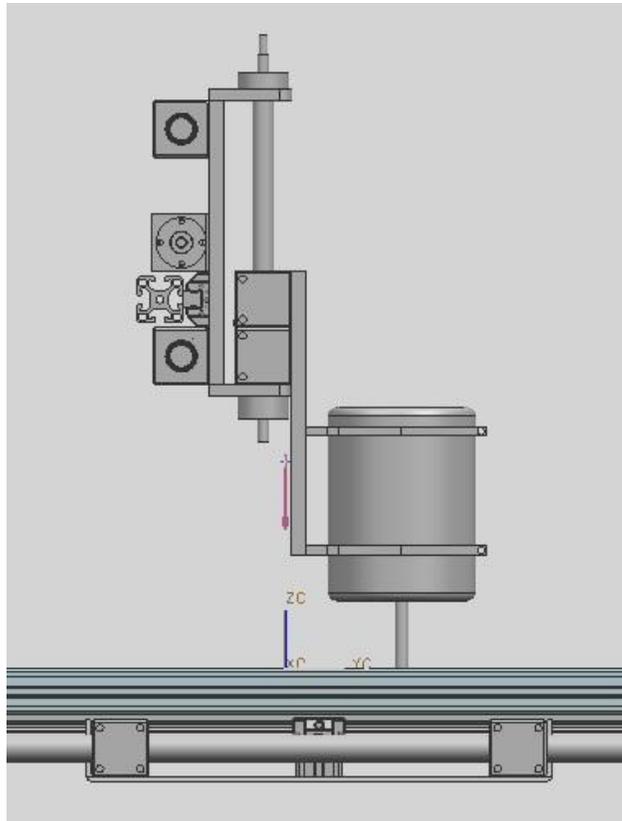
En las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 se ilustran las posiciones de cada sistema en donde se presenta el esfuerzo estático máximo.



**Figura 5.1. Posición del carro en dirección “Y” donde ocurre el esfuerzo estático máximo.**



**Figura 5.2. Posición del sistema de movimiento en dirección “X” donde se presenta el esfuerzo estático máximo. La flecha de color blanco muestra la posición del centro de masa del sistema de movimiento en dirección “Z”.**



**Figura 5.3. Posición del sistema de movimiento en dirección “Z” donde se presenta el esfuerzo estático máximo. La flecha en color rosa representa el centro de masa del sistema.**

La mayoría de los componentes de la estructura del router CNC están ensamblados mediante tornillos allen, tornillos métricos, tuercas de seguridad, rondanas y piezas especiales diseñadas para unir los perfiles de aluminio, es por esto que las uniones son consideradas como fijas, es decir, con cero grados de libertad, sin embargo, los mecanismos de deslizamiento dentro de la estructura se encuentran ensamblados de una forma particular, ya que estos deben estar en constante movimiento, por ejemplo, los rodamientos de transmisión lineal, los cuales son albergados en cajas cubicas, son ensamblados bajo presión, ya que cuentan con un doble diámetro en el anillo exterior, el primero es aquel que contiene a las bolas del rodamiento y el segundo está formado por pequeñas láminas flexibles de metal que al momento de introducir el rodamiento en la caja que lo contendrá estas láminas sirven para forzar al rodamiento a fijarse bajo presión.

El ensamble de los rodamientos axiales en sus respectivas cajas circulares, consiste en insertar los rodamientos en los huecos de las cajas las cuales tienen el volumen exacto para albergarlos, de tal forma que al ser atornilladas las cajas a las placas que los sujetan los rodamientos quedan dentro de ellas.

Los rodamientos lineales de bolas de guías deslizables no tienen ningún inconveniente en la forma de ser ensamblados, ya que estos rodamientos cuentan con pequeños orificios en los costados, los cuales les permiten ser fijados a cualquier superficie plana, en lo que se refiere a las guías deslizables, estas tienen orificios en el centro para poder ser ensambladas mediante tornillos de cabeza plana.

Los rodamientos de tipo husillo son fijados a las placas por medio de tornillos, ya que estos permanecerán fijos, mientras que los ejes de tipo sinfín son ensamblados por los extremos a la estructura mediante los rodamientos axiales, permitiendo así el libre giro que proviene de los motores.

Finalmente, el ensamble de la máquina de corte, en este caso el router manual, es fijado mediante las placas maquinadas con el diseño de un cinturón, de tal forma que a la hora de apretar las placas mediante un tornillo, el router se mantendrá en una posición fija.

### **5.3.3 Mallado de las estructuras**

El mallado de ambas estructuras fue realizado mediante el software *Autodesk Simulation Multiphysics 2012* [5.4], esta herramienta computacional permite además de aplicar el mallado a los cuerpos, realizar el análisis estático de esfuerzos, también cuenta con otras herramientas para trabajar con análisis de elementos finitos, por ejemplo, análisis térmicos, flujo de fluidos, transferencia de masa, entre otros.

El software dispone de diversas opciones para realizar el mallado, ya que según la complejidad de la superficie del cuerpo que se quiera analizar, el mallado tiene que ser más fino, regular o grueso. Otro aspecto importante a la hora de mallar es el tipo de mallado sólido, este puede ser tetraédrico, de bloques o combinado, ya que para describir mejor la geometría de las piezas es conveniente seleccionar una serie de elementos tetraédricos, sin

embargo, la cantidad de nodos será mayor y el cálculo necesitara de mayor tiempo para efectuarse, pero la precisión en los resultados es mucho mejor.

En las tablas 5.3 y 5.4 se describen las características del mallado en la estructura del *Prototipo Previo* y la estructura del *Prototipo Final* respectivamente.

**Tabla 5.3. Características del mallado de la estructura del *Prototipo Previo*.**

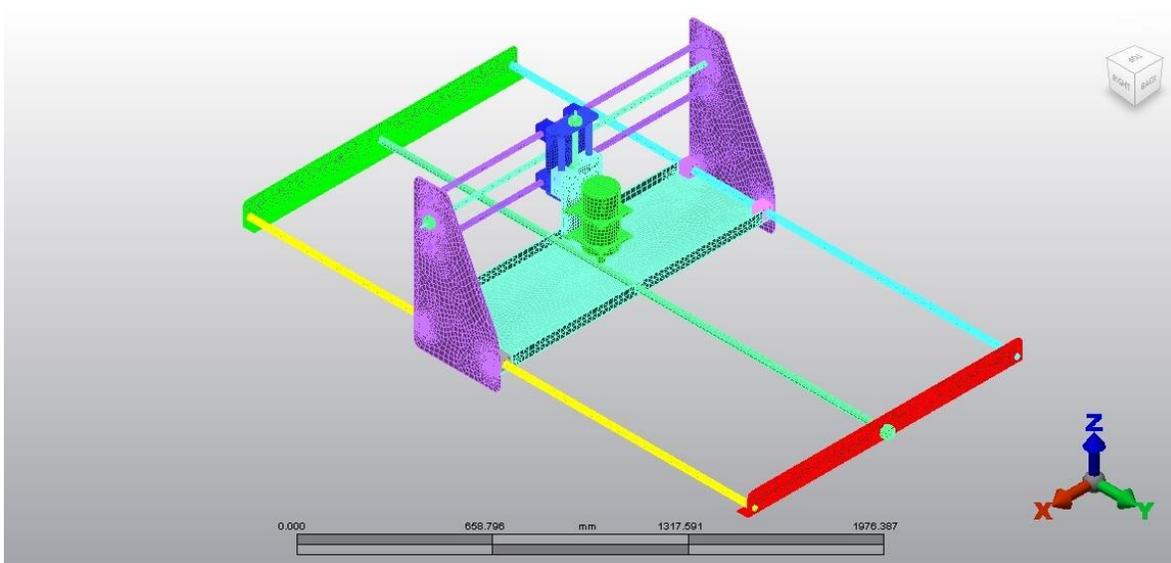
Tipo de elemento	Tetraédrico
Número de nodos	235,343
Número de elementos superficiales	123,805
Número de elementos sólidos	518,336
Número de piezas para el análisis	79

**Tabla 5.4. Características del mallado de la estructura del *Prototipo Final*.**

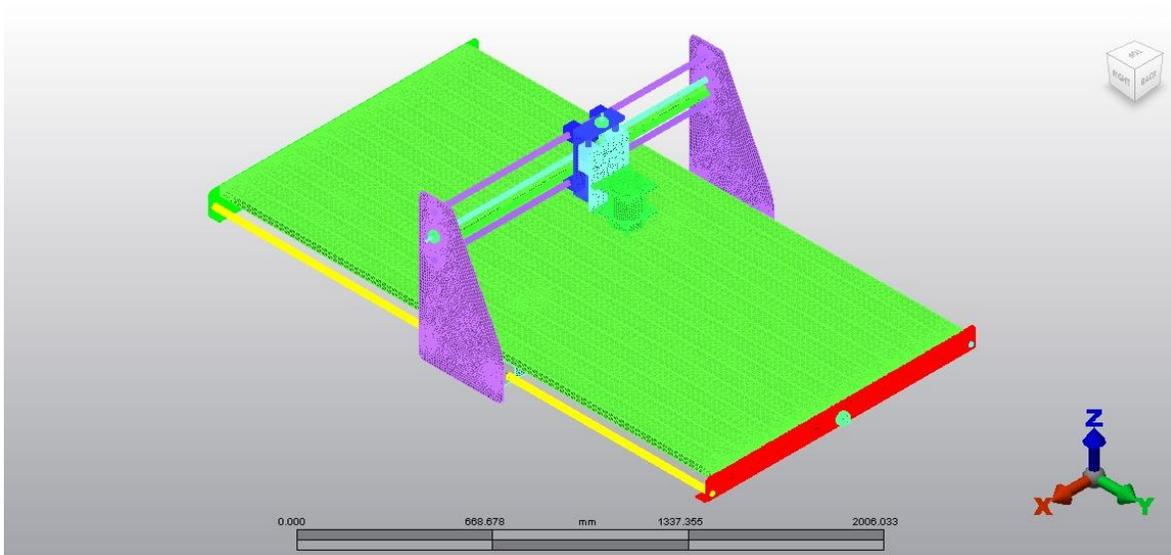
Tipo de elemento	Tetraédrico
Número de nodos	852,121
Número de elementos superficiales	432,148
Número de elementos sólidos	1,745,245
Número de piezas para el análisis	89

Debido al número de piezas de cada estructura, el número de elementos superficiales al igual que el número de elementos sólidos es mayor en el prototipo final, así como también se incrementa el número de nodos para analizar. El software también proporciona el número de operaciones realizadas para efectuar el cálculo del análisis, que para el *Prototipo Previo* fue de 698,997 operaciones mientras que para el *Prototipo Final* fue de 2,535,303, es por esto que el segundo análisis requirió un tiempo mayor para ser realizado.

Los mallados de ambas estructuras se muestran en las figuras 5.4 y 5.5, el software le asigna un color diferente a cada pieza de la estructura para poder distinguirlas, también se pueden observar las direcciones de los tres ejes coordenados.



**Figura 5.4.** Mallado del diseño del *Prototipo Previo*.



**Figura 5.5.** Mallado del diseño del *Prototipo Final*.

### **5.3.4 Cargas y condiciones de frontera**

Para poder realizar el análisis de elementos finitos a las dos estructuras se tiene que fijar la posición y la magnitud de las fuerzas que actúan sobre ellas, es por eso que a partir de los cálculos realizados con las formulas propuestas en el capítulo número tres, se obtuvieron diferentes valores de fuerzas de corte de las cuales fue seleccionada la fuerza máxima que puede soportar el proceso de corte al maquinar aluminio, la cual es aplicada al estudio del comportamiento de los diseños, estas fuerzas actúan sobre cierta área del cortador de la máquina de corte (el router manual), afectando así a todos los componentes de la estructura.

Otra de las fuerzas que actúa directamente sobre las piezas de las estructuras es fuerza de gravedad, la cual es aplicada a todos los componentes que las conforman, las estructuras son consideradas fijas en una sola posición y la gravedad es aplicada directamente al centro de masa del ensamble.

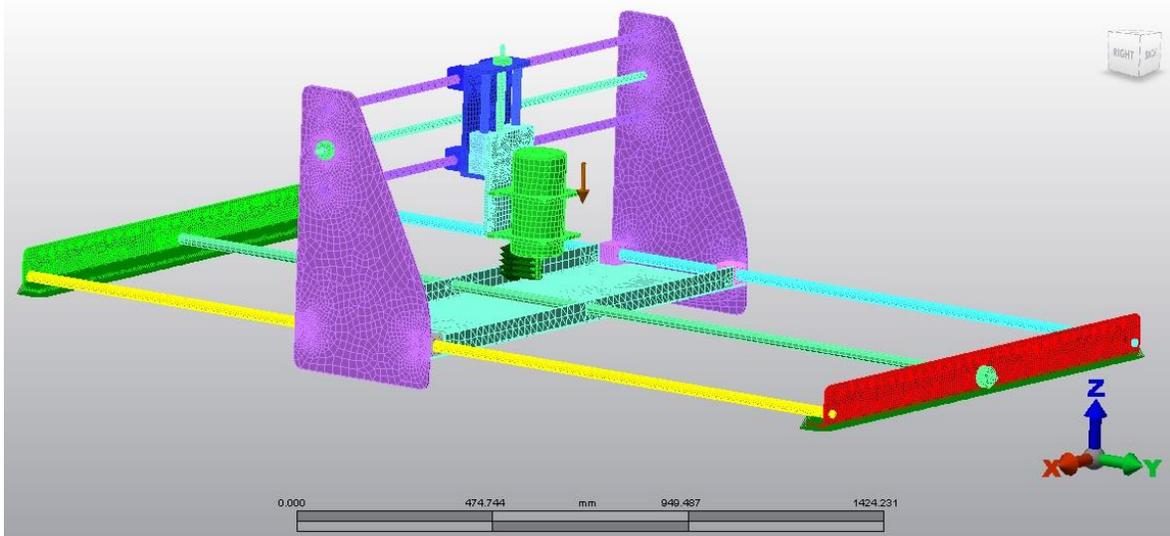
Un aspecto importante para efectuar el análisis de elementos finitos son las restricciones del sistema, es decir, las condiciones de frontera, es aquí donde se determinan las posiciones de ciertos nodos de los cuales se conoce su comportamiento y la posición en donde no habrá movimiento. Estas condiciones son asignadas a las piezas llamadas extremos de la cama, ya que la cama es el principal soporte de la estructura y cuenta con una gran rigidez gracias a los componentes de los cuales está constituida, los extremos solo se encuentran sometidos a la carga de los ejes circulares de los rodamientos de transmisión lineal, ya que las patas de la estructura se encuentran ensambladas directamente a la mesa de maquinado.

La tabla 5.3 describe las magnitudes y direcciones de las cargas aplicadas a las dos estructuras, así como las condiciones de frontera aplicadas.

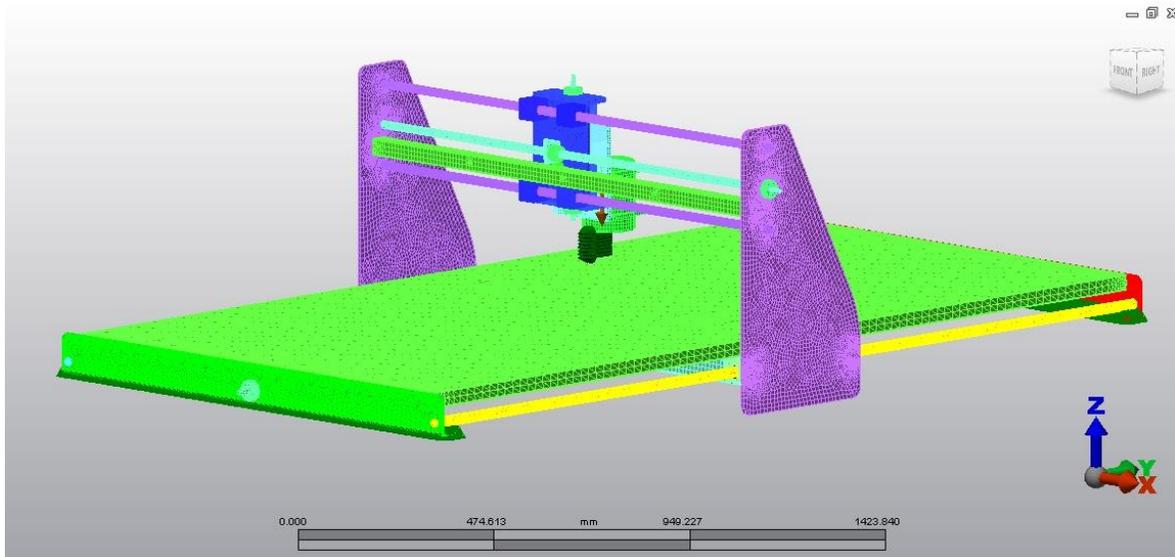
En la figura 5.6 y 5.7 se aprecian los esfuerzos aplicados a cada una de las estructuras, así como las condiciones de frontera.

**Tabla 5.5. Tipos de cargas y condiciones de frontera aplicadas a ambas estructuras en estudio.**

Cargas y restricciones	Características de las cargas y restricciones
Carga normal producto de la fuerza de corte sobre la herramienta de corte del router manual	40 [N] en la dirección “Y” negativa, a una distancia de 8 [mm] de profundidad de corte.
Fuerza de gravedad	9.814 [m/s <sup>2</sup> ] en dirección “Z” negativa, aplicada sobre el centro de masa de la estructura.
Condición de frontera aplicada sobre la superficie inferior de la pieza “ <i>extremo de la cama 1</i> ”	Posicionamiento fijo de la pieza en los nodos de la superficie inferior
Condición de frontera aplicada sobre la superficie inferior de la pieza “ <i>extremo de la cama 2</i> ”	Posicionamiento fijo de la pieza en los nodos de la superficie inferior



**Figura 5.6. Esfuerzos y condiciones de frontera aplicados a la estructura del *Prototipo Previo*.**



**Figura 5.7. Esfuerzos y condiciones de frontera aplicados a la estructura del *Prototipo Final*.**

Así pues, una vez definidos cada uno de los aspectos del pre-proceso para la elaboración del análisis de elementos finitos, los esfuerzos y condiciones de frontera, se puede dar inicio en el ordenador al análisis para realizar las pruebas de funcionalidad y observar el comportamiento de los sistemas de cada concepto seleccionado. En el capítulo número seis se muestran los resultados de este análisis.

# CAPÍTULO 6

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de las fuerzas de corte que actúan sobre el router manual, las cual fueron utilizadas para realizar los análisis de elementos finitos a ambos diseños, también se muestran los criterios para realizar la selección del router manual adecuado para la máquina-herramienta y finalmente los resultados de los análisis estructurales al *Prototipo Previo* y al *Prototipo Final*.

### 6.1 RESULTADOS DE LAS FUERZAS DE CORTE

Las ecuaciones descritas en el capítulo número tres fueron utilizadas para encontrar los parámetros de corte del router manual con una herramienta para maquinar aluminio, algunos de los parámetros que se obtuvieron son:

- ✓ Velocidad de remoción de material
- ✓ Potencia requerida para maquinar el material
- ✓ Torque del husillo del cortador
- ✓ Fuerza de corte

Estos resultados sirven para la obtención del motor adecuado que genera el giro del husillo, es decir, el router manual, ya que puede llegar a faltar potencia o el router puede quedar sobrado para los fines de la máquina.

Los resultados de los cálculos se obtuvieron utilizando los parámetros de la herramienta de corte recomendados por el fabricante, estos parámetros pertenecen a una herramienta de la marca *SANDVIK* con el código *R216.33-12040-AC26U*. En la tabla 6.1 se muestran las características de la herramienta así como sus recomendaciones de uso.

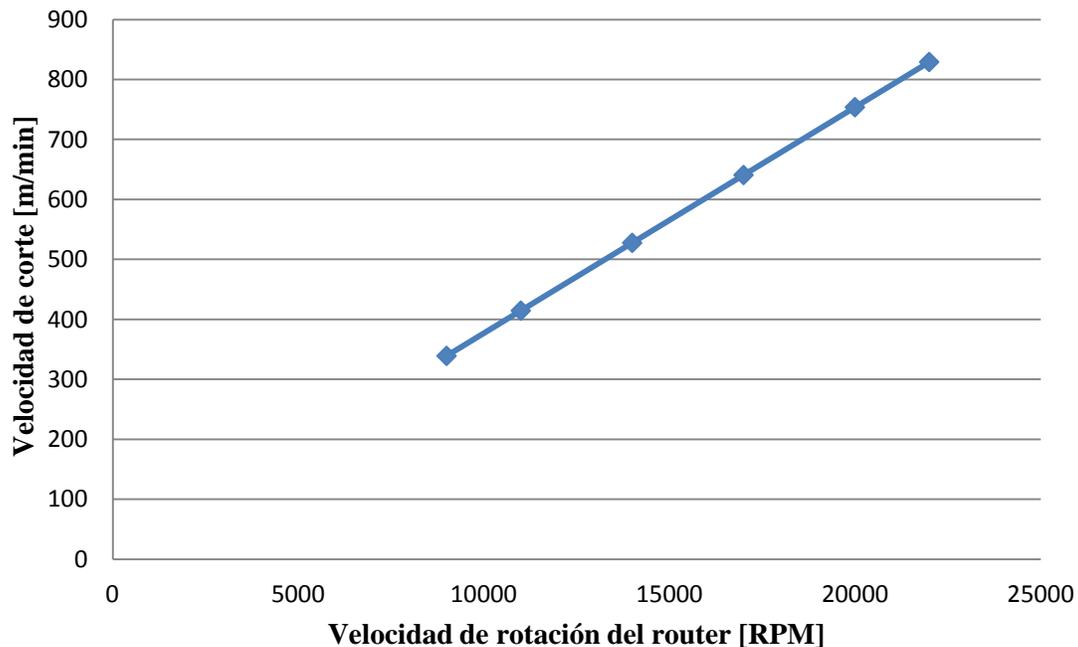
**Tabla 6.1. Características y parámetros de la herramienta *SANDVIK R216.33-12040-AC26U*.**

Características y parámetros de la herramienta	
Diámetro del cortador [mm]	12
Número de dientes	2
Longitud del cortador [mm]	83
Profundidad de corte (para aluminio) [mm]	1 a 8
Velocidad de corte [m/min]	800 a 2,000
Avance [mm/rev]	0.13
Velocidad de avance [mm/min]	3640

Como se especificó en el capítulo número dos, existen una gran variedad de routers manuales en el mercado, la potencia que manejan estos equipos varía según el modelo, la selección de un router adecuado depende del trabajo que se pretenda realizar. Para poder obtener la velocidad de corte de un router sobre el material se utilizó un promedio de revoluciones a las que gira el husillo, que es de entre 9,000 y 22,000 [RPM], estos datos son proporcionados por los modelos de 2.25 a 3.25 [HP] de potencia.

El fabricante de herramientas especifica que el aluminio se debe maquinar con una velocidad de corte promedio de entre 800 y 2,000 [m/min], con estos datos se calculo la velocidad de corte y se obtuvieron los resultados registrados en la figura 6.1, en donde se muestra que a mayor velocidad de rotación en el husillo mayor será velocidad de corte.

La máxima velocidad de corte se registra cuando el router proporciona 22,000 [RPM], a estas revoluciones la velocidad de corte es de 829.38 [m/min], la cual se encuentra dentro del rango promedio que especifica el fabricante de herramientas para el maquinado de aluminio.

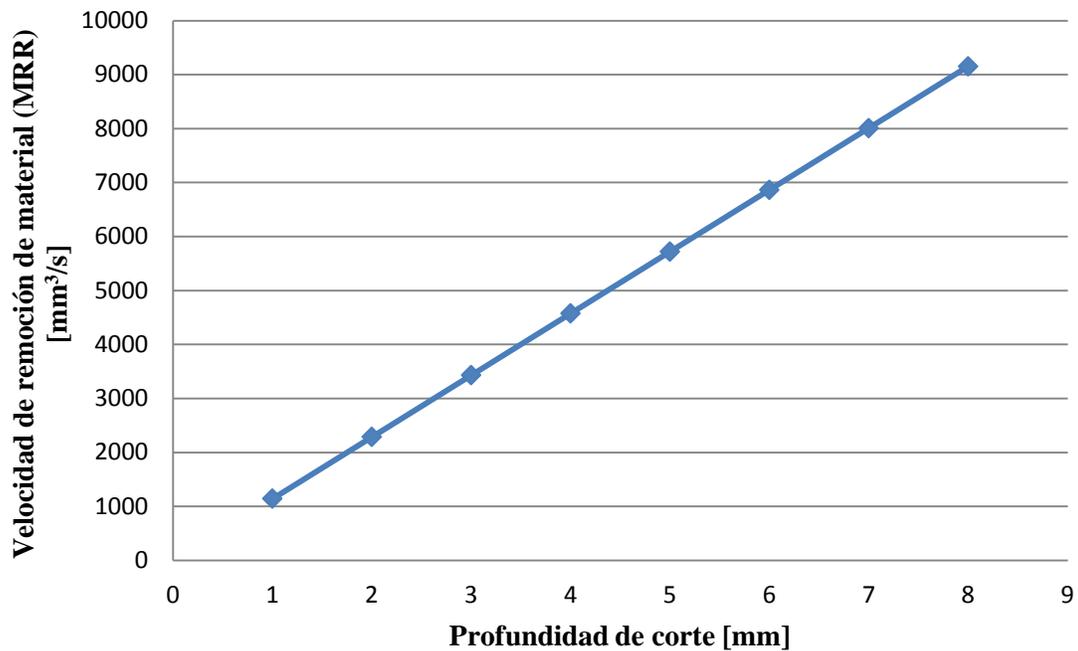


**Figura 6.1. Incremento de la velocidad de corte del router manual para el aluminio.**

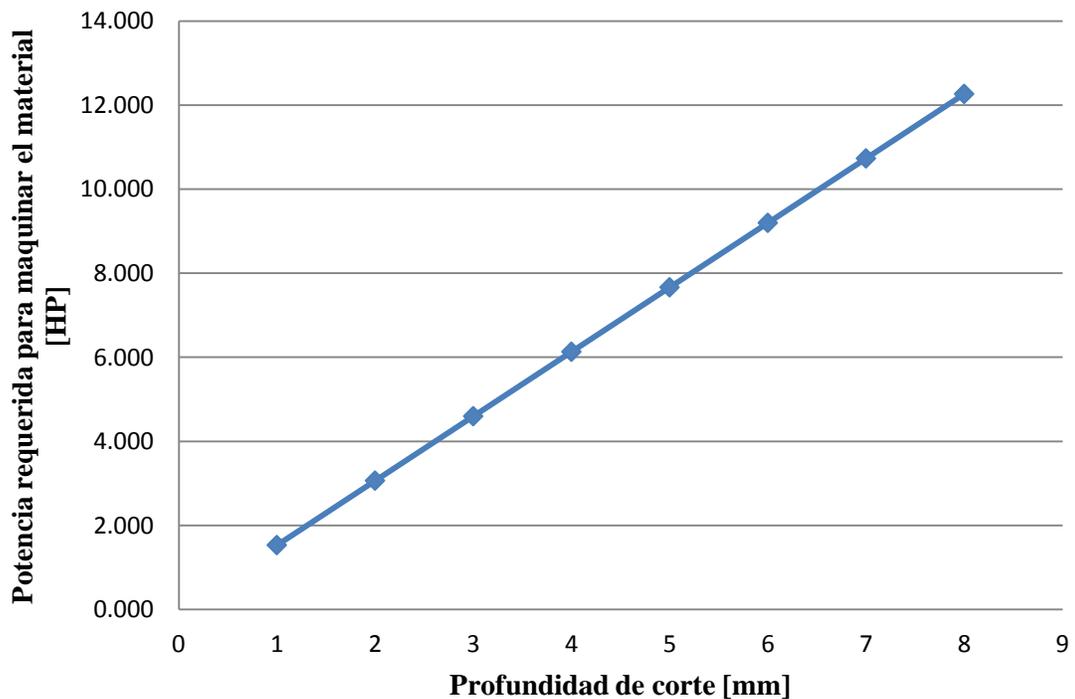
Debido que a menor velocidad de rotación en el router no se alcanzan las velocidades de corte óptimas para maquinar aluminio, el parámetro para realizar los siguientes cálculos es el de 22,000 [RPM]. Con base en este valor se obtiene los siguientes parámetros de corte, los cuales nos indican ciertas propiedades involucradas en el proceso de maquinado y el comportamiento de la herramienta de corte.

En la figura 6.2 se representa el comportamiento de la velocidad de remoción de material según la profundidad de corte, el rango de profundidad de corte para maquinar aluminio recomendado por el fabricante de herramientas es de entre 1 y 8 [mm], entre mayor sea la profundidad de corte la velocidad para desprender material es mayor, sin embargo, la potencia requerida para realizar esta actividad incrementa, ya que el esfuerzo que necesita la máquina es mayor. Como se puede apreciar en la figura 6.3 la potencia requerida para

efectuar el maquinado también incrementa según la profundidad de corte, es aquí donde se encuentra la segunda restricción para la selección del tipo de router manual.



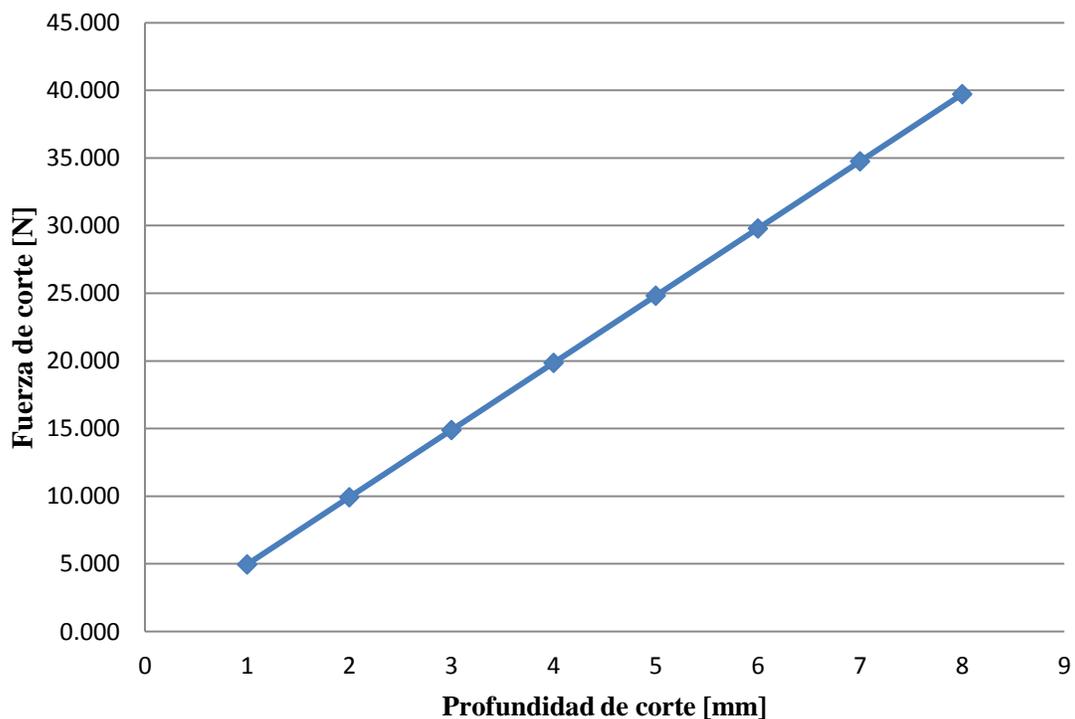
**Figura 6.2. Incremento de la velocidad de remoción de material.**



**Figura 6.3. Incremento de la potencia que se necesita para maquinar aluminio.**

Si bien, la primera restricción para elegir el router manual correcto para realizar el trabajo de remoción de material en el proceso de corte en el router CNC es la velocidad de giro del husillo, el cual contendrá a la herramienta de corte, la segunda restricción sin duda es la potencia que tiene el router, ya que para los modelos manuales comerciales el límite de potencia que alcanzan es de 3.25 HP. Por esta razón, si la profundidad de corte es mayor de 2 [mm] la potencia necesarias es de 3.066 [HP], como se muestra en la grafica de potencia requerida, si se desea maquinar a mayor profundidad la potencia necesaria es mayor, por ejemplo, si se quiere maquinar con una profundidad de 3 [mm] la potencia que se necesita es poco más de 4 [HP].

Una vez obtenida la potencia necesaria se puede calcular el torque que actúa sobre el husillo, ya que es necesario para finalmente calcular la fuerza de corte. El comportamiento de la fuerza de corte se puede observar en la figura 6.4 la cual describe el incremento de esta fuerza conforme a la profundidad de corte.



**Figura 6.4. Incremento de la fuerza de corte respecto a la profundidad de corte.**

Como ya se había mencionado, la profundidad de corte óptima para realizar el maquinado de aluminio con un router manual es de 2 [mm], con esta profundidad se calcula una fuerza de corte de 9.932 [N]. Para llevar a cabo un corte con una profundidad de 8 [mm] se requiere una fuerza de 39.725 [N] para lo cual se necesitaría un motor de mayor potencia.

Los resultados de los diferentes parámetros obtenidos con los cálculos realizados son mostrados en la tabla 6.1. Estos resultados son los aplicados en los análisis de elementos finitos que se realizaron.

## **6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS**

Para el análisis de elementos finitos aplicado a ambas estructuras se encontraron los valores de deformación máxima así como también los mínimos, además se localizaron los esfuerzos de Von Mises los cuales se usan como criterio para determinar la posible aparición de alguna falla en la estructura al estar diseñada con aluminio, un metal dúctil.

Con base a los resultados obtenidos de las fuerzas de corte y las limitaciones que se tienen al querer maquinar con la mayor profundidad de corte posible se tuvieron que haber realizado los análisis, sin embargo, la fuerza utilizada para ser aplicada a los dos modelos fue la mayor, es decir, la fuerza de corte que se percibe al maquinar aluminio con 8 [mm] de profundidad. El objetivo de haber seleccionado la fuerza última es permitirle al usuario poder implementar otro motor de mayor potencia para poder realizar trabajos en un menor tiempo, sin la restricción de tener que modificar la estructura, salvo el sistema de sujeción de la herramienta manual.

Esto no quiere decir que el cálculo de las fuerzas de corte no fuese tomado en cuenta para los análisis de elementos finitos, ya que gracias a la búsqueda de la fuerza de corte se obtuvieron otros parámetros que involucran la selección correcta de la potencia que debe tener el router manual, las especificaciones de los límites de profundidad de corte y las revoluciones a las cuales debe girar el husillo que sostendrá al cortador, ya que estas máquinas manuales originalmente son utilizadas para trabajar maderas.

A continuación se describen los resultados obtenidos en los análisis de elementos finitos aplicados a las estructuras.

**Tabla 6.2. Parámetros de corte para maquinar aluminio 1100H14.**

Profundidad de corte [mm]	Velocidad de rotación [rev/min]	No. dientes cortador	Diámetro del cortador [mm]	Velocidad de Remoción de Material (MRR) [mm <sup>3</sup> /min]	Velocidad de Remoción de Material (MRR) [mm <sup>3</sup> /s]	Requerimiento de energía específica para maquinar el material [W·s/mm <sup>3</sup> ]	Requerimiento de energía específica para maquinar el material [hp·min/in <sup>3</sup> ]	Potencia requerida para maquinar el material [HP]	Potencia requerida para maquinar el material [W]	Torque que actúa sobre el husillo del cortador [N·m]	Fuerza de corte [N]
1	22000	2	12	68640	1144	1	0.368	1.533	1144	0.497	4.966
2	22000	2	12	137280	2288	1	0.368	3.066	2288	0.993	9.931
3	22000	2	12	205920	3432	1	0.368	4.600	3432	1.490	14.897
4	22000	2	12	274560	4576	1	0.368	6.133	4576	1.986	19.863
5	22000	2	12	343200	5720	1	0.368	7.666	5720	2.483	24.828
6	22000	2	12	411840	6864	1	0.368	9.199	6864	2.979	29.794
7	22000	2	12	480480	8008	1	0.368	10.732	8008	3.476	34.759
8	22000	2	12	549120	9152	1	0.368	12.265	9152	3.973	39.725

### 6.2.1 Resultados del *Prototipo Previo*

Una vez realizado el análisis de elementos finitos al *Prototipo Previo* se localizaron los lugares en donde ocurre la deformación máxima al estar sometido a los esfuerzos antes mencionados, esta deformación máxima provoca ciertos desplazamientos los cuales son visibles claramente mediante los resultados del software. El desplazamiento máximo registrado es de 8.542 [mm] y ocurre en la zona frontal del router manual, esto muestra que el router recibe la máxima deformación producto de los esfuerzos aplicados por la fuerza de corte. El mínimo desplazamiento es de 0.854 [mm] y se encuentra localizado en las piezas conocidas como “*Extremos de la cama*”, ya que estas piezas se encuentran fijadas a cada uno de los perfiles de los cuales está constituida la mesa de corte y cuentan con una gran rigidez al estar diseñados como perfiles huecos de aluminio.

Por otra parte, los esfuerzos de Von Mises obtenidos deben ser menores al esfuerzo de fluencia del material según la definición, debido a esto se realizó la comparación de los esfuerzos de Von Mises máximos obtenidos con el análisis y los esfuerzos de fluencia registrados para dos tipos de aluminio (serie 1100-H14 y 6061-T6) de los cuales se pueden observar sus valores en la tabla 6.3 [6.1].

**Tabla 6.3. Esfuerzos de fluencia del aluminio serie 1100-H14 y aluminio 6061-T6. Tabla de Ferdinand P. Beer, *Mecánica de Materiales*, 3ª edición, Mc Graw Hill, pp. 746, 2004.**

Material	Esfuerzo de fluencia a tensión [MPa]	Esfuerzo de fluencia a cortante [MPa]
Aluminio 1100-H14	96.527	55.158
Aluminio 6061-T6	241.317	137.895

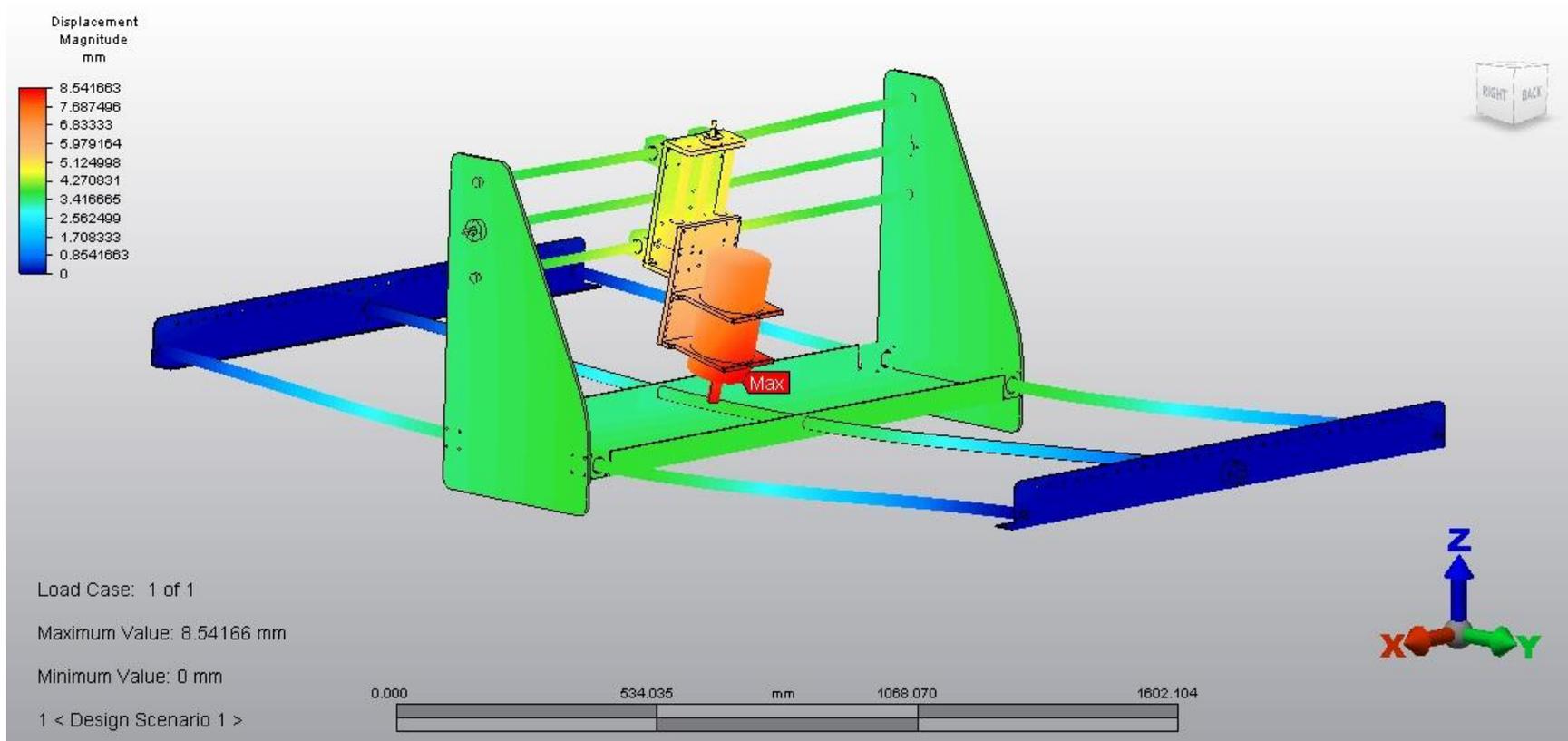
El mayor esfuerzo de Von Mises registrado es de 260.62 [MPa], el cual es localizado en los extremos de la mesa de corte, específicamente en la unión con los ejes circulares de los rodamientos de transmisión lineal. Los extremos de la mesa de corte diseñados con aluminio 1100-H14 al encontrarse sometidos a una fuerza cortante producto de la carga debida al peso del carro de traslación en dirección “Y” puede provocar un desprendimiento

de los ejes, colapsando así la estructura. Haciendo la comparación con los datos de la tabla 6.3 claramente se demuestra que el valor experimental es mucho mayor que el esfuerzo teórico de fluencia a cortante.

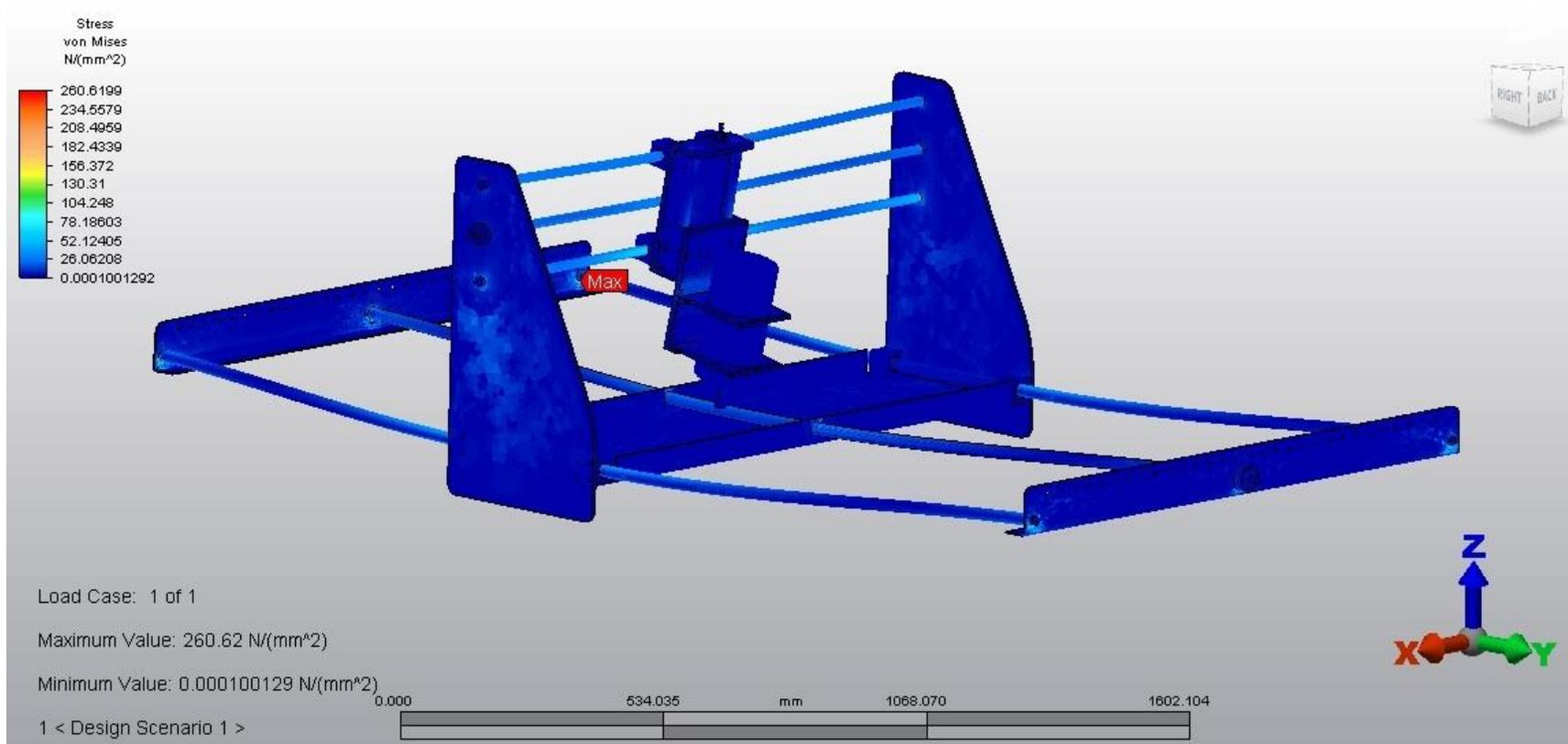
El esfuerzo de Von Mises mínimo calculado en el análisis no presenta ningún inconveniente, pues el valor registrado es demasiado pequeño comparado con el esfuerzo de fluencia a tensión de la tabla 6.3. Este esfuerzo se encuentra localizado en el eje tipo sinfín del sistema de movimiento en la dirección “Z”, en el extremo inferior, este punto no tiene contacto con ninguna otra pieza, sin embargo, la parte donde se desliza el rodamiento de bolas tipo husillo recibe toda la compresión en la parte inferior y la tensión en la parte superior al estar sometido a esfuerzos debido a la carga que ejerce el mecanismo de movimiento en la dirección “Z” y al sistema de sujeción del router manual. El valor registrado en el análisis de 0.0001 [MPa].

Debido a los acontecimientos en los resultados del primer análisis, se considera reforzar la estructura para evitar estos inconvenientes, ya que no solo la fuerza de corte aplicada al router manual es factor para que la estructura se deforme o tienda a fallar, sino también la fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa de los componentes de los mecanismos de deslizamiento en los tres ejes. Es cierto que los desplazamientos producto del análisis se encuentran en un rango de entre 0 y 8.542 [mm], que para una máquina de precisión como lo es una máquina-herramienta de control numérico estos valores pueden causar una reacción en cadena que tal vez no solo perjudicaría a la pieza de trabajo, ya que en el peor de los casos pueden llegar a causar un accidente al operador.

Las figuras 6.5 y 6.6 son el resultado del análisis realizado. En la primera se muestran los desplazamientos de la estructura, mientras que en la segunda los esfuerzos de Von Mises, cada una con un código de color característico para poder distinguir el rango de deformación o esfuerzo, cabe mencionar que la proporción de deformación es mucho mayor a la real, pero solo de esta forma se pueden apreciar de forma visible.



**Figura 6.5. Desplazamientos en el diseño del *Prototipo Previo*.**



**Figura 6.6. Esfuerzos de Von Mises en el diseño del *Prototipo Previo*.**

### 6.2.2 Resultados del *Prototipo Final*

El diseño del *Prototipo Final* es el resultado de las mejoras incorporadas al modelo del *Prototipo Previo*, estas mejoras fueron descritas en el capítulo número cuatro, en donde se detallan cada uno de los sistemas que lo conforman.

A este modelo se le aplicaron las mismas cargas y restricciones del diseño previo y los materiales de los cuales se encuentra constituido son los mismos, es por eso que los valores de la tabla 6.3 que corresponden a los esfuerzos de fluencia son igualmente empleados en la comparación con los valores de los esfuerzos de Von Mises de este análisis.

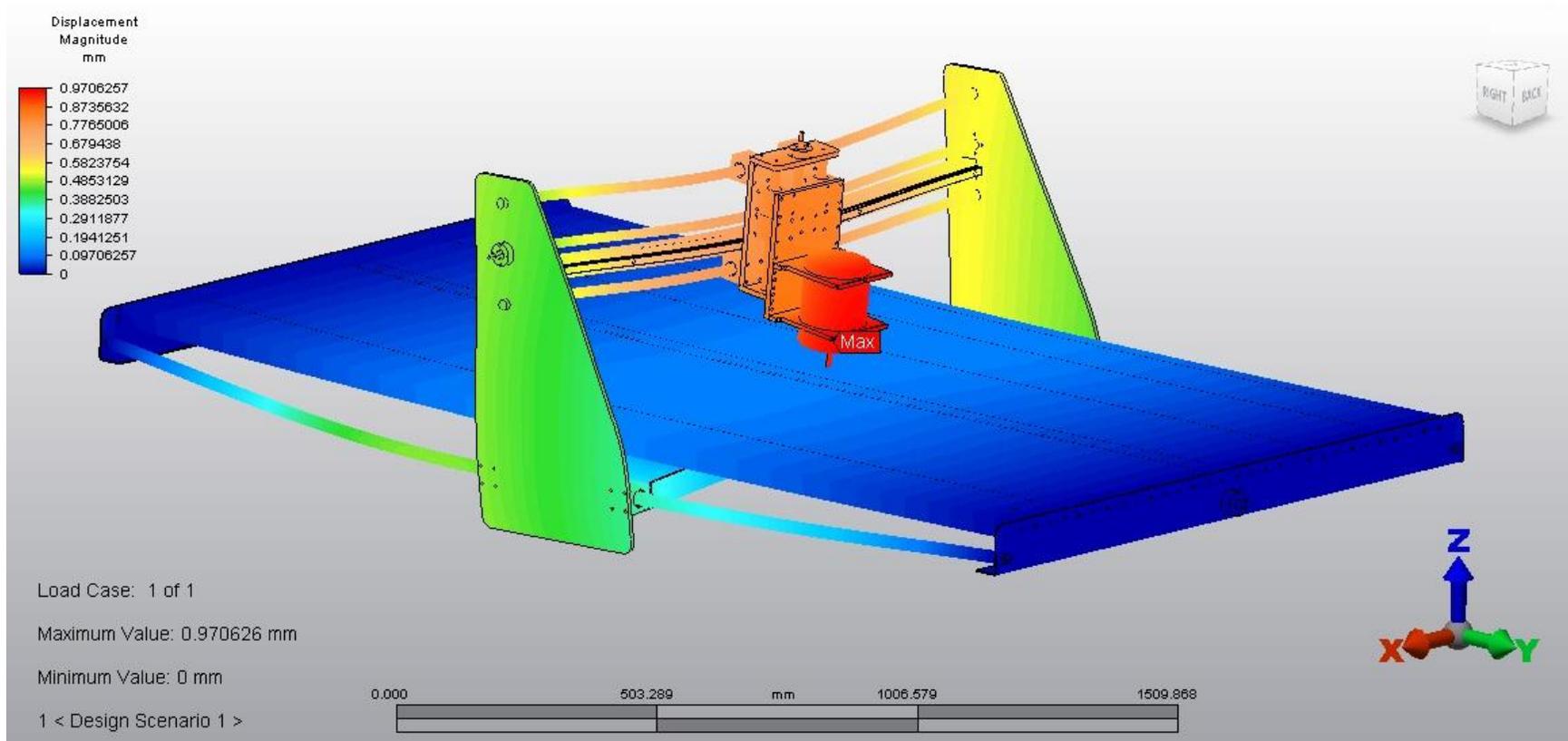
Para este modelo, los resultados obtenidos fueron demasiado satisfactorios, tanto para el nivel de deformaciones como para el valor de los esfuerzos de Von Mises. La deformación máxima obtenida es de 0.971 [mm] y ocurre en la pieza inferior que sujeta al router, la que lleva por nombre "*Placa de fijación del router*", esto sucede debido a que la fuerza empleada para cortar el material aplicada al cortador se traslada al router manual tratando de moverlo de su posición, es aquí donde las dos "*Placas de fijación del router*" contrarrestan dicha fuerza cumpliendo con su trabajo.

El desplazamiento mínimo registrado sucede en el mismo punto que en la estructura previa, en los extremos de la cama, ya que de igual forma estas piezas se encuentran sujetas a los perfiles de aluminio de la mesa de maquinado. La mesa de corte también es sometida a pequeñas deformaciones causadas por la fuerza de gravedad que actúa sobre la masa de los perfiles, esta deformación se encuentra un rango de 0.097 y 0.388 [mm].

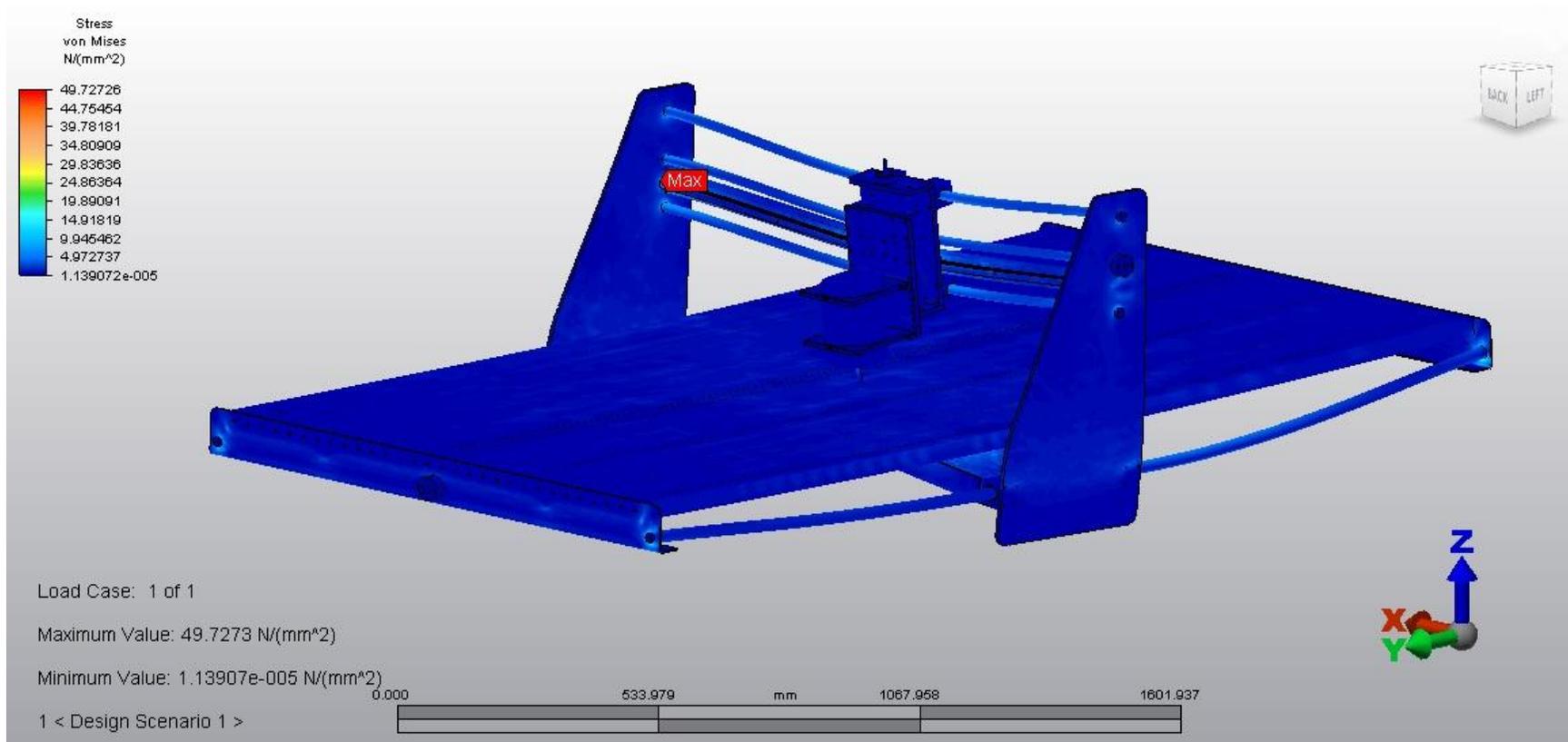
Los ejes circulares de de los rodamientos de transmisión lineal al igual que las piezas laterales que sujetan a los ejes de deslizamiento del sistema de movimiento en dirección "X" sufren una deformación poco mayor a comparación de la mesa de maquinado, causando un desplazamiento de entre 0.388 y 0.582 [mm]. El rango mayor de deformaciones sucede en el sistema de movimiento en "X" y en el "Z", ya que aquí es donde se concentra el mayor número de piezas afectadas por la gravedad y los esfuerzos indirectos provenientes de la operación de corte, este rango de desplazamientos se encuentra entre 0.582 y 0.971 [mm].

Los esfuerzos de Von Mises que se registraron se encuentran muy por debajo de los valores de los esfuerzos de fluencia a cortante y a tensión, por ejemplo, el valor máximo registrado en la estructura es de 49.727 [MPa], el cual ocurre en la unión entre las “*Piezas laterales*” que sujetan a los ejes circulares de los rodamientos lineales del movimiento en dirección “X” y el perfil de aluminio que fue incorporado en el rediseño del prototipo previo, el cual sirve como sujeción para la guía deslizable de un rodamiento lineal de bolas. Este esfuerzo cortante ocurre debido a la acción de dos fuerzas, la primera a causa de la gravedad en la masa de los componentes y la segunda por la fuerza de corte de material trasladada de forma indirecta a ese punto. Ya que esta pieza se encuentra diseñada con aluminio de la serie 1100-H14, el cual tiene un esfuerzo de fluencia a tensión de 241.317 [MPa] y de 137.895 [MPa] a cortante, al ser comparado el esfuerzo a cortante con el valor obtenido se comprueba que el criterio para determinar la aparición de una posible falla no se cumple, esto por ser menor que el valor límite.

El esfuerzo mínimo se registra en los “*Extremos de la cama*”, exactamente en la unión entre estos y los ejes de circulares de los rodamientos de transmisión lineal en la dirección “Y”, este valor casi no se percibe ya que es de 0.01139 [Pa], sin embargo, los resultados tridimensionales del software los hacen resaltar demasiado, esto para que puedan ser observados por el diseñador. En las figuras 6.7 y 6.8 se muestran las representaciones tridimensionales de los desplazamientos y los esfuerzos de Von Mises respectivamente, cada uno con sus respectivos códigos de colores que hacen la descripción de los modelos fácil de visualizar ya que esta es una forma de apreciarlos de una forma grafica.



**Figura 6.7.** Desplazamientos en el diseño del *Prototipo Final*.



**Figura 6.8. Esfuerzos de Von Mises en el diseño del *Prototipo Final*.**

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el objetivo principal del proyecto que consistió en elaborar el diseño de la Estructura para un Router CNC que cumpliera con todos los requerimientos del usuario y de las máquinas comerciales, aplicando una metodología de diseño, se puede decir en términos generales que el este fue cumplido satisfactoriamente, ya que los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de los valores objetivo del diseño, además, los resultados fueron presentados al cliente, el cual resultó satisfecho con las adecuaciones y características que tiene la estructura, a continuación se muestran las conclusiones de los resultados obtenidos.

### 7.1 CONCLUSIONES DE LOS CÁLCULOS PARA LA FUERZA DE CORTE

Para poder obtener las fuerzas de corte con el fin de ser utilizadas en los análisis estructurales, se calcularon ciertos parámetros para elegir el router adecuado y realizar el trabajo de maquinado a una placa de aluminio, las características que debe tener este router son:

- ✓ La velocidad de giro del husillo debe ser mayor o igual a las 22,000 revoluciones por minuto.
- ✓ Potencia de 3 ¼ de [HP].
- ✓ Capaz de desmontar la cabeza del router, es decir, el motor de rotación.
- ✓ Apertura del husillo de 12.7 [mm].

Cabe especificar que con un router de estas características solo se puede maquinar a una profundidad de 2 milímetros como máximo, esto hace que el tiempo de maquinado sea mayor, ya que si se quisiera maquinar una placa de 1 metro cuadrado, el proceso de corte de una sola pasada tardaría alrededor de 6.1 minutos, esto sin considerar los tiempos de traslado del router.

El cálculo del tiempo de maquinado se obtuvo de la formula 3.7 del capítulo número tres.

Realizando el estudio de mercado se seleccionaron los siguientes routers manuales, los cuales cumplen con las características antes mencionadas:

- ✓ Router Porter Cable modelo 7519
- ✓ Router Porter Cable modelo 7518

Estos modelos fueron recomendados por los usuarios carpinteros que trabajan con este tipo de herramientas, así como también por los distribuidores, ya que aseguran tener un buen desempeño en sus funciones, incluso algunos routers CNC comerciales trabajan con esta marca de routers manuales.

Para la herramientas de corte se recomienda utilizar aquellas que están diseñadas para maquinar aluminio, que cuenten con la característica de tener un zanco recto de 6.35 o 12.7 milímetros de diámetro, ya que el husillo del router manual solo puede albergar este tipo de herramientas. Para maquinar maderas y polímeros no existe ninguna restricción, ya que existen cortadores diseñados especialmente para ser adaptados a los routers.

Así pues, con los resultados obtenidos con los cálculos efectuados se pudieron cumplir los siguientes objetivos secundarios:

- ✓ Establecer los parámetros de corte para un router manual aplicados al maquinado de aluminio.
- ✓ Selección del router manual adecuado para maquinar madera, cerámicos y aluminio.
- ✓ Hacer la selección adecuada para la herramienta de corte.

## 7.2 CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Con la elaboración de ambos análisis de elementos finitos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ El diseño de la estructura previa tiene desplazamientos no deseados debido a la gravedad que actúa sobre la masa de las piezas del carro deslizante y a la fuerza de corte aplicada, la deformación que se aprecia en las barras circulares en dirección “Y” puede causar desplazamiento en la misma dirección que la gravedad de 4.27 [mm], lo cual es demasiado para una máquina-herramienta.
- ✓ La fuerza de corte aplicada al diseño de la estructura previa permite observar el desplazamiento máximo de 8.54 [mm], esto quiere decir que aplicando dicha fuerza los ejes de deslizamiento en dirección “X” no son suficientes para contrarrestarla, causando así posibles imprecisiones a la hora de maquinar piezas.
- ✓ Los ejes de deslizamiento en dirección “Z” no sufren una deformación considerable, ya que al ser cortos en comparación con los demás, tienen una mayor resistencia a los esfuerzos aplicados.
- ✓ Los esfuerzos de Von Mises obtenidos en la estructura previa demuestran que la posibilidad de que el diseño colapse es segura, ya que al estar sometida a esfuerzos a tensión y cortante, los esfuerzos de fluencia del aluminio son menores comparados con los esfuerzos de Von Mises del análisis, todo esto según el criterio de falla.
- ✓ Los esfuerzos cortantes ubicados en la unión entre los extremos de la cama y los ejes de deslizamiento son los de mayor dimensión en el análisis de esfuerzos de Von Mises, esto proporciona información sobre los puntos a reforzar en un nuevo diseño.
- ✓ Para el análisis de la estructura final, se muestra un decremento considerable en el campo de los desplazamientos, siendo el mayor registrado de 0.97 milímetros, el cual ocurre en una de las piezas que sujetan al router manual.

- ✓ Con las mejoras aplicadas a la estructura, tanto en el sistema de deslizamiento en “Y” así como en el de “X”, disminuyeron los desplazamientos de 4.27 [mm] a 0.39 [mm] y de 5.13 milímetros a 0.68 [mm] respectivamente.
- ✓ La mesa de maquinado tiene un nivel de desplazamientos muy pequeño, esto es el resultado obtenido al hacer la sección de un perfil hueco, el cual no perjudicará a la estructura debido a su peso pero que, al mismo tiempo, tuviera una gran resistencia y rigidez. Su deformación es de apenas 0.19 milímetros.
- ✓ Los resultados de los esfuerzos de Von Mises comprobaron que la estructura no tienen ningún problema de falla según el criterio de falla, pues los esfuerzos obtenidos son mucho menores que los esfuerzos de fluencia para el aluminio.

El análisis de elementos finitos sirvió para realizarla etapa de pruebas siguiendo la metodología de diseño que se utilizó para este proyecto, sin embargo, aun quedan otras pruebas por realizar las cuales corresponden a los demás sistemas que conforman al proyecto.

Con los resultados anteriores se pudieron cumplir los siguientes objetivos particulares:

- ✓ Realizar el diseño mecánico de la Estructura para un Router CNC.
- ✓ Estructurar el diseño utilizando el proceso de diseño genérico para la obtención de un producto, centrando la mayoría del proyecto en el contacto con el usuario.
- ✓ Realizar un prototipo tridimensional en una plataforma CAD para ser mostrado al usuario.
- ✓ Analizar la funcionalidad de el, o los prototipos finales por medio de un análisis de elementos finitos.

### **7.3 RECOMENDACIONES**

Las siguientes recomendaciones tienen la finalidad de sugerir al lector posibles actividades para realizar a futuro.

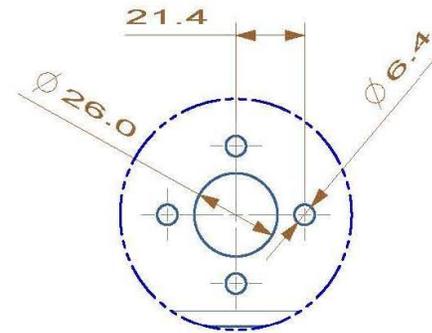
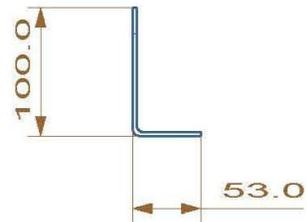
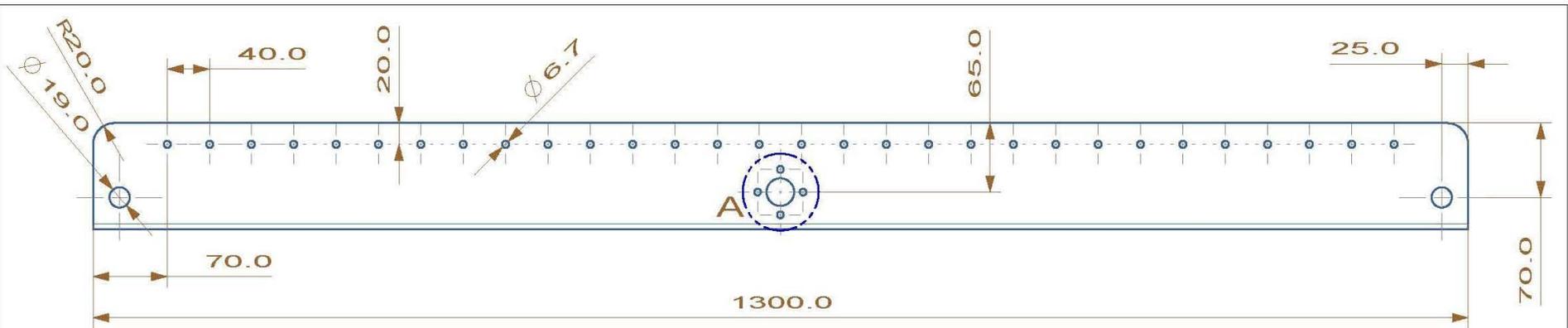
- ✓ Para observar diferentes comportamientos en el proceso de corte se pueden realizar nuevos análisis con fresas diferentes, es decir, variando el número de dientes y el

diámetro del cortador, esto para observar cómo influyen dentro de la obtención de las fuerzas de corte.

- ✓ Realizar un estudio de motores rotatorios u otra herramienta de corte, los cuales puedan ser acoplados a la estructura para poder incrementar la potencia y así aumentar la profundidad de corte para disminuir los tiempos de maquinado.
- ✓ Realizar nuevos cálculos para observar el comportamiento con metales ferrosos y no ferrosos, esto para observar la viabilidad de maquinar otros tipos de materiales.
- ✓ Debido a los esfuerzos cortantes sobre los extremos de los ejes y sus uniones, se recomienda emplear una serie de anillos para reforzar el contacto entre las piezas.
- ✓ Manufacturar nuevas piezas de soporte para diferentes herramientas manuales, esto solo con obtener los radios o geometrías transversales de las herramientas.

# APÉNDICE A

Muestra de planos de fabricación.

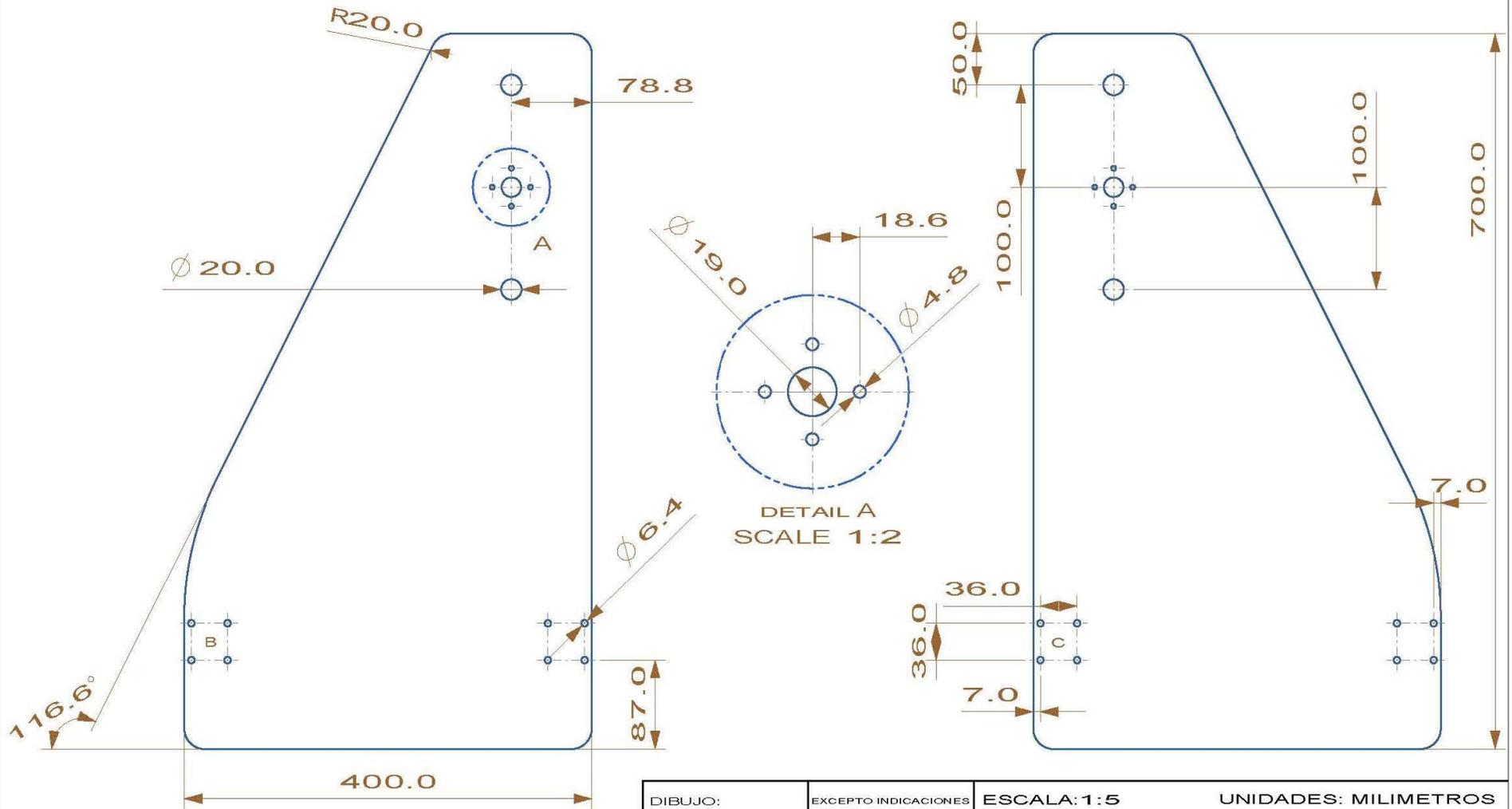


DETAIL A  
SCALE 1:2

NOTAS:

- LA PIEZA ES MANUFACTURADA EN PLACA DE ALUMINIO DE 3 mm DE ESPESOR.
- LA HOJA BASE TIENE UNA AREA DE 156 mm POR 1300 mm.
- LOS 30 ORIFICIOS SON EQUIDISTANTES CON RESPECTO A SU CENTRO.
- TODOS LOS ORIFICIOS SON SIMETRICOS RESPECTO AL EJE CENTRAL VERTICAL EN LA VISTA FRONTAL.

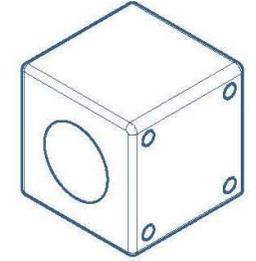
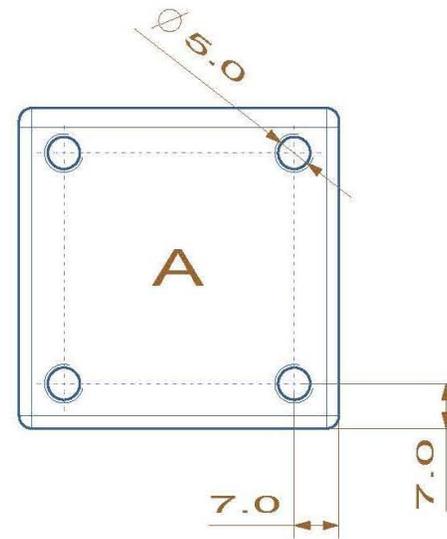
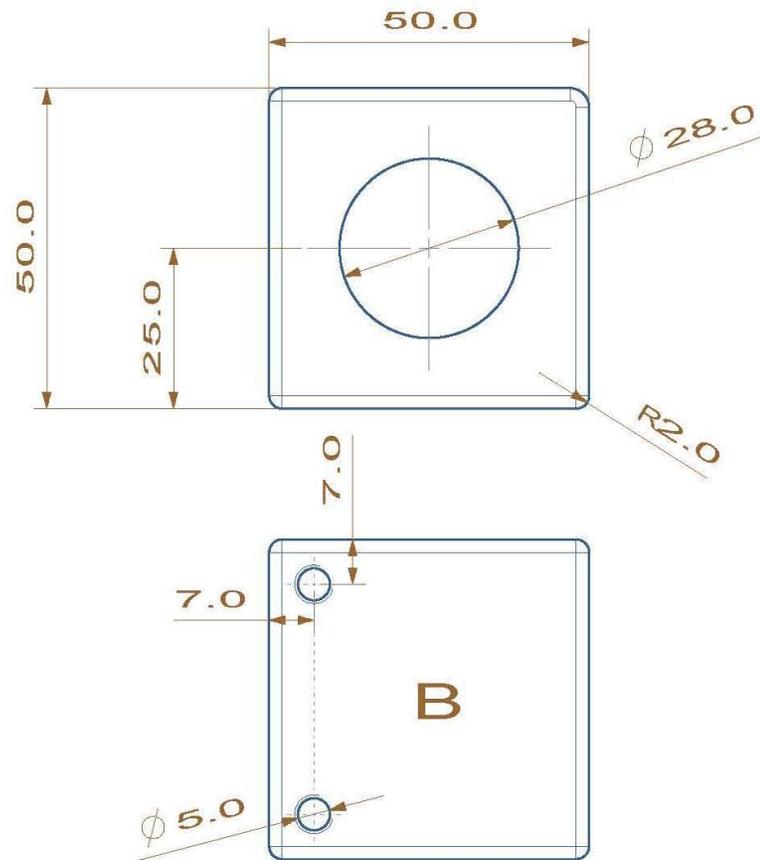
DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS	EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: $\pm 1\text{mm}$	ESCALA: 1:5	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN	FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA NOMBRE: EXTREMO DE LA CAMA	
APROVO:	FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION		OBSERVACIONES:	
		FECHA: 21/08/12	



**NOTAS:**

- LA PIEZA ES MAQUINADA EN PLACA DE ALUMINIO DE 8 mm DE ESPESOR.
- EL CONJUNTO DE BARRENOS "B" Y "C" TIENEN LA MISMA MEDIDA DE DIAMETRO.

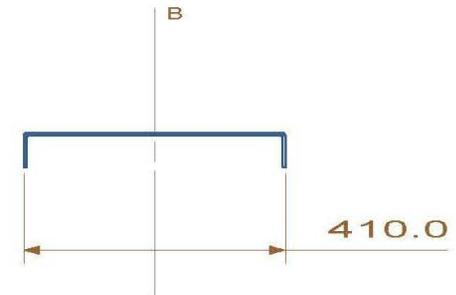
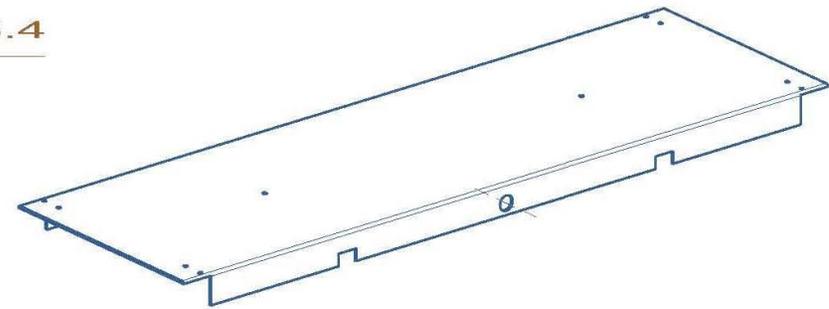
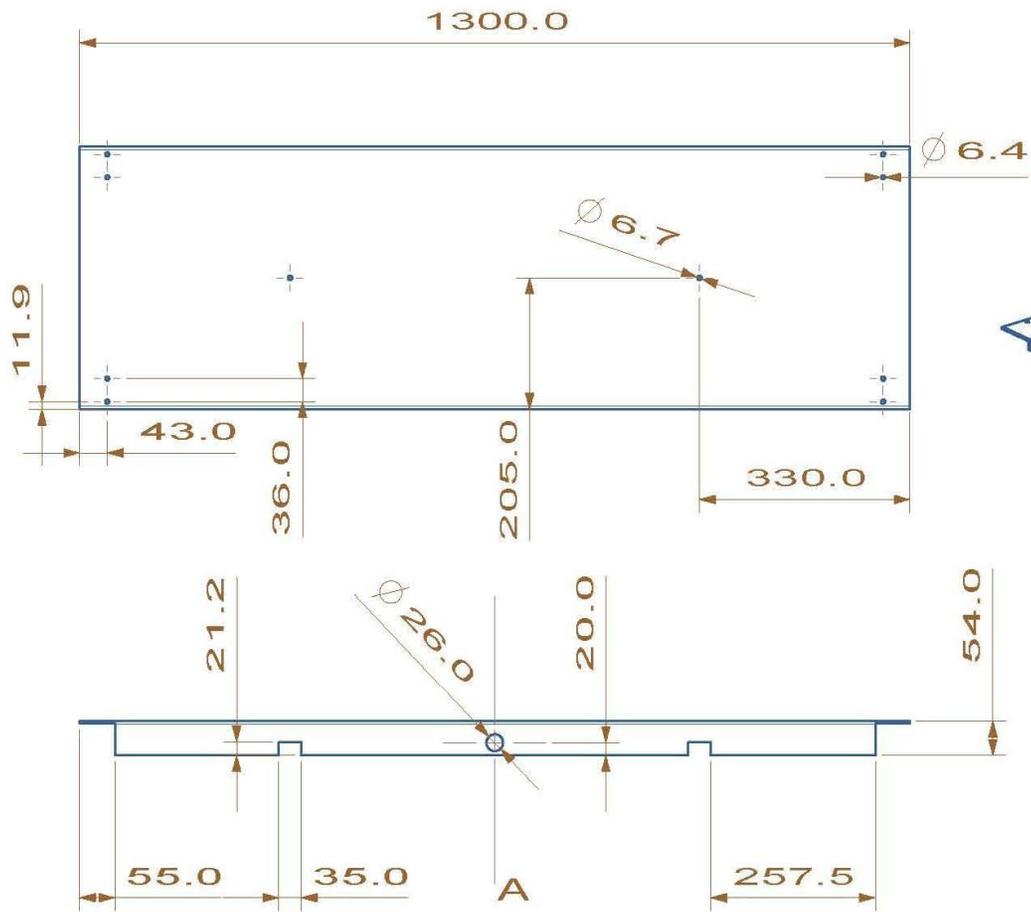
DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS		EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1:5	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN		FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA <b>NOMBRE:</b> <b>PIEZA LATERAL</b>	
APROVO:		FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION			<b>OBSERVACIONES:</b>  <b>FECHA:</b> 21/08/12	



**NOTAS:**

- PIEZA MAQUINADA EN BARRA CUADRADA DE ALUMINIO.
- LOS SEIS ORIFICIOS DE 5 mm DE DIAMETRO SON ROSCADOS CON MACHUELOS DE CUERDA FINA DE 1/4 DE PULGADA.
- LA PROFUNDIDAD DE LOS ORIFICIOS DE 5 mm ES DE 15 mm.
- EL ORIFICIO DE 28 mm ES PASADO, ESTE ALBERGA A LOS RODAMIENTOS.
- EL CONJUNTO DE BARRENOS "A" Y "B" SON SIMETRICOS Y DE PROFUNDIDAD SIMILAR.

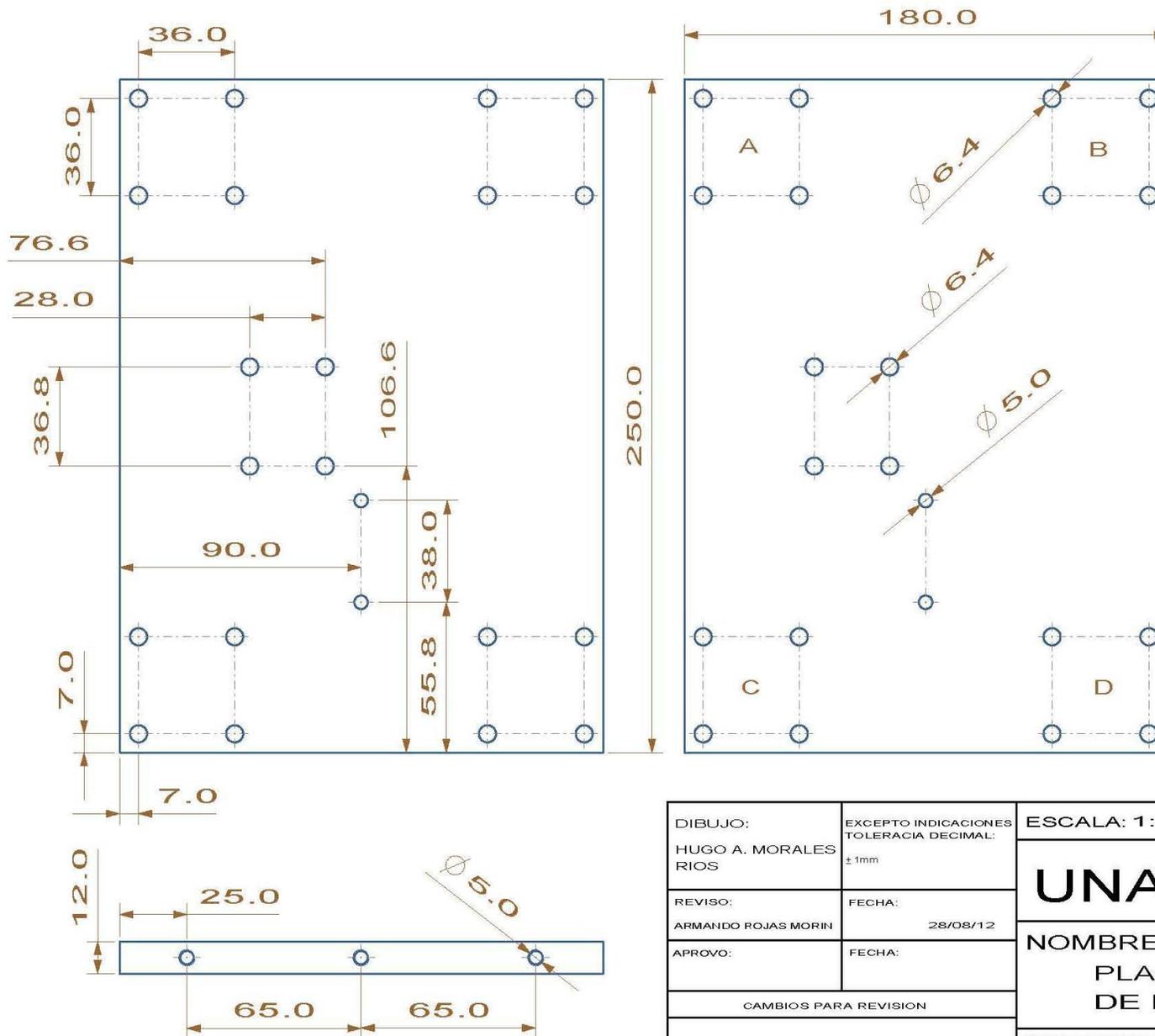
DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS		EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1 : 1	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN		FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
APROVO:		FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION			NOMBRE: CAJA PARA RODAMIENTOS DE TRANSMISION LINEAL	
			OBSERVACIONES:	FECHA: 21/08/12



**NOTAS:**

- LA PIEZA SE ENCUENTRA MANUFACTURADA CON PLACA DE ALUMINIO DE 3 mm DE ESPESOR, DOBLADA EN LOS DOS EXTREMOS.
- LA PIEZA ES SIMETRICA TANTO EN EL PLANO "A" COMO EN EL PLANO "B".
- LA LAMINA BASE TIENE UN AREA DE 1300 MM POR 520 mm.

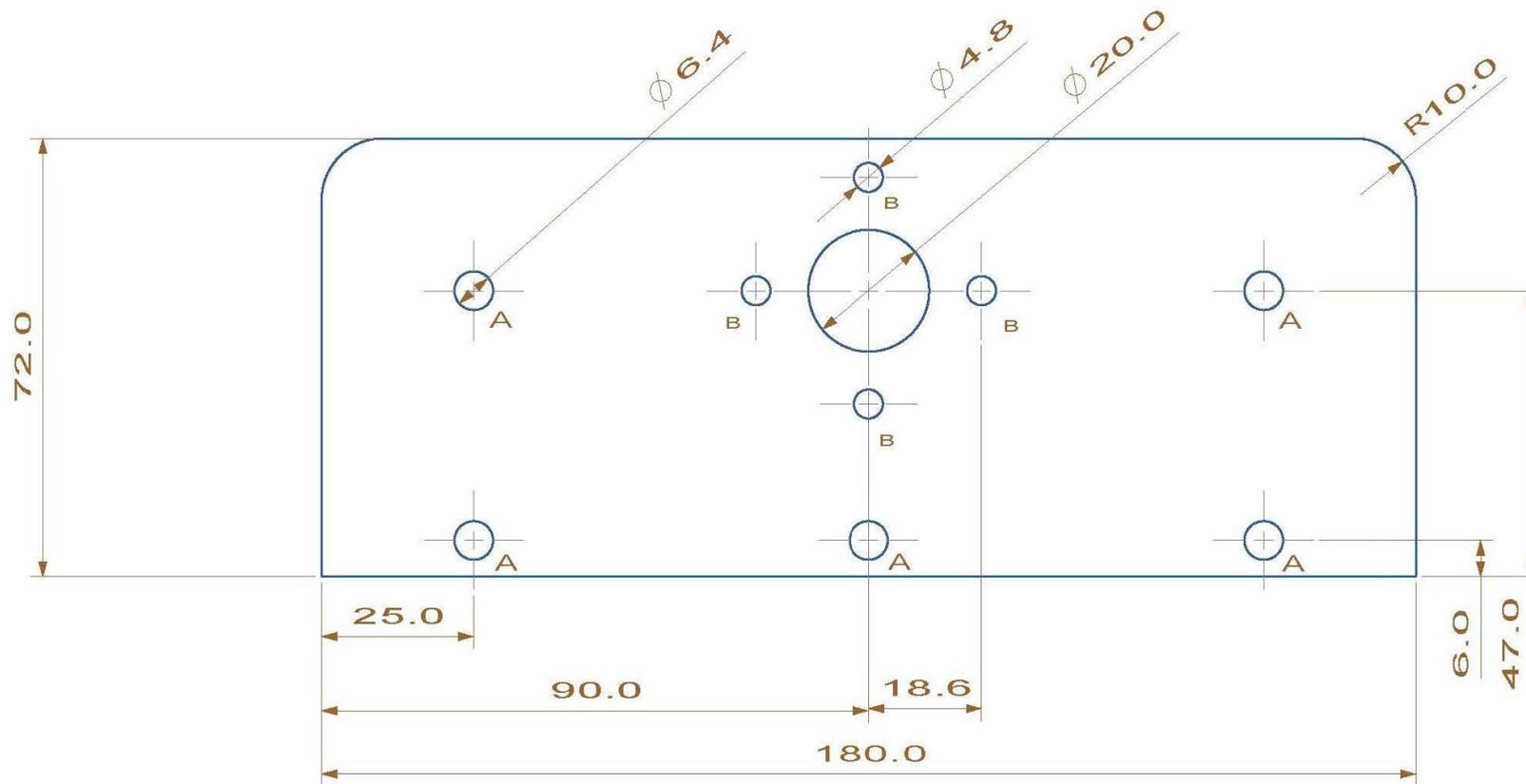
DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS	EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1:10	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN	FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
APROVO:	FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION		NOMBRE:  PUENTE DE UNION	
		OBSERVACIONES:	FECHA: 21/08/12



**NOTAS:**

- LA PIEZA SE ENCUENTRA MANUFACTURADA EN PLACA DE ALUMINIO DE 8 mm DE ESPESOR.
- LOS 16 BARRENOS DE LAS LETRAS "A", "B", "C" Y "D" SON SIMETRISCOS CON RESPECTO AL CENTRO DE LA PLACA.
- LA PARTE INFERIOR Y SUPERIOR DE LA PLACA ESTA BARRENADA CON 3 ORIFICIOS, ESTOS TIENEN UNA PROFUNDIDAD DE 15 mm Y SON ROSCADOS INTERNAMENTE POR MEDIO DE UN MACHUELO DE ROSCA FINA DE 1/4 DE PULGADA.

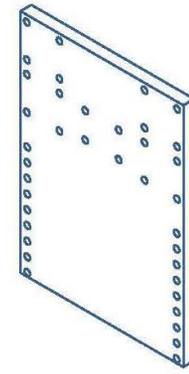
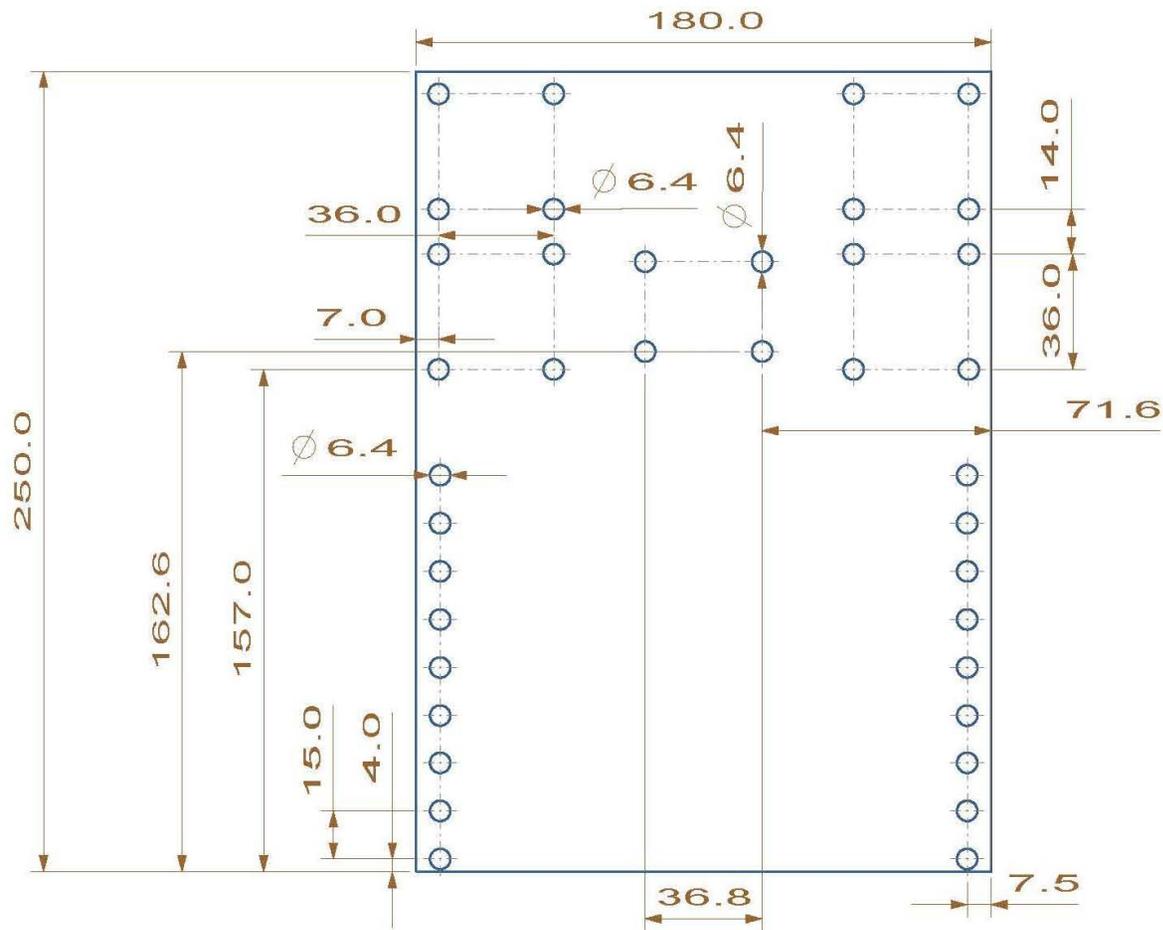
DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS	EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1:2	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN	FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
APROVO:	FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION		NOMBRE: PLACA SOPORTE DE RODAMIENTOS EN "X"	
		OBSERVACIONES:	FECHA: 21/08/12



**NOTAS:**

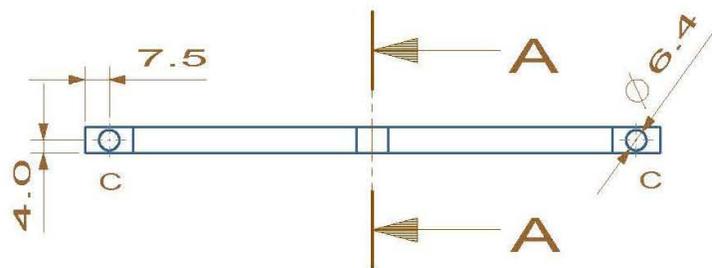
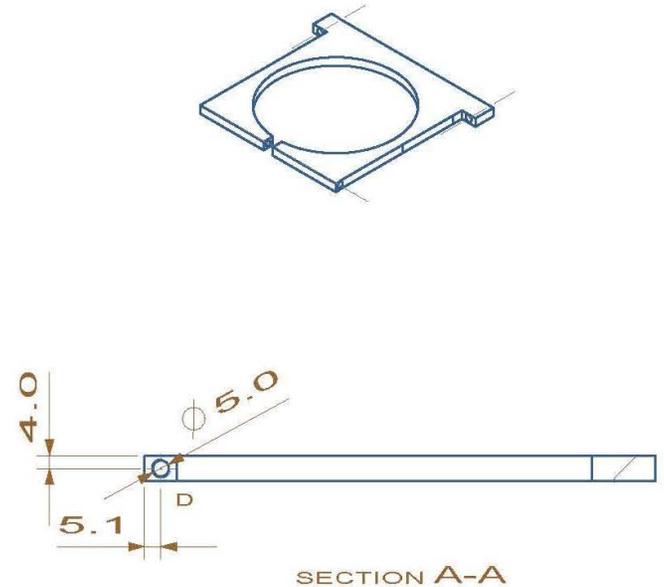
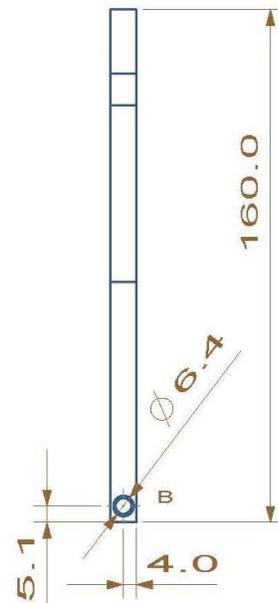
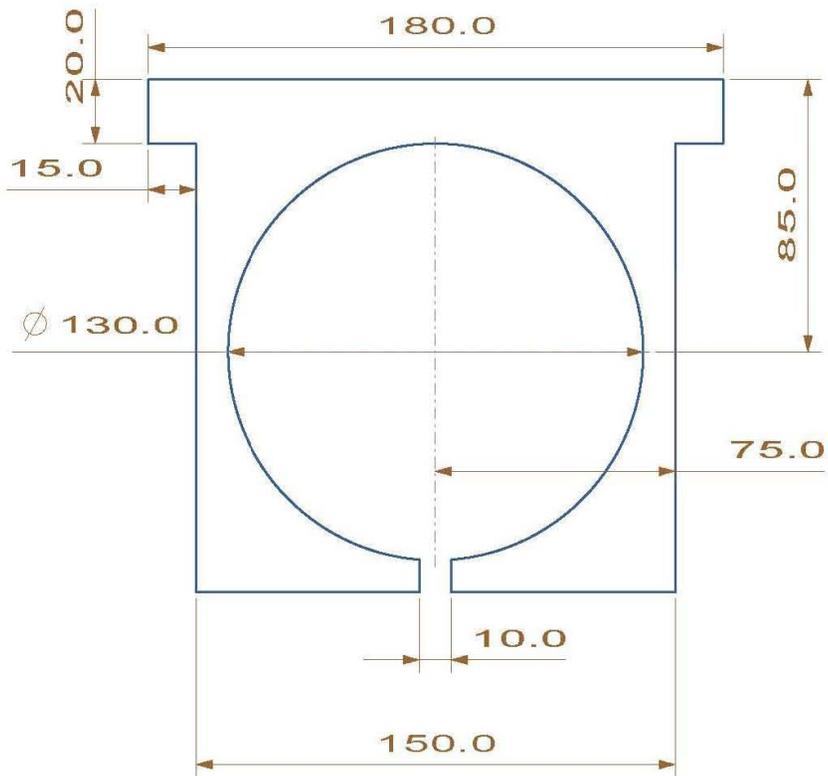
- LA PIEZA SE ENCUENTRA MAQUINADA EN PLACA DE ALUMINIO DE 8 mm DE ESPESOR.
- LOS BARRENOS "A" SON PASADOS, LOS 5 TIENEN UN DIAMETRO SIMILAR.
- LOS BARRENOS "B" TAMBIEN SON PASADOS Y LOS 4 TIENEN UN DIAMETRO SIMILAR.

DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS	EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1:1	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN	FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
APROVO:	FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION		NOMBRE: BASE SUPERIOR E INFERIOR PARA EL MOVIMIENTO EN "Z"	
		OBSERVACIONES:	FECHA: 21/08/12



NOTAS:  
 - LA PIEZA ESTA MANUFACTURADA EN PLACA DE ALUMINIO DE 10 mm DE ESPESOR.  
 - TODOS LOS BARRENOS SON PASADOS.  
 - TODOS LOS BARRENOS TIENEN UN DIAMETRO DE 6.4 mm.  
 - LOS BARRENOS SON SIMETRICOS CON RESPECTO A UN PLANO VERTICAL PASADO POR EL CENTRO DE LA PLACA.

DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS	EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1:2	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN	FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA NOMBRE: PLACA SOPORTE DEL ROUTER	
APROVO:	FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION		OBSERVACIONES:	
		FECHA: 21/08/12	



**NOTAS:**

- PIEZA MANUFACTURADA EN ALUMINIO DE 8 mm. DE ESPESOR.
- EL ORIFICIO DE LA SECCION "A" ES LA CONTINUACION DEL BARRENO "B", SOLO QUE ESTE ES MACHUELEADO, LA CUERDA ES INTERNA FINA, CON UN MACHUELO DE 1/4 DE PULGADA.
- LOS BARRENOS "C" SON PASADOS.
- LA PROFUNDIDAD DEL ROSCADO "D" ES DE 40 mm.

DIBUJO: HUGO A. MORALES RIOS	EXCEPTO INDICACIONES TOLERANCIA DECIMAL: ±1mm	ESCALA: 1:2	UNIDADES: MILIMETROS
REVISO: ARMANDO ROJAS MORIN	FECHA: 28/08/12	<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
APROVO:	FECHA:		
CAMBIOS PARA REVISION		NOMBRE: <b>PLACA DE FIJACION DEL ROUTER</b>	
OBSERVACIONES:		FECHA: 21/08/12	

# BIBLIOGRAFÍA

[1.1] S. Kalpakjian, Steven R. Schmid, “Manufactura, Ingeniería y Tecnología”, Quinta edición, Prentice Hall, pp. 1-13, 2008.

[1.2] S. Kalpakjian, Steven R. Schmid, “Manufactura, Ingeniería y Tecnología”, Quinta edición, Prentice Hall, pp. 19-31, 2008.

[1.3] Richard R. Kibbe, “Manual de maquinas y herramientas”, Vol. 2, Segunda edición, Limusa, 1990.

[1.4] <http://www.metosa-pinacho.com/es/index.html>

[1.5] <http://www.ayerbe.net/>

[1.6] [http://www.guima-mh.com/inic\\_/inic\\_.htm](http://www.guima-mh.com/inic_/inic_.htm)

[1.7] S. Kalpakjian, Steven R. Schmid, “Manufactura, Ingeniería y Tecnología”, Quinta edición, Prentice Hall, pp. 723-755, 2008.

[1.8] <http://www.thlmachine.com/>

[1.9] <https://thefadalparts.com/>

[1.10] Tom Caspar, “Dome-Top Discovery”, American Woodworker, # 140, pp. 20 February/March 2009.

[1.11] Patrick Spielman, “The Art of the Router; Award Winning Design”, Sterling Publishing Co. Inc., New York, 1998.

[1.12] <http://www.craftsman.com/>

[1.13] <http://www.portercable.com>

[1.14] <http://www.makitatools.com>

[1.15] Alain Albert, “Understanding CNC Routers”, FP Innovations Forintek Division, First edition.

[1.16] <http://www.shoda.com>

[1.17] <http://www.precix.com.mx>

[2.1] Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, “Diseño y Desarrollo de Productos”, Cuarta edición, Mc Graw Hill, 2009.

[2.2] <http://www.seikimexico.com/ventas/index.html>

[2.3] <http://www.precix.com.mx>

[2.4] <http://www.multicam.com/eng/index.html>

[2.5] <http://www.technocnc.com/>

[2.6] NSK, “Precision Machine Components”, SNK Canada 2006.

[2.7] NSK, “High Dust-resistant Ball Screws, V1 Series”, SNK Japan 2005.

[3.1] <http://www.makitatools.com>

[3.2] <http://www.dewalt.com/Home.aspx>

[3.3] <http://www.portercable.com>

[3.4] SANDVIK Coromant, “Guía técnica, Fresado” SANDVIK España, 2005.

[3.5] SANDVIK Coromant, “Herramientas Rotatorias, Fresado”, SANDVIK España, 2005.

[3.6] CERATIZIT, “Tools and Inserts for Milling”, CERATIZIT Spain, April 2003.

[3.7] S. Kalpakjian, Steven R. Schmid, “Manufactura, Ingeniería y Tecnología”, Quinta edición, Prentice Hall, pp. 726-732, 2008.

[4.1] Bosch Rexroth, “Aluminum Structural Framing System, December 2009”, Bosch Rexroth Corporation, United States 2011.

[4.2] <http://www.boschrexroth.com.mx>

[4.3] <http://www.mx.nsk.com>

[5.1] R. Chandrupatla Tirupathi, D. Belegundu Ashok, “Introducción al Estudio del Elemento Finito En Ingeniería”, Segunda edición, Prentice Hall, 1999.

[5.2] Ansel C. Ugural, Saul K. Fenster, “Advanced Strength and Applied Elasticity”, Four edition, Prentice Hall, 2003.

[5.3] SIEMENS, “Unigraphics NX6”, SIEMENS 2008, Software.

[5.4] AUTODESK, “Autodesk Simulation Multiphysics 2012”, AUTODESK March 2011, Software.

[6.1] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, John T. Dewolf, “Mecánica de Materiales”, Tercera edición, Mc Graw Hill, 2004.