

**Dispositivo CNC para el ruteado de tableros de madera basados en los requerimientos
de la empresa JADE 3D**

Yeison Elías Arias Gómez

Giovanny Alberto Badillo Morales

Trabajo de Grado para optar el título de Diseñador industrial

Director

Luis Alberto Laguado Villamizar

Magister en Ingeniería de Materiales

Codirector

John Faber Archila Díaz

PhD Ciencias en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2020

Tabla de contenido

Introducción.....	20
1. Planteamiento del problema de diseño.....	22
1.1. Descripción del Problema	22
1.2. Formulación De La Pregunta Que Permite Abordar La Situación De Estudio.....	23
2. Justificación	23
3. Objetivos.....	24
3.1. Objetivo general	24
3.2. Objetivos Específicos.....	24
4. Marco Teórico.....	25
4.1. Marco de Referencia Conceptual	25
4.1.1. Control numérico computacional – CNC.	25
4.1.2. Fabricación digital.....	25
4.1.3. Diseño Asistido por Computador – CAD.....	26
4.1.4. Ingeniería Asistida por Computador – CAE.....	27
4.1.5. CAM.....	28
4.1.6. Prototipado rápido.....	28
4.1.7. Proceso de maquinado para láminas de madera.....	28
4.1.7.1. Taladrado.....	29
4.1.7.2. Fresado.....	29
4.1.7.3. Calado.....	30

4.1.7.4. Ruteado	31
4.1.8. Tableros de madera.	31
4.1.8.1. Macizo o alistonado.....	31
4.1.8.2. Tableros de Fibras, DM o MDF	31
4.1.8.3. Tablero contrachapado	32
4.1.8.4. Tablero contrachapado	32
4.2. Marco de referencia contextual	32
4.2.1. JADE 3D.....	32
4.2.1.1. Productos	33
4.2.1.2. Servicios.....	35
4.3. Antecedentes de la situación de estudio.....	36
4.3.1. Herramientas convencionales de ruteado.	36
4.3.1.1. Ruteadora manual.....	37
4.3.1.2. Máquina de corte para láminas de madera.....	37
4.3.2. CNC Horizontales.	38
4.3.2.1. Printrobot Crawlbot.....	38
4.3.2.2. X-Carve.....	39
4.3.2.3. CNC para láminas de Aluminio (proyecto de grado).....	39
4.3.3. CNC Verticales.	40
4.3.3.1. Maslow CNC.....	40
4.3.3.2. Denford Vertical Router	41

4.3.4. Otros sistemas.	42
4.3.4.1. Goliath CNC	42
5. Planeación del producto	42
5.1. Declaración de la misión	42
6. Observación y Análisis para la obtención de requerimientos.....	43
6.1. Análisis del mercado.....	44
6.1.1. DENFORD.....	45
6.1.2. X-CARVE.....	45
6.1.3. MASLOW CNC.....	46
6.1.4. Printrbot Crawlbot.....	46
6.1.5. GOLIATH CNC.....	47
6.2. Análisis de productos y procesos de JADE 3D	47
6.2.1. Productos de la empresa Jade.....	47
6.2.2. Análisis de procesos	48
6.3. Observación y análisis del puesto de trabajo	49
6.3.1. Observación y análisis de puestos de trabajo de dispositivos de Corte y ruteado	49
6.3.1.1. Dispositivo de corte Vertical	49
6.3.1.2. Ruteadora Manual	50
6.4. Entrevista.....	50
6.4.1. Resultados de la entrevista.....	51
6.5. Interpretación de necesidades.....	52

6.6. Ponderación de las necesidades	54
6.6.1. Método Kano.....	54
6.6.1.1. Conclusiones del método Kano.....	56
7. Desarrollo de concepto.....	57
7.1. Concepto 1.....	57
7.2. Concepto 2.....	59
7.3. Concepto 3.....	61
8. Evaluación de concepto.....	63
8.1. Análisis y evaluación	65
8.2. Conclusiones y reflexiones.....	67
9. Prueba de concepto.....	68
9.1. Objetivo de la prueba	68
9.2. Población a encuestar.....	68
9.3. Variables	68
9.3.1. Variable independiente	68
9.3.2. Variable dependiente	69
9.4. Instrumento de medición.....	69
9.5. Procedimiento.....	69
9.6. Formato de la encuesta.....	69
9.7. Comunicación. del concepto	70
9.8. Participantes	70

9.9. Resultados de la prueba.....	72
9.9.1. ¿Qué le disgustó del mecanismo?	75
9.9.2. ¿Qué le gustó del mecanismo?.....	75
9.9.3. ¿Cómo se podría mejorar este concepto?	75
9.10. Conclusiones.....	76
9.11. Modificaciones sugeridas	77
9.11.1. Modificar altura.....	77
9.11.2. Equilibrio del eje x	77
9.11.3. Acoplamiento del eje y o eje base con la placa base.	77
9.11.4. Área de la base mayor a la del modelo de prueba.	77
10. Diseño de detalle y construcción.....	77
10.1. Diagrama de funciones.....	78
10.2. Análisis de esfuerzos mecánicos.	78
10.3. Análisis de cargas estáticas	80
10.4. Funcionamiento mecánico.....	82
10.4.1. Sistema mecánico	82
10.4.1.1. Eje Y – base	83
10.4.1.2. Eje X – horizontal.....	84
10.4.1.3. Eje Z	87
10.4.2. Mecanismos y sistemas de movimiento	87
10.4.2.1. Transmisión por catarinas de cadena.....	88

10.4.2.2. Transmisión por bandas y poleas	88
10.4.2.3. Transmisiones por banda plana o redonda.....	89
10.4.2.4. Transmisión tornillo tuerca - Sistema ScrewsBall	90
10.4.3. Análisis de Sistemas de transmisión.....	91
10.5. Electrónica y control.....	92
10.5.1. Componentes electrónicos	93
10.5.1.1. Motores Paso a Paso	93
10.5.1.2. Tarjeta de Procesamiento.....	94
10.5.1.3. Controladores	94
10.5.1.4. Tarjeta shield	94
10.5.2. Sistema lógico	94
10.5.2.1. firmware.....	94
10.5.2.2. Software de control.....	95
10.6. Construcción del modelo funcional	95
10.7. Proceso de ensamble paso a paso	99
10.8. Imagen corporativa	100
10.8.1. Descripción del logotipo	101
10.8.2. Sistema de empaque y transporte	101
10.8.2.1. Requerimientos para el diseño del Empaque.	101
10.8.2.2. Modelado de empaque.....	102
11. Prueba de Validación.....	102

11.1. Objetivo de la prueba	103
11.2. Variables.....	103
11.3. Elementos utilizados durante la prueba	103
11.4. Equipos de medida.....	104
11.5. Procedimiento.....	104
11.6. Resultados	104
11.6.1. Resultados de corte Convencional	104
11.6.2. Resultados de corte con Dispositivo de Ruteado CNC Diru	106
11.7. Conclusiones de la validación	107
12. Conclusiones	107
Referencias Bibliográficas.....	109

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Diagrama del funcionamiento de un control numérico.....	25
<i>Figura 2.</i> Esquema del flujo de trabajo en la manufactura digital.....	26
<i>Figura 3.</i> Diseño de una pieza en software CAD.....	27
<i>Figura 4.</i> Visualización de resultados de análisis de resistencia.....	27
<i>Figura 5.</i> Simulación CAM en Autodesk Fusion 360.....	28
<i>Figura 6.</i> Fresa para mecanizado de madera.....	30
<i>Figura 7.</i> Caladora 450 W V.V. 0-3000 SPM corte Biselado Black & Decker.....	31
<i>Figura 8.</i> Impresora de filamento JADE 3D -1.....	34
<i>Figura 9.</i> Impresora de filamento JADE 3D II.....	34
<i>Figura 10.</i> Impresora SLA Jade 3D V5.5.....	35
<i>Figura 11.</i> Impresora Jade 3D G1+ Industrial.....	35
<i>Figura 12.</i> Ruteadora manual DeWalt.....	37
<i>Figura 13.</i> Proyecto de grado UIS, cortadora de láminas de madera.....	38
<i>Figura 14.</i> Printbot Crawlbot.....	38
<i>Figura 15.</i> X-Carve.....	39
<i>Figura 16.</i> CNC Proyecto de Grado UIS.....	40
<i>Figura 17.</i> Maslow CNC.....	41
<i>Figura 18.</i> Denford Vertical Router.....	41
<i>Figura 19.</i> Ruteadora Goliath.....	42
<i>Figura 20.</i> Metodología para obtención de requerimientos de diseño.....	44
<i>Figura 21.</i> Proceso de elaboración de las máquinas de JADE 3D.....	49
<i>Figura 22.</i> Operario de sierra Seccionadora vertical SVP 145.....	50

<i>Figura 23.</i> Usuario operando una ruteadora manual DeWalt.....	50
<i>Figura 24.</i> Concepto 1 de dispositivo de ruteado CNC.....	58
<i>Figura 25.</i> Concepto 2 de dispositivo de ruteado CNC.....	60
<i>Figura 26.</i> Concepto 3 de dispositivo de ruteado CNC.....	62
<i>Figura 27.</i> Alternativa A	65
<i>Figura 28.</i> Alternativa B.....	65
<i>Figura 29.</i> Alternativa C.....	66
<i>Figura 30.</i> fotografías del modelo de prueba por piezas y ensamblado	70
<i>Figura 31.</i> Imágenes de los usuarios durante la prueba.	71
<i>Figura 32.</i> Resultados de la pregunta 1 de la prueba de concepto.....	72
<i>Figura 33.</i> Resultados de la pregunta 2 de la prueba de concepto.....	73
<i>Figura 34.</i> Resultados de la pregunta 3 de la prueba de concepto.....	73
<i>Figura 35.</i> Resultados de la pregunta 3 de la prueba de concepto.....	74
<i>Figura 36.</i> Resultados de la pregunta 3 de la prueba de concepto.....	75
<i>Figura 37.</i> Diagrama de operaciones y funciones del DR.....	78
<i>Figura 38.</i> Carga inicial aplicada al modelado del DR para análisis estático.	81
<i>Figura 39.</i> Desplazamiento de la estructura del DR, debido a las cargas estáticas	81
<i>Figura 40.</i> desplazamiento de la estructura del DR, debido a las cargas estáticas.	81
<i>Figura 41.</i> Resultados del análisis de cargas estático del dispositivo de ruteado DR	82
<i>Figura 42.</i> Modelado 3D plano isométrico del dispositivo de ruteado DR.....	83
<i>Figura 43.</i> Modelado 3D de plano isométrico del eje base del DR.	83
<i>Figura 44.</i> Modelado 3D de plano isométrico del eje horizontal del DR.	84
<i>Figura 45.</i> Propuesta inicial para la distribución de componentes.	85
<i>Figura 46.</i> Diseño de la placa basada en la distribución de componentes.	86
<i>Figura 47.</i> Prueba de los ejes laterales.....	86

Figura 48. Modelado 3D de plano isométrico del eje vertical del DR. 87

Figura 49. Acoplamiento de una cadena y una Catarina..... 88

Figura 50. Características de algunos tipos comunes de bandas. 89

Figura 51. Transmisión por banda de sincronización 90

Figura 52. Tonillo de bolas..... 91

Figura 53. Esquemático del sistema de transmisión 91

Figura 54. Esquema de la lógica de control del DR 93

Figura 55. Espacio de trabajo del software CNC JS..... 95

Figura 56. Construcción del modelo funcional de prueba 96

Figura 57. Construcción del eje horizontal para el modelo funcional de prueba. 97

Figura 58. Construcción del eje de ascensión para dispositivo de ruteado DR..... 98

Figura 59. Logotipo de DiRu basado en procesos de calado, ruteado y taladrado..... 101

Figura 60. Sistema de empaque para el dispositivo de ruteado DR DiRu. 102

Figura 61. Dibujo técnico para maquinado de la pieza..... 103

Figura 62. Operario realizando procesos de ruteado, calado y taladrado. 106

Figura 63. DiRu cortando MDF de 9mm en las pruebas 106

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Declaración de la Misión</i>	43
Tabla 2. <i>Análisis del mercado de la DENFORD</i>	45
Tabla 3. <i>Análisis de la X-CARVE</i>	45
Tabla 4. <i>Análisis de la MASLOW CNC</i>	46
Tabla 5. <i>Análisis de la Printrbot Crawlbot</i>	46
Tabla 6. <i>Análisis de la GOLIATH CNC</i>	47
Tabla 7. <i>Análisis de productos de la empresa JADE 3D</i>	48
Tabla 8. <i>Tabulación de la pregunta 1 de la entrevista</i>	51
Tabla 9. <i>Tabulación de la pregunta 2 de la entrevista</i>	51
Tabla 10. <i>Tabulación de la pregunta 3 de la entrevista</i>	52
Tabla 11. <i>Tabulación de la pregunta 4. de la encuesta</i>	52
Tabla 12. <i>Interpretación de las necesidades</i>	53
Tabla 13. <i>Abreviaturas usadas en el método Kano</i>	56
Tabla 14. <i>Tabulación y evaluación de los requerimientos según método Kano</i>	56
Tabla 15 <i>Lista de métricas de los requerimientos del usuario</i>	63
Tabla 16 <i>Matriz de evaluación y selección de conceptos</i>	64
Tabla 17. <i>Tabla de Evaluación de alternativas finales</i>	66
Tabla 18 <i>Listado de participantes de la prueba de concepto</i>	70
Tabla 19 <i>Tipos de motores con sus características y aplicaciones</i>	93
Tabla 20 <i>Características de los motores paso a paso del DR</i>	94
Tabla 21 <i>Criterios para el proceso de fabricación y ensamble</i>	98
Tabla 22 <i>Criterios para el proceso de fabricación y ensamble del conjunto del eje Z</i>	98

Tabla 23 <i>Lista de componentes electrónicos.</i>	99
Tabla 24 <i>Lista de partes mecánicas.</i>	100
Tabla 25. <i>Resultado de procesos de ruteado, calado y taladrado manual.</i>	105
Tabla 26. <i>Resultado de procesos de maquinado con dispositivo de ruteado Diru.</i>	107

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Apéndice A. Encuesta a operarios de dispositivos de ruteado

Apéndice B. Resultados de la Encuesta del modelo Kano.

Apéndice C. Encuesta a usuarios para prueba de concepto.

Apéndice D. Planos técnicos de construcción,

RESUMEN

TÍTULO: DISPOSITIVO CNC PARA EL RUTEADO DE TABLEROS DE MADERA BASADOS EN LOS REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA JADE 3D.*

AUTORES: Yeison Elías Arias Gómez, Giovanni Alberto Badillo Morales**

PALABRAS CLAVES: CAM - CNC - Manufactura Digital - Manufactura Rápida

DESCRIPCIÓN:

En la actualidad, la demanda del mercado está dictada en gran medida por los gustos particulares de cada cliente, estos cada vez exigen personalización para tener un producto diferenciado. Esto ha creado en las empresas productoras la necesidad de implementar nuevas tecnologías que permitan estar preparadas para ajustarse a la demanda. Gracias al auge de las plataformas de desarrollo libres como arduino y las máquinas de prototipado rápido esta tecnología ya no solo hace parte de las grandes empresas sino que es posible implementarlas en pequeñas y medianas empresas con producción de series cortas.

En base a esta tendencia, jade 3D, empresa de la región, emprende un proyecto para implementar el desarrollo y uso de estas tecnologías para impulsarlas en diferentes sectores de la industria regional, especialmente en el sector de la fabricación de muebles, apuntando a crear un dispositivo para ruteado, el cual no solo contribuya con la parte técnica de la producción, sino que además permita unir el modelado CAD (Dibujo Asistido por Computador por sus siglas en inglés) con el software CAM (Manufactura Asistida por Computador) para que las empresas comiencen a invertir en crear y desarrollar sus propios diseños, otorgándoles herramientas para poder alcanzar una madurez en el desarrollo de productos, cosa que es muy carente hoy en día en estas pequeñas y medianas empresas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director Msc. Luis Alberto Laguado Villamizar. Codirector Phd. John Faber Archila Diaz

ABSTRACT

TITLE: CNC DEVICE FOR ROUTING WOODEN BOARDS BASED ON THE REQUIREMENTS OF THE JADE 3D COMPANY.*

AUTHORS: Yeison Elías Arias Gómez, Giovanni Alberto Badillo Morales**

KEYWORDS CAM - CNC - Digital Manufacturing - Quick Manufacturing

DESCRIPTION:

Currently, market demand is largely dictated by the personal tastes of each client, these are increasingly requiring customization of their product in order to have a differentiated result. This has created in production companies the need of implementing new technologies in order to be prepared to meet the demand. Thanks to the rise of free development platforms, such as Arduino and rapid prototyping machines, this kind of technology is not only available for large companies, but also is possible to implement on small and medium enterprises with short production runs.

Based on this trend, Jade 3D, company in the region, undertook a project to implement the development and use of these technologies to promote them in different sectors of the regional industry, especially in the sector of furniture manufacturing, aiming to create a device for routing, which not only contribute to the technical part of production, but also allows attaching the CAD modeling (Drawing Computer Aided by its acronym in English) with CAM software (Manufacturing Computer Aided) for businesses start investing in creating and developing their own designs, giving them tools to reach maturity in product development, which is very lacking nowadays in these small and medium enterprises.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director Msc. Luis Alberto Laguado Villamizar. Codirector Phd. John Faber Archila Diaz

Introducción

Colombia posee un amplio mercado en la industria de la madera en el que pequeñas y medianas empresas buscan crecer a través de el mejoramiento en la calidad de sus productos y los procesos de producción. Una forma prometedora para lograrlo es por medio de una infraestructura adecuada y una maquinaria de alta calidad con tecnología actualizada que permita a las empresas aumentar la productividad sin tener que acrecentar la inversión. El doctor Carlos Montealegre afirma en su tesis acerca de la economía de la madera en Colombia, que uno de los factores restrictivos para la explotación de recursos es la falta de infraestructura para poder llegar a aprovechar los recursos forestales (Montealegre, 2009).

Para que las PYMES productoras de bienes elaborados a partir de la madera puedan ser competitivas en el mercado, deben adquirir dispositivos de para el área de producción que ayude a mejorar los tiempos y la calidad en los procesos.

JADE 3D es una empresa santandereana fabricante de equipos de prototipado la cual busca implementar soluciones de diseño basado en las nuevas tecnologías de manufactura, enfocado en la mejora de los procesos y resultados de las empresas, especialmente del sector joyero de la región.

Actualmente la empresa busca expandir su área de aplicación con el desarrollo de un Dispositivo CNC (Control Numérico Computacional) para el ruteado para el sector de la madera y este proyecto apoyará la investigación de JADE 3D para la realización de una propuesta que pueda ser adquirida por empresarios nacionales y que puedan llevar a cabo las tareas de ruteado con buena calidad y en menor tiempo enfocándose en la propuesta de diseño del dispositivo ruteador aplicando tecnologías apropiadas y que pueda ser fabricado en la región.

En el presente trabajo se aborda la situación de la empresa JADE 3D que por medio de la apropiación de tecnología busca desarrollar un ruteador cnc para tableros de madera. En este documento se presenta el planteamiento del problema de diseño y el estado del arte con el que se aborda dicha situación y se trazan los objetivos con los cuales se desea dar respuesta a la pregunta de diseño.

1. Planteamiento del problema de diseño

1.1. Descripción del Problema

JADE 3D es una empresa santandereana centrada en ofrecer soluciones de diseño para las pequeñas y medianas empresas de la región. Su objetivo principal es brindar acompañamiento en la implementación de nuevas tecnologías de manufactura que permitan a estas empresas mejorar sus procesos productivos.

Como parte de su portafolio, JADE 3D cuenta con servicios de capacitación en sistemas CAD para la manufactura, lo cual ha complementado de manera muy satisfactoria con su línea de impresoras 3D. Esto ha generado un gran impacto en el sector de la joyería, en donde el ecosistema de CAD y manufactura rápida ha cambiado de manera sustancial la dinámica del sector, haciendo que en los últimos años la empresa se dedique intensivamente a trabajar con los joyeros.

Actualmente JADE 3D está buscando opciones para ampliar su campo de aplicación queriendo incursionar en el sector de la elaboración de productos de madera (principalmente láminas de aglomerados) a través de tecnología CNC, apoyando el desarrollo de pequeñas y medianas empresas que buscan mejorar su productividad. Para ello la empresa requiere desarrollar una propuesta para el diseño de un dispositivo de ruteador operado por computador (CNC) que permita mejorar las tareas de corte y grabado con gran precisión y en menos tiempo que los procesos que en la actualidad se usan en la mayoría de las pequeñas y medianas empresas de la región.

El desarrollo y la producción del nuevo dispositivo debe contar con un plan estratégico que tenga en cuenta las condiciones presentes de la empresa, los procesos, las capacidades y la línea de los productos actuales. Esto con el fin de aprovechar al máximo los recursos existentes, para generar un producto que se integre no solo a las necesidades del cliente sino a la situación de

la empresa, con el propósito de que esto genere una identidad corporativa que refleje la empresa y le genere valor y diferenciación a esta.

1.2. Formulación De La Pregunta Que Permite Abordar La Situación De Estudio

¿En qué medida se disminuye el tiempo en los procesos de fabricación de un producto a partir de láminas de madera con el diseño de un dispositivo de ruteado CNC para la empresa Jade 3D?

2. Justificación

En el departamento de Santander se encuentran registradas 75 empresas cuya actividad económica principal es la fabricación y transformación de productos de láminas de madera (compite 360, 2009). Este sector en el departamento tuvo una producción bruta de 359 mil millones de pesos según la Encuesta Anual Manufacturera de 2016 (DANE, 2017). Esto posiciona a Santander como el octavo departamento que más produce en esta industria, generando un aporte del 7% del total de la producción nacional.

La manufactura ya no se trata simplemente de fabricar productos físicos. Los cambios en la demanda de los consumidores, la naturaleza de los productos, la economía de la producción y la economía de la cadena de suministro, han llevado a un cambio fundamental en la forma en la que las empresas hacen negocios. Los clientes exigen personalización y adaptación, conforme la línea entre el consumidor y el creador sigue desdibujándose. (Hagel III, Seely Brown, Kulasooriya, Giffi, & Chen, 2015).

Un dispositivo de ruteado CNC, permite introducir a la PYME y a los entusiastas a la manufactura digital, detrás de esto se pueden crear nuevos modelos de negocios que permite a la empresa y los emprendedores generar productos de buena calidad, disminuyendo los tiempos de fabricación, por lo cual el beneficio no solo se representa en el productor sino también en el

consumidor. Adicionalmente, una de las mejoras, es que por medio de la tecnificación se ayudará al desarrollo de otros productos en la región debido a la implementación del 3D en la pequeña industria lo cual permitirá que puedan generar de manera adecuada sus propios diseños.

Es importante que desde el campo del diseño industrial se trabaje en la búsqueda de opciones para el mejoramiento del sector productivo en la región a través de la implementación de tecnologías apropiadas con las cuales el sector maderero en Colombia se verá altamente beneficiado con la adquisición de dispositivos electromecánicos CNC desarrollados en el país puesto que aparte de suprimir los costes de transporte e importación, también disminuirá la inversión requerida para el mantenimiento de los equipos.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Diseñar un dispositivo para CNC para ruteado, que permita disminuir el tiempo invertido en los procesos de fabricación de un producto a partir de láminas de madera para la empresa Jade 3D.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los requerimientos y especificaciones del dispositivo basados en los procesos y tecnologías de los productos de la empresa JADE 3D y la demanda de los usuarios.
- Proponer y evaluar alternativas para el diseño y la configuración del dispositivo de ruteado.
- Construir un modelo funcional que permita la validación del diseño.
- Evaluar el tiempo en tareas de ruteado del dispositivo CNC en relación con los procesos

convencionales de ruteado, calado y taladrado.

4. Marco Teórico

4.1. Marco de Referencia Conceptual

4.1.1. Control numérico computacional – CNC. El concepto de Manufactura Digital se genera primero a partir de la tecnología de control numérico (NC o CNC) y las máquinas herramienta NC. La tecnología NC proporciona direcciones expresadas en números y caracteres y controla las máquinas con esas instrucciones. No solo controla la posición, el ángulo, la velocidad y los parámetros mecánicos, sino que también controla la temperatura, la presión, el flujo y otros parámetros. Estos parámetros no solo se pueden expresar en números, sino que también se pueden medir y controlar. Si un dispositivo usa comandos numéricos para lograr su proceso automático, lo llamamos equipo NC. Obviamente, está lejos de ser Manufactura Digital, pero es una base muy importante para la Manufactura Digital. (Zhou, Xie, & Chen, 2012).

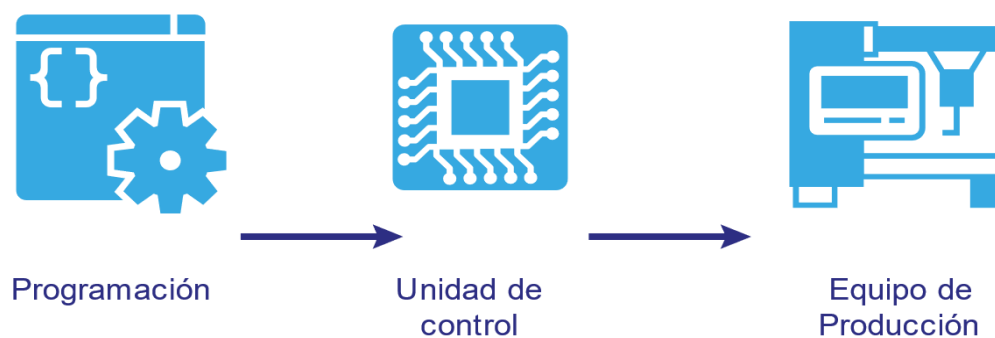


Figura 1. Diagrama del funcionamiento de un control numérico.

4.1.2. Fabricación digital. La fabricación digital es un proceso de fabricación que, con el apoyo de tecnologías como la realidad virtual, redes informáticas, prototipado rápido y bases de datos, se basa en la demanda del cliente para analizar, organizar y recombinar la información del producto, la información del proceso y la información de recursos, implementa el diseño de producto y simulación de funciones, así como prototipo rápido y luego realiza una

producción rápida para satisfacer la demanda del cliente y los estándares de calidad. Como una nueva disciplina de la ciencia de la manufactura, sintetiza diversas disciplinas de la manufactura y representa la corriente principal de desarrollo en dirección de la tecnología de fabricación avanzada. (Zhou, Xie, & Chen, 2012)

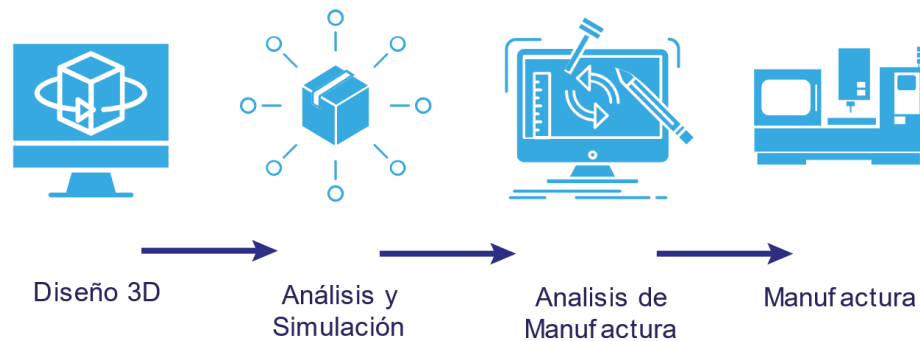


Figura 2. Esquema del flujo de trabajo en la manufactura digital.

4.1.3. Diseño Asistido por Computador – CAD. Con el desarrollo de las tecnologías de cómputo y la combinación de gráficos generados por computador y el diseño mecánico, el Computer Aided Design (CAD o diseño asistido por computador) es un sistema que toma la base de datos como su núcleo central, el sistema de gráficos interactivos como el método y los análisis y cálculos del proyecto como su cuerpo principal. CAD completa el diseño del producto incluyendo la generalización para establecer la documentación con la ayuda de la tecnología informática y tecnología de software de gráficos. El sistema CAD describe con precisión los objetos en bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) en forma digital, promoviendo así la habilidad de describir y producir eficientemente en el proceso de manufactura. (Zhou, Xie, & Chen, 2012).

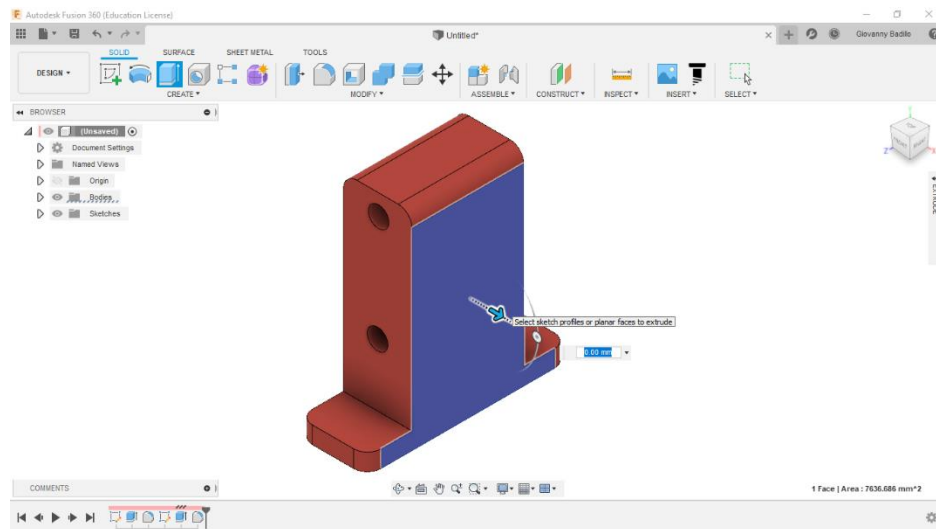


Figura 3. Diseño de una pieza en software CAD.

4.1.4. Ingeniería Asistida por Computador – CAE. Computer Aided Engineering (CAE o ingeniería asistida por computador) es una extensión de la tecnología CAD, que es capaz de realizar análisis de ingeniería, cálculo, verificación y simulación para modelos de pieza en proceso de fabricación mediante el uso de sistemas de computadoras, llevando a cabo una evaluación efectiva y dando resultados de juicio para funcionamiento, rendimiento y varios índices del diseño del producto. (Zhou, Xie, & Chen, 2012)

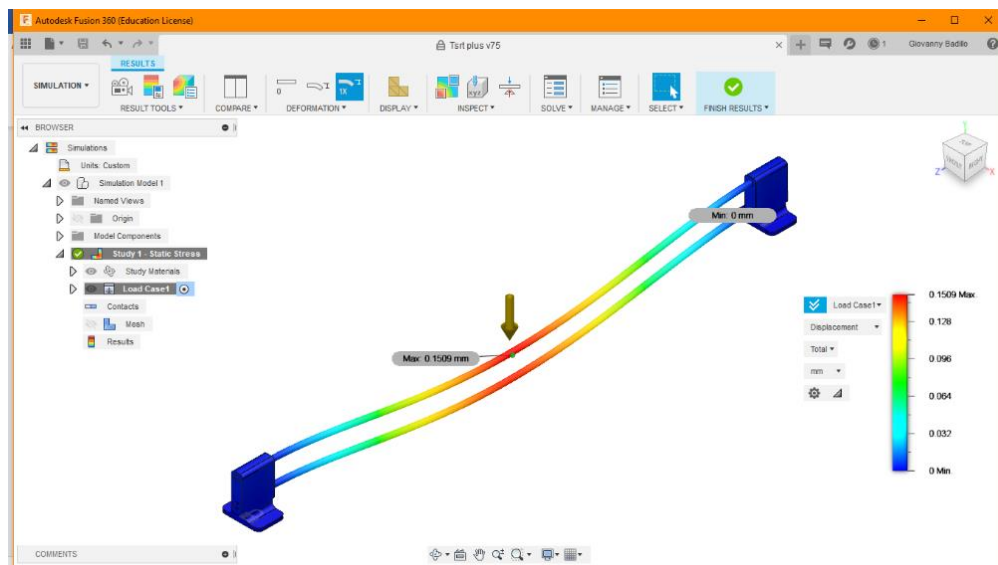


Figura 4. Visualización de resultados de análisis de resistencia.

4.1.5. CAM. Computer Aided Manufacturing (CAM o manufactura asistida por computador), Es la suma de todas las actividades directas e indirectas, desde el espacio en blanco hasta la finalización del producto completada en el proceso de manufactura del producto usando tecnología de asistida por computador. (Zhou, Xie, & Chen, 2012).

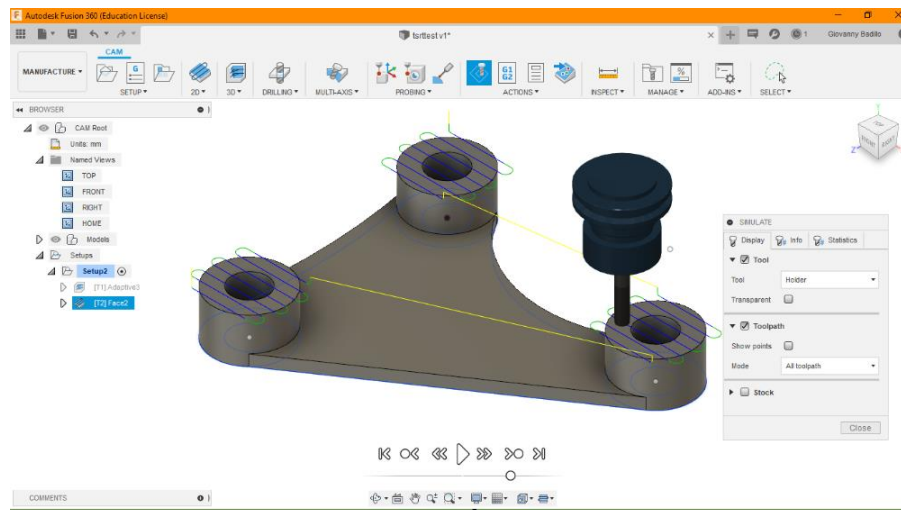


Figura 5. Simulación CAM en Autodesk Fusion 360

4.1.6. Prototipado rápido. El término Rapid Prototyping (o RP) se usa en una variedad de industrias para describir un proceso para crear rápidamente un sistema o una representación parcial antes del lanzamiento final o comercialización. En otras palabras, el énfasis está en crear algo rápidamente y que el resultado es un prototipo o modelo de base a partir del cual más modelos y finalmente se derivará el producto final. (Gibson, Rosen, & Stucker, 2010).

4.1.7. Proceso de maquinado para láminas de madera. La maquinaria en los procesos de corte de láminas de madera es fundamental ya que es la herramienta la que realiza el trabajo sobre la madera. Es por eso que cada día mejoran las técnicas utilizadas con el fin de obtener eficiencia en las operaciones, obtener calidad en las superficies y precisión de corte además de disminuir el desgaste de: las herramientas, el consumo de energía y la pérdida de materia prima.

Los principales procesos de fabricación por separación mecánica por separación de viruta son aserrado, taladrado, cepillado y lijado, fresado y ruteado.

4.1.7.1. Taladrado. Es una operación que tiene por objeto el mecanizado de agujeros, con obtención de virutas. Para esta operación se emplean elementos de corte circular denominados brocas, los cuales se fabrican de acero templado. Las máquinas en las que se instalan las brocas reciben el nombre de taladros o taladradoras. Existen muchos tipos de taladros: pero en definitiva se pueden dividir en taladros portátiles (de bricolaje) y taladros de sobremesa o de columna (los cuales son fijos). Los taladros de sobremesa permiten efectuar agujeros de diámetros mayores y de más precisión.

Selección de la broca. Es importante tener en cuenta el tamaño de la broca con respecto a la magnitud del agujero, la dureza del material y el tipo de broca seleccionándola por el afilado ya que la forma de la punta determina el tipo de material para la que se emplea.

Para taladrar correctamente se deben:

- Seleccionar la velocidad de corte
- Se sujeta la pieza que se taladre.
- Se puntea el centro del agujero.
- Se elige la broca adecuada.
- Se inicia la operación, acercando la broca lentamente al material. De hecho, la velocidad de avance viene determinado por el tipo de broca y la dureza del material.
- Una vez practicado el orificio, se retira la broca lentamente.

4.1.7.2. Fresado. Es una operación mecánica que consiste en labrar cuerpos prismáticos mediante arranque de viruta. La máquina herramienta que realiza esta operación se conoce como fresadora. Los fresadores disponen de unos elementos denominados fresas que se mueven con movimiento de rotación, mecanizando superficies de piezas que se desplazan bajo la herramienta con movimiento rectilíneo (Altemir Grasa, 2008).



Figura 6. Fresa para mecanizado de madera. Nota: Recuperado de “Fresas, el corazón del mecanizado de madera en CNC y router”, Villar, C, junio de 2017. Recuperado de <https://revista-mm.com/blog/herramientas/fresas-corazon-mecanizado-madera-cnc-router/>

Las fresas son de distintas formas, tamaños y trabajan de la siguiente forma:

Las virutas son arrancadas debido a la rotación de la fresa, cuyos dientes se encuentran formando una circunferencia.

Existen dos grupos de fresas:

- Fresas cilíndricas: el eje de la fresa es paralelo a la superficie a fresar.
- Fresas frontales: el eje de la fresa es perpendicular a la superficie a fresar.

4.1.7.3. Calado. La pérdida de material se hace a través de una caladora También llamada sierra de vaivén. Es una herramienta que permite realizar cortes curvos o rectos y las hay de banco o de tipo manual, eléctrico o con fuente de energía a través de un acumulador recargable.

Una Caladora puede manipularse de forma vertical con respeto a la horizontal de trabajo generando un corte plano o inclinándose en un ángulo entre 5 y 10 grados para corte en sesgo.

(Artesanías de Colombia S.A ., 2008)



Figura 7. Caladora 450 W V.V. 0-3000 SPM corte Biselado Black & Decker. Nota: recuperado de “Discovery tools”, de Discovery tools. Recuperado de <https://www.discovertools.com.co/detalle.php?id=501586>.

4.1.7.4. Ruteado Tradicionalmente se ha hecho el proceso con una ruteadora que se opera de forma manual. Permite realizar huecos, fresado y rutas sobre aglomerados, MDF o maderas sólidas. Durante el proceso de ruteado no se utilizan lubricantes ya que pueden manchar la madera y este tipo de manchas no son permitidas en la industria moderna, y principalmente usada para la manufactura de muebles. (González, 2009).

El proceso de ruteado se hace siguiendo una ruta previamente marcada sobre la superficie de trabajo, generalmente usado para cortes curvos que requieren un radio de curvatura muy preciso. (González, 2009).

4.1.8. Tableros de madera. En el mercado existen varios tipos de tableros de madera los cuales tienen diferentes aplicaciones. A continuación presentaremos una clasificación según su composición.

4.1.8.1. Macizo o alistonado Los tableros de madera maciza son básicamente listones de madera encolados que forman un tablero, lo que se conoce como tablero alistonado. Para la unión, además de colas y adhesivos se pueden utilizar tarugos, machiembrados o uniones dentadas. (maderame, s.f.)

4.1.8.2. Tableros de Fibras, DM o MDF Para esta clase de tablero se utilizan pequeñas

fibras de madera, menor que las utilizadas para los aglomerados, que se prensan y encolan. Durante el proceso de fabricación industrial también se suelen añadir componentes químicos que mejoran las propiedades del tablero. Con mayor frecuencia tableros hidrófugos, mayor resistencia al agua, e ignífugos, retardantes frente a la acción del fuego.

Se pueden encontrar tanto en bruto como con capas de melamina, por lo que sus usos son similares a los de los tableros aglomerados. Sin embargo una diferencia a destacar es que son excelente soporte para la aplicación de acabados (barniz, esmalte, lacas...), ya que su textura no solo es más lisa sino que además admite el lijado.

Aunque estos tableros de fibras se conocen como MDF o DM (densidad media), estas siglas solo hacen referencia a una densidad aproximada de 650-700 kg/m³. Si la densidad es superior lo lógico es hablar de HDF (High Density Fibreboard), y si es inferior, baja densidad. (maderame, s.f.)

4.1.8.3. Tablero contrachapado Los tableros contrachapados se forman apilando chapas de madera, con orientaciones contrapuestas para mejorar la resistencia y estabilidad, y aplicando colas para su fijación. Esta clase de tablero presenta una resistencia importante y en función del tratamiento aplicado se puede incluso usar en contacto con el agua, de ahí que también se le conozca en determinados sitios como chapa marina, tablero marino. (maderame, s.f.)

4.1.8.4. Tablero contrachapado Consiste en utilizar virutas, mayores que las usadas para fabricar los tableros aglomerados, para formar capas. En cada capa todas las virutas están un mismo sentido. Y estas capas se van uniendo unas con otras alternando la dirección de las virutas. Con ello se consigue un efecto similar al conseguido en los tableros contrachapados al alternar las direcciones de las chapas. (maderame, s.f.)

4.2. Marco de referencia contextual

4.2.1. JADE 3D La empresa JADE 3D con paso del tiempo se ha planteado una misión clara y una proyección sólida sobre su papel en la región de Santander. En la página de la

empresa podemos encontrar la definición de JADE 3D (2019) como:

Somos una empresa Santandereana que brinda a sus clientes un paquete completo de servicios para el diseño, modelado por computadora e impresión 3D para la Joyería, asesorando el desarrollo de las piezas. Ofrecemos servicios a partir de nueva tecnología, ampliando y optimizando el proceso de fabricación de los productos de cada uno de nuestros clientes.

Con experiencia de más de 10 años en la asesoría e implementación de sistemas de digitalización, prototipado rápido y fabricación (sistemas CAD, CAM y CAE) que abarcan desde la capacitación inicial en modelado digital hasta el montaje e implementación de líneas de producción en diferentes áreas, siendo para esto representantes autorizados de múltiples software, hardware y firmas reconocidas en el mercado.

Atendiendo a los requerimientos del sector joyero ofrecemos desarrollos propios en impresoras 3D que cuentan con las características y condiciones técnicas específicas para sus necesidades y al ser desarrolladas y fabricadas aquí en Colombia tienen respaldo total sobre su funcionamiento. Nuestra oferta comercial consiste en suministrar un paquete completo que incluya tecnología con unos complementos adicionales, además del soporte, garantía y servicio técnico dado aquí en Bucaramanga. (Jade 3D tecnologías y desarrollo, 2019)

4.2.1.1. Productos. Jade cuenta con una línea de impresoras 3D que pueden atender tanto las necesidades de los usuario domésticos como las exigencias de las empresas.

Jade 3D Filamento -1 (Anet). Esta impresora fue la primera en su clase construida por la empresa JADE 3d con un diseño basado en un formato libre pero fabricado en la región. Es de tecnología de modelado por deposición de filamento fundido ya sea en material como ABS o PLA. cuenta con una resolución en z de 200 micrones y produce modelos de hasta 120 x 140 x 130 mm.

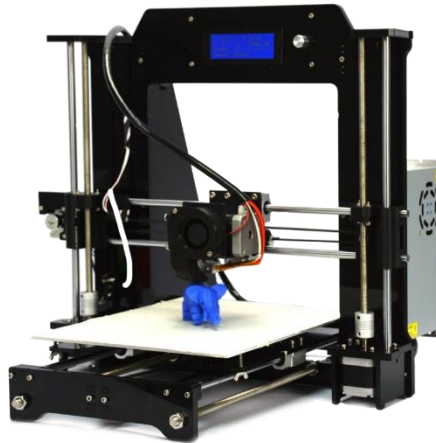


Figura 8. Impresora de filamento JADE 3D -1. Nota: recuperado de Jade 3D: Tecnología 3D, de Jade 3D. Recuperado de <http://jade3d.com/equipos/>

Jade 3D Filamento -2. Con esta nueva máquina, JADE 3D implementa unas mejoras sustanciales respecto a la anterior. La nueva impresora cuenta con un chasis diseñado y producido totalmente en la región, e introduce mejoras en la parte de calibración y una cama caliente. su volumen de impresión es de 300 x 300 x 300 mm.



Figura 9. Impresora de filamento JADE 3D II. Nota: recuperado de Jade 3D: Tecnología 3D, de Jade 3D. Recuperado de <http://jade3d.com/equipos/>

Jade 3D V5.5. Esta impresora difiere de la anteriores ya que es la primera impresora diseñada por JADE 3D que se basa en la tecnología SLA o estereolitográfica por medio de resina fotosensible, tiene un tamaño de impresión de 120 x 68 x 100 mm, con una resolución en Z de 10 a 300 micrones dependiendo del tipo de resina.

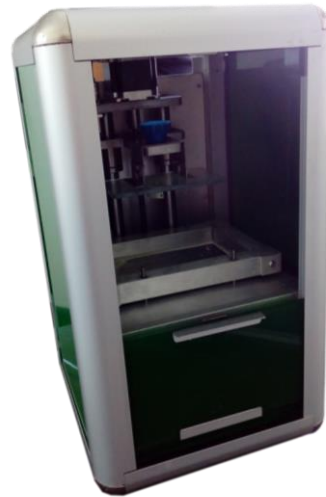


Figura 10. Impresora SLA Jade 3D V5.5. Nota: recuperado de Jade 3D: Tecnología 3D, de Jade 3D. Recuperado de <http://jade3d.com/equipos/>

Jade 3D G1+ Industrial. La Jade 3D G1+ Industrial, como su nombre lo indica es la implementación de la tecnología de impresión SLA para la industria de la joyería. Tiene una resolución de hasta 10 micrones (0.01mm) y un volumen de impresión de 96 x 54 x 200 mm. su peso es de 15 kg y su velocidad de impresión es alrededor de 1.2 horas para un anillo solitario de 22 mm



Figura 11. Impresora Jade 3D G1+ Industrial. Nota: recuperado de Jade 3D: Tecnología 3D, de Jade 3D. Recuperado de <http://jade3d.com/equipos/>

4.2.1.2. Servicios. Los servicios son la principal actividad económica de JADE 3D, por medio de las asesorías y capacitaciones es donde la empresa ha encontrado nuevas oportunidades de negocio para el desarrollo de sus tecnologías.

Asesorías. JADE 3D brinda acompañamiento a las empresas para suplir sus necesidades, por medio de asesorías en la implementación de tecnologías 3D en la fabricación de producto, adaptando nuevos procesos para asegurar y optimizar su desarrollo garantizando una buena inversión.

Ha trabajado con diferentes empresas e instituciones educativas abarcando los campos de diseño industrial, joyería, ingeniería, arquitectura, calzado entre otros.

Capacitaciones. Jade 3d en alianza con VOXEL C&T opera en sus instalaciones un centro de capacitación autorizado. Ofrece cursos de Rhinoceros para las áreas de joyería, calzado, diseño, arquitectura y más.

4.3. Antecedentes de la situación de estudio

Gracias a la masiva implementación de la electrónica y los microcontroladores, los dispositivos CNC han dejado de ser solo una realidad de las grandes industrias para convertirse en una herramienta para las pequeñas y medianas empresas. Esto ha logrado que se hayan desarrollado dispositivos que pueden realizar diferentes tareas y manipular varias herramientas dependiendo del sector dónde se aplique esta tecnología, es así como estos dispositivos se pueden hallar en máquinas tales como cortadoras láser o impresoras 3d, hasta máquinas capaces de manipular rotuladores capaces de crear murales.

Aunque su uso sea muy extendido básicamente las principales características para tener en cuenta son: el número de ejes y la disposición del plano de trabajo. En este apartado se analizan por el plano de trabajo y adicionalmente se realiza un análisis a las herramientas convencionales (no CNC).

4.3.1. Herramientas convencionales de ruteado. Las ruteadoras CNC parten la mejora de las herramientas convencionales a las cuales se les ha añadido un sistema para automatizar sus movimientos.

4.3.1.1. Ruteadora manual. La ruteadora manual es una herramienta que permite perforar, cortar o grabar sobre la madera sobre un plano, guiada por el operario, de tal manera que pueden lograrse altos y bajos relieves en la madera. Hace uso de unas fresas intercambiables de las cuales dependen del grosor del corte que se quiera lograr o si se requiere cortes rectos o redondeados, estas se ubican en el eje de rotación. Se usa generalmente cuando se requiere realizar cortes complejos pero precisos.



Figura 12. Ruteadora manual DeWalt. Nota: recuperado de “Discovery tools”, de Discovery tools. Recuperado de <https://www.discovertools.com.co/detalle.php?id=501586>.

4.3.1.2. Máquina de corte para láminas de madera. Proyecto de grado llevado a cabo por el estudiante Camilo Antonio Sánchez Vanegas de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Se basa en un sistema de corte de láminas de madera, el cual consta de una sierra la cual se desplaza en sentido vertical, guiada por el operario. Es útil principalmente para cortes en línea recta, el nivel de complejidad de uso aumenta al hacer cortes curvos.



Figura 13. Proyecto de grado UIS, cortadora de láminas de madera. Nota: recuperado de “Diseño y Construcción de una Máquina de Corte para Láminas de Madera”, de Sánchez, C., 2012, Universidad Industrial de Santander, p. 158. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2019/174955.pdf>

4.3.2. CNC Horizontales.

4.3.2.1. Printrbot Crawlbot. La Crawlbot es una CNC para trabajar en el maquinado de áreas grandes, especialmente tableros de madera. Se programa para que corte sobre un plano XY. Cuenta con una estructura que le permite usar como base cualquier tablero de manera, de tal manera que se ahorra material en la construcción de es uno de sus ejes.



Figura 14. Printrbot Crawlbot. Nota: recuperado de “Review: Printrbot Crawlbot Changes Everything About Large CNC Routing”, de Loik, J., 24 de septiembre de 2015. Tomado de <https://makezine.com/2015/09/24/printrbot-crawlbot-review/>

4.3.2.2. X-Carve Esta es una máquina diseñada y distribuida por inventables, es quizás el modelo más popular de CNC de escritorio, esto gracias su diseño abierto y al uso mayoritariamente de componentes comerciales, logrando que tenga gran acogida entre la comunidad de “makers” que se han encargado de crear varias réplicas y material “DIY” (hágalo usted mismo por sus siglas en inglés: Do it yourself).

Al igual que muchos varios de de sus homólogos está basado en la plataforma GRBL.



Figura 15. X-Carve Recuperado de: “Inventables Technologies”. Recuperado de <https://www.inventables.com/technologies/x-carve>

4.3.2.3. CNC para láminas de Aluminio (proyecto de grado). Estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander desarrollaron dispositivo CNC el cual fue diseñado para maquinar piezas en láminas de aluminio que posteriormente se utilizarán para ensamblar y configurar partes de máquinas y elementos robóticos.



Figura 16. CNC Proyecto de Grado UIS. Nota: Recuperado de “Diseño y construcción de un mini-router cnc para cortar láminas de aluminio”, de Afanador, D., Perez, C., 2013, Universidad Industrial de Santander, P 110. Recuperado de tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/147438.pdf

4.3.3. CNC Verticales. Una categoría de CNC que se han venido desarrollando en los últimos tiempos es las CNC cuyo plano de trabajo sea un plano inclinado de elevación. Esto se ha dado gracias al desarrollo de la electrónica ya que su electrónica requiere de cálculos complejos para el control de movimiento.

4.3.3.1. Maslow CNC. Maslow es un proyecto en desarrollo, de plataforma abierta, en donde se está trabajando el desarrollo de una CNC vertical, en el cual su mayor desarrollo es que se basa en el uso de cables tensionados para mover sus dos ejes extremos, permitiendo el movimiento del eje central el cual realiza la función de corte.



Figura 17. Maslow CNC. Nota: Recuperado de “Maslow CNC”, por Smith, B., Teagle H., 2016. Recuperado de <https://www.maslowcnc.com/>

4.3.3.2. Denford Vertical Router. La empresa denford produce una CNC de corte vertical. Una pieza calificada como de una tecnología e ingeniería avanzada, que combina una alta velocidad de corte junto con una precisión que, a su vez, debido a sus dimensiones ahorra espacio en la instalación y está diseñada para ser usada en la madera para elaboración de muebles.



Figura 18. Denford Vertical Router. Nota: Recuperado de “Technologies supply internation” Recuperado de <https://www.technologysupplies.com/denford-vertical-router.html>

4.3.4. Otros sistemas.

4.3.4.1. Goliath CNC. La ruteadora goliath es un desarrollo que permite un dispositivo que recorre autónomamente, sin necesidad de ejes, rieles o cadenas, por las láminas de trabajo. Es básicamente un robot de tres ruedas con una ruteadora que permite gran precisión a sacrificio de velocidad y peso del dispositivo lo cual le resta un poco a la portabilidad.



Figura 19. Ruteadora Goliath. Nota: Recuperado de “Goliath – The first autonomous robotic tool for makers”. Recuperado de: <https://www.goliathcnc.com/tech-specs>

5. Planeación del producto

5.1. Declaración de la misión

Debido a las diferentes facetas y dimensiones que puede tomar el proyecto, se crea un documento donde se plantean los objetivos claves que se quieren alcanzar con el proyecto. La declaración de la misión plantea una visión general acerca del producto (Ulrich, 2013). Proporcionando información relacionada al desarrollo del dispositivo CNC para el ruteado de tableros de madera el cual permite realizar múltiples operaciones ahorrando tiempos de producción.

Tabla 1.
Declaración de la Misión

Declaración de la misión	
Descripción del producto	Dispositivo CNC para el ruteado de tableros de madera
Propuesta de valor	Permite realizar múltiples operaciones (fresado, corte, perforación) en tableros de madera, ahorrando el tiempo que llevaría realizar los procesos con cada máquina por separado.
Metas claves del negocio	Ampliar la línea de productos que ofrece la empresa con miras a crear un ecosistema de manufactura
Mercado primario	Pequeños y medianos fabricantes de muebles y productos de madera
Mercado Secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectos • Diseñadores de mobiliario
Suposiciones	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño paramétrico • Disponible para recibir mejoras y actualizaciones a futuro • Procesos de producción ordinarios • Funcionamiento mecánico y electrónico programable.
Involucrados	<ul style="list-style-type: none"> • Compradores • Operarios • División de Servicio Técnico JADE 3D

6. Observación y Análisis para la obtención de requerimientos

Para llevar a cabo el proceso de desarrollo de un producto se requiere realizar un acompañamiento al usuario y realizar un análisis de cómo percibe y utiliza la herramienta de trabajo. Además, es importante conocer lo que el cliente busca en el mercado ya que puede brindar datos que ayuden a establecer requisitos para el funcionamiento del dispositivo.

Existen diferentes métodos con lo que el diseñador industrial se puede apoyar para la recopilación de datos. Algunos como el modelo KANO ayudan a la identificación y clasificación de características atractivas de un producto.

Para la definición de requerimientos se aplicaron los métodos de análisis del mercado, entrevistas a usuarios y modelo Kano para la clasificación de las necesidades. (

Figura 20)

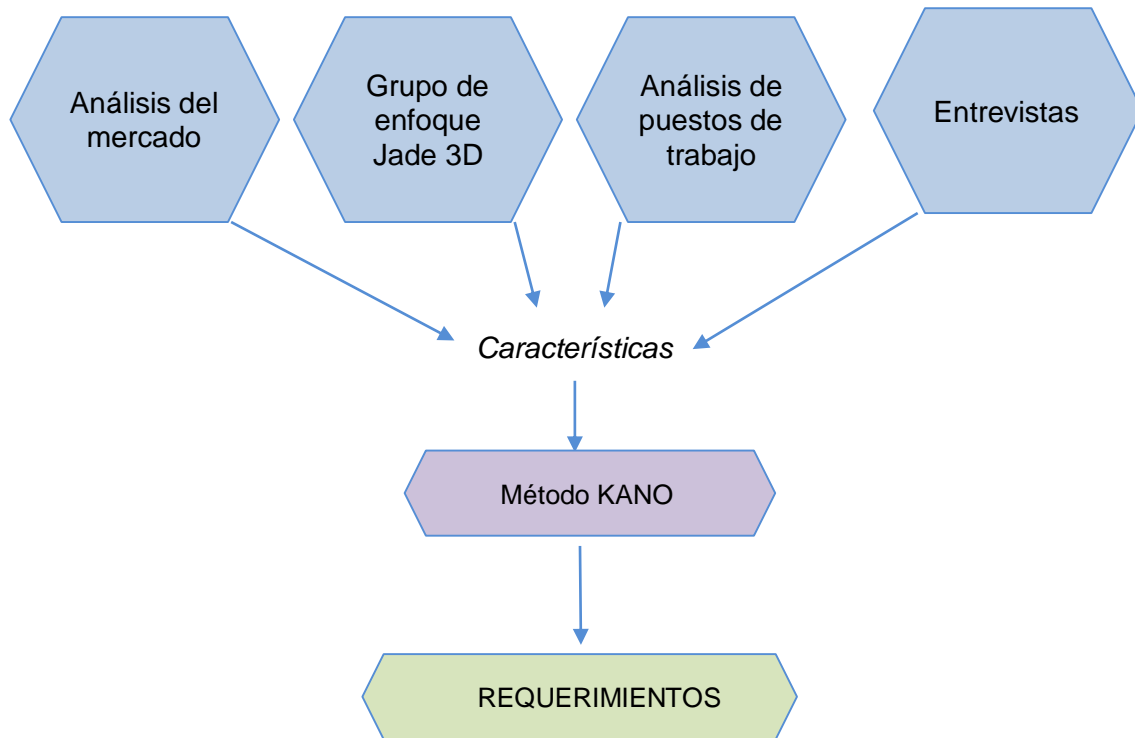


Figura 20. Metodología para obtención de requerimientos de diseño

6.1. Análisis del mercado

Se realizó una revisión a dos revistas especializadas en dispositivos CNC: ALL3DP y MAKEZINE. Estas revistas obtienen información de primera mano de los fabricantes como también de pruebas que realizan directamente su equipo editorial, brindando información fiable que hacen que sea un medio muy popular entre los usuarios y aficionados de este tipo de maquinaria.

Se seleccionaron los dispositivos en los que resaltan aspectos únicos en sus características que les otorgara una ventaja diferenciadora respecto a los demás, resultando una lista de cinco dispositivos.

En los cinco dispositivos seleccionados se encuentran tanto dispositivos DIY (Do It Yourself o hágalo usted mismo) como también equipamiento profesional.

6.1.1. DENFORD

Tabla 2.

Análisis del mercado de la DENFORD

Característica	Especificación
Área de trabajo (cm)	120 X 80
Número de operarios	1
Extracción de Viruta	Si
Materiales de fabricación	Aluminio
Materiales de trabajo	Madera, polímeros metales blandos
Dimensiones Generales [L. x An. x Al.](cm)	75 x 220 x 192
Controles incorporados	Botón de parada Control de ejes
Hardware	Proyecto Cerrado
Precio	\$ 113.000.000
Accesorios	Prensas de corte
Profundidad de corte (mm)	150
Ventajas	Tiene la mejor profundidad de corte, permite trabajar con piezas de gran tamaño, optimiza el volumen de la máquina.
Desventajas	Posee un coste elevado, todos los repuestos toca adquirirlos a la casa matriz.

6.1.2. X-CARVE

Tabla 3.

Análisis de la X-CARVE

Característica	Especificación
Área de trabajo (cm)	75 x 75
Número de operarios	1
Extracción de Viruta	No
Materiales de fabricación	Aluminio - madera
Materiales de trabajo	Madera, polímero y metales blandos
Dimensiones Generales [L. x An. x Al.](cm)	125 x 100 x 40
Controles incorporados	Botón de parada
Hardware	Proyecto abierto
Precio	\$ 6.000.000
Accesorios	x

Profundidad de corte (mm)	65
Ventajas	Realiza procesos rápidos y con gran precisión, es de fácil ensamble y mantenimiento. hace uso de varias piezas de repuesto estándar.
Desventajas	El área de trabajo es muy reducida por lo que solo realiza trabajos a pequeñas escalas.

6.1.3. MASLOW CNC

Tabla 4.
Análisis de la MASLOW CNC

Característica	Especificación
Área de trabajo (cm)	240 x 120
Número de operarios	2
Extracción de Viruta	Si
Materiales de fabricación	Metal - madera
Materiales de trabajo	Madera
Dimensiones Generales [L. x An. x Al.](cm)	100 x 340 x 210
Controles incorporados	x
Hardware	Proyecto abierto
Precio	\$ 3.000.000
Accesorios	Sistema de movimientos del eje
Profundidad de corte (mm)	50
Ventajas	Fácil ensamble y mantenimiento, uso de hardware con plataforma abierta
Desventaja	posee una interfaz del hardware muy básica, y no tiene controles manuales de emergencia

6.1.4. Printrbot Crawlbot

Tabla 5.
Análisis de la Printrbot Crawlbot

Característica	Especificación
Área de trabajo (cm)	150 x 300
Número de operarios	2
Extracción de Viruta	Si
Materiales de fabricación	Aluminio
Materiales de trabajo	Madera

Dimensiones Generales [L. x An. x Al.](cm)	50 x 200 x 50
Controles incorporados	Encendido apagado, parado de emergencia
Hardware	Proyecto cerrado
Precio	\$ 12.000.000
Accesorios	x
Profundidad de corte (mm)	50
Ventajas:	Permite acoplarse al tamaño de la lámina que se trabaja, estructura reducida, portable.
Desventajas:	Necesita de dos operarios para ensamblarse.

6.1.5. GOLIATH CNC

Tabla 6.
Análisis de la GOLIATH CNC

Característica	Especificación
Área de trabajo (cm)	240 x 120
Número de operarios	1
Extracción de Viruta	No
Materiales de fabricación	Aluminio polímero
Materiales de trabajo	Madera
Dimensiones Generales [L. x An. x Al.](cm)	40 x 40 x 30
Controles incorporados	Botón encendido apagado
Hardware	Proyecto cerrado
Precio	\$ 8.700.000
Accesorios	Sensores externos
Profundidad de corte (mm)	35
Ventajas:	Portabilidad, permite trabajar con láminas de gran tamaño.
Desventajas:	No posee un dispositivo para la extracción de viruta.

6.2. Análisis de productos y procesos de JADE 3D

6.2.1. Productos de la empresa Jade. La empresa cuenta en su línea de productos con dispositivos de prototipado que trabajan utilizando polímeros como Acrilonitrilo Butadieno

estireno (ABS) y el ácido Poliláctico (PLA). Cuentan con pantallas de mando controladas por joysticks analogicos o palancas de mando las cuales sólo requieren un trabajador para su operación.

Tabla 7.
Análisis de productos de la empresa JADE 3D

MÁQUINA	Dimensiones trabajo (mm)	de Número de operarios	de Materiales de fabricación	de Materiales de trabajo	Controles incorporados	Hardware
Jade 3D Filamento -1 (Anet)	120 x 140 x 130	1	Aluminio	Polímeros PLA y ABS	Palanca mando	de Proyecto Abierto
Jade 3D Filamento -2	300 x 300 x 300	1	Aluminio	Polímeros	Palanca mando	de Proyecto Abierto
Jade 3D V5.5	120 x 68 x 100	1	Aluminio	Polímeros	Palanca mando	de Proyecto Abierto
Jade 3D G1+ Industrial	96 x 54 x 200	1	Aluminio	Polímeros	no	Proyecto Abierto

En cuanto a la parte electrónica, su componente principal es una placa Arduino Mega la cual ha sido programada con un firmware que han desarrollado a partir de un proyecto libre llamado Marlin.

En la parte mecánica, todas usan un sistema de bandas con polea dentadas para los ejes X y Y y un sistema de tornillo trapezoidal para el eje Z.

6.2.2. Análisis de procesos. Los procesos de fabricación de la empresa JADE 3D están orientados hacia una manufactura ligera del exterior de las impresoras. Los componentes electrónicos son comprados a distribuidores locales quienes a su vez los importan mayoritariamente desde China.

La transformación que sufren los perfiles son mínimas: corte, perforación y doblado. En caso de que se llegara a necesitar otro proceso tal como soldadura o troquelado, este debería hacerse de manera externa ya que no cuenta con la maquinaria necesaria para realizar estos procesos.

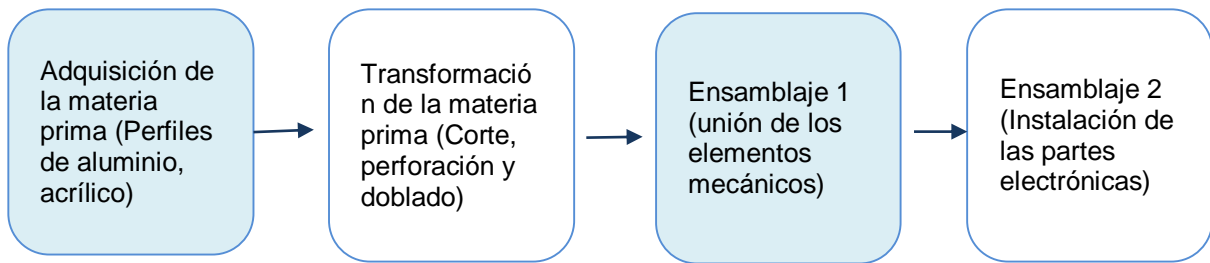


Figura 21. Proceso de elaboración de las máquinas de JADE 3D.

6.3. Observación y análisis del puesto de trabajo

Un aspecto importante para obtener requerimientos es observar clientes que usan un producto existente o realizan un trabajo para el cual un producto nuevo está destinado.

“Observar clientes que usan un producto existente o realizan un trabajo para el cual un nuevo producto está destinado, puede revelar detalles importantes acerca de las necesidades del cliente”

Además de la observación y análisis del usuario resulta útil realizar una entrevista que pueda complementar los datos obtenidos.

6.3.1. Observación y análisis de puestos de trabajo de dispositivos de Corte y ruteado.

Se realizó una visita a un taller que trabaja con corte y ruteado de láminas de aglomerado de madera para fabricación de mobiliario, ya sea de su propia marca o como servicio a terceros. En esta línea de producción la pieza primero pasa por una sierra vertical que corta la lámina y posteriormente pasa a una ruteadora manual la cual realiza los cortes y acabados curvos.

6.3.1.1. Dispositivo de corte Vertical. La seccionadora vertical puede ser operada por un solo usuario, aunque requiere dos personas para la instalación de una lámina completa de 240 x 120 cm.

Para el funcionamiento de la sierra el operario mantiene una postura de pie que le permite movilizarse por toda la zona de trabajo. Inicia instalando y asegurando con prensas la pieza que va a cortar, luego ubica la sierra y procede a realizar el corte. Esta máquina solo realiza cortes y grabados verticales y horizontales.



Figura 22. Operario de sierra Seccionadora vertical SVP 145

6.3.1.2. Ruteadora Manual Para el correcto uso de la ruteadora Manual deWalt el usuario mantiene una postura de pie, sosteniendo con sus dos manos el dispositivo de ruteado y con sus dedos índice y pulgar puede girar la corona que permite el ascenso o descenso de la broca graduando la profundidad de corte. Generalmente se usan unas guías prefabricadas que hacen el proceso más rápido y preciso. En este proceso hay un gran desperdicio de material y requiere un ajuste de cada pieza a trabajar. Además, es indispensable el uso de guías para producir varias piezas con las mismas características. Se observó que se invierte bastante tiempo en el montaje y desmontaje de cada pieza a trabajar.



Figura 23. Usuario operando una ruteadora manual DeWalt.

6.4. Entrevista

Para encontrar las necesidades y falencias en aspectos ergonómicos, funcionales,

estructurales y establecer requerimientos de diseño, se desarrolló una entrevista que se aplicó a cinco a operarios de dispositivos de corte y ruteado.

6.4.1. Resultados de la entrevista

- ¿Qué tipos de procesos realiza y con qué materiales?

Tabla 8.

Tabulación de la pregunta 1 de la entrevista

Operario	Respuesta
1	Cortes y grabados en madera.
2	Cortes en madera ya que para otros materiales ya que las fresas y la máquina trabaja mejor.
3	Corte y fresado de los bordes, únicamente madera ya que es el material que trabaja la empresa.
4	Cortes de piezas complicadas, ya sean rectos o curvos en madera y acrílico.
5	Grabados y cortes curvos en madera.

- ¿Qué ventajas encuentra en los dispositivos de corte que ha utilizado?

Tabla 9.

Tabulación de la pregunta 2 de la entrevista

Operario	Respuesta
1	La interfaz es muy amigable, fácilmente se aprende a operar con algunos tutoriales.
2	La máquina es bastante estable debido a que la perfilería es de alta calidad.
3	Muy útil para producir piezas en cantidad ya que siempre se programa para que salgan varias en el mismo trabajo de corte
4	Cuenta con la potencia para trabajar con calibres de madera mayores a 9 mm.
5	Poder realizar diferentes operaciones en un mismo trabajo

- ¿Qué desventajas encuentra en los dispositivos de corte que ha utilizado?

Tabla 10.
 Tabulación de la pregunta 3 de la entrevista

Operario	Respuesta
1	El costo del operario es alto ya requiere personal especializado y con amplio conocimiento en procesos de producción con madera.
2	El funcionamiento por cada minuto de la máquina resulta costoso, el uso de energía, el desgaste de la fresa y el costo del operario.
3	Resulta bastante rentable la programación para la producción en serie, pero se elevan los costos si es para un trabajo específico o una sola pieza.
4	Algunas ocasiones es necesario parar el trabajo para realizar ajustes de las piezas que se sueltan
5	Es complicado realizar trabajos pequeños por tiempos de programación y ajuste de la máquina

- ¿Qué mejoras le haría al dispositivo de corte que utiliza?

Tabla 11.
 Tabulación de la pregunta 4. de la encuesta.

Operario	Respuesta
1	Que permitiera cambiar fácil y rápidamente las brocas de corte.
2	Que tuviera un sistema de sujeción fácil y rápido de la lámina.
3	Ponerle un dispositivo de seguridad para evitar que se estrellé la broca
4	Que se pudiera calibrar de manera rápida y confiable
5	Agregarle un sistema que enfie la fresa y que evite que se entrape la viruta

6.5. Interpretación de necesidades

Basados en los datos obtenidos en el análisis de mercado, en el grupo de enfoque JADE 3D, el análisis de los puestos de trabajo y la entrevistas, se organizan los enunciados para convertirlos y filtrarlos en necesidades interpretadas.

Tabla 12.

Interpretación de las necesidades.

		Enunciado / ventaja / desventaja / característica	Necesidad interpretada
Análisis de mercado		Algunos dispositivos solo trabajan con láminas de tamaños muy reducidos lo que disminuye su utilidad.	- El DR permite trabajar con diferentes dimensiones de láminas.
		Se evidencio que pocas máquinas vienen con un sistema propio.	- El DR posee un sistema de recolección de viruta.
		Se Observó que las máquinas que trabajar con calibres mayores son pocas y tienden a ser más costosas.	- El DR trabaja con láminas de todos los espesores.
		Se evidenció que la mayoría minimiza el uso de botones físicos delegando el control por medio de software.	- El DR cuenta con controles manuales.
Grupo de enfoque 3d		No debe invertir tanto tiempo en el paso de una operación a otra.	- El DR puede cambiar rápidamente de una operación a otra.
		Que permita acomodarse fácilmente a los espacios de taller.	- El DR es portable.
		Que sea de fácil instalación y mantenimiento.	- El DR no requiere personal especializado para la instalación.
		Que pueda realizarse la limpieza y mantenimientos por el mismo operario.	- El DR permite un fácil desarme para limpieza y mantenimiento.
Análisis de puestos de trabajo		Para hacer cortes rectos se requiere una máquina y otra para hacer las curvas.	- El DR realiza cortes rectos y curvos.
		Se requiere un espacio amplio para la adaptación de la máquina.	- El DR en fácil de acomodar en el espacio de trabajo.
		Es necesario que la máquina pueda pausarse para realizar ajustes manuales	- El DR permite pausar la operación para ajustes manuales.
		Se necesita hacer algunos ajustes o pausas durante el proceso de corte.	- El DR permite un pre alistamiento rápido del dispositivo.
Entrevistas		Sería bueno que permitiera cambiar fácil y rápidamente las brocas de corte.	- El DR permite el cambio rápido de fresas.
		en ocasiones se le dedica bastante pausando la máquina para el cambio de fresa.	- El DR permite el uso de repuestos existentes en el mercado.

El costo del operario es alto ya - El DR puede ser operado por una sola requiere personal especializado y con persona. amplio conocimiento en procesos de producción con madera.

6.6. Ponderación de las necesidades

La lista jerárquica por sí sola no da ninguna información sobre la importancia relativa que los clientes ponen en diferentes necesidades (Ulrich, 2013). En sí, la lista de necesidades interpretadas no nos indica un rumbo que tomar o un punto del cual se puede partir para realizar el desarrollo, por el contrario, esta lista puede ser distractora y a veces contradictoria. Para ello es necesario realizar una jerarquización de dichas necesidades para comprender cuales necesidades son verdaderamente atributos importantes para los usuarios.

6.6.1. Método Kano. Se escogió y aplicó el modelo Kano ya que como lo demuestra (León Duarte, 2005)

“La identificación e interpretación de la “voz del cliente” es el primer paso en el proceso de gestión del valor-calidad. Sólo después de haberse identificado las necesidades o exigencias, latentes o explícitas, del cliente, podrá realizarse la traducción a “funciones” y de éstas a la definición de características técnicas, que serán la base para hacer operacional la definición del producto o servicio a desarrollar.

Ahora bien, el proceso de “escucha de la voz del cliente” presenta un problema fundamental: la dificultad de lograr una adecuada comunicación entre el usuario y el diseñador. El método Kano (1984) es una herramienta eficaz en este sentido debido a que permite realizar una clasificación singular de los requerimientos del cliente hacia el producto y su posterior caracterización en el diseño industrial”.

El método KANO se aplicó realizando una encuesta (Ver Apéndice A) a veinte (20) personas con conocimientos en procesos de producción de la industria de la madera, que haya

operado algún dispositivo de corte, ruteado o sistema CNC. Las preguntas se toman de las necesidades interpretadas del producto según los resultados del análisis del mercado, de las entrevistas, y la observación y análisis de los puestos de trabajo.

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 12, se resumen las siguientes características que debe tener el Dispositivo de Ruteado.

- El DR permite trabajar con diferentes dimensiones de láminas.
- El DR posee un sistema de recolección de viruta.
- El DR trabaja con láminas de todos los espesores.
- El DR cuenta con controles manuales.
- El DR puede cambiar rápidamente de una operación a otra.
- El DR es portable.
- El DR no requiere personal especializado para la instalación.
- El DR permite un fácil desarme para limpieza y mantenimiento.
- El DR realiza cortes rectos y curvos.
- El DR es fácil de acomodar en el espacio de trabajo.
- El DR permite pausar la operación para ajustes manuales.
- El DR permite un pre-alistamiento rápido del dispositivo.
- El DR permite el cambio rápido de fresas.
- El DR permite el uso de repuestos existentes en el mercado.
- El DR puede ser operado por una sola persona.

Luego de la aplicación de la encuesta, se realizó la ponderación de cada pregunta funcional con la disfuncional tal como el método Kano lo sugiere (León Duarte, 2005).

Para la tabulación, se usó la siguiente nomenclatura o abreviación para indicar el tipo de atributo.

Tabla 13.
Abreviaturas usadas en el método Kano

Abreviatura	Atributo
A	Atractivo
U	Unidimensional
O	Debería ser
R	Reversa
C	Cuestionable
I	Indiferente

Tabla 14.
Tabulación y evaluación de los requerimientos según método Kano.

	A	U	O	R	C	I
Atributo						
1	45%	20%	0%	0%	0%	35%
2	30%	15%	25%	0%	0%	30%
3	15%	20%	20%	0%	0%	45%
4	10%	0%	10%	0%	0%	80%
5	25%	20%	10%	0%	0%	45%
6	20%	0%	25%	0%	0%	55%
7	40%	15%	0%	0%	0%	45%
8	30%	0%	10%	0%	0%	60%
9	15%	0%	0%	0%	0%	85%
10	30%	0%	15%	0%	0%	55%
11	30%	10%	5%	0%	0%	55%
12	40%	15%	10%	0%	0%	35%
13	25%	5%	10%	0%	0%	60%
14	35%	15%	10%	0%	0%	40%
15	20%	0%	10%	0%	0%	70%

6.6.1.1. Conclusiones del método Kano. Los atributos más atractivos e importantes para el

usuario están basados en la funcionalidad como que el dispositivo permita la realización de cortes rectos y curvos, en la estructura, requiriendo que el dispositivo de ruteado se pueda reacomodar en el espacio de trabajo, para su correcto uso debe permitir pausar el trabajo en curso para realizar operaciones manuales. Y en lo relacionado con los atributos técnico-productivos el DR debe permitir el uso de repuestos existentes en el mercado nacional.

Mediante este mapa de atributos también se puede observar que los usuarios son bastante indiferentes a las cualidades relativas a las dimensiones del dispositivo y a su portabilidad.

7. Desarrollo de concepto

Basado en los resultados que se obtuvieron en el proceso de obtención de requerimientos llegamos al punto de generar alternativas de diseño como posible solución al problema planteado inicialmente.

7.1. Concepto 1

En este concepto el plano de trabajo se dispuso de manera inclinada con el propósito de optimizar el espacio que ocuparía el dispositivo en relación con el área de trabajo para disponer la lámina de corte.

En la parte mecánica, el movimiento del dispositivo de corte se desplaza por la potencia de dos motores y la fuerza de la gravedad, el sistema que dirige el desplazamiento constaría de una transmisión por bandas que además a las cuales los motores van variando su longitud para generar el desplazamiento que se desee. Este diseño permite disminuir el número de partes mecánicas haciendo que sea un sistema más simple al momento de montarse, desmontarse o en casos de reparación.

La estructura está ideada para que pueda armarse y desarmarse de manera rápida usando un sistema de ensamblajes y asegurándose con tornillos.

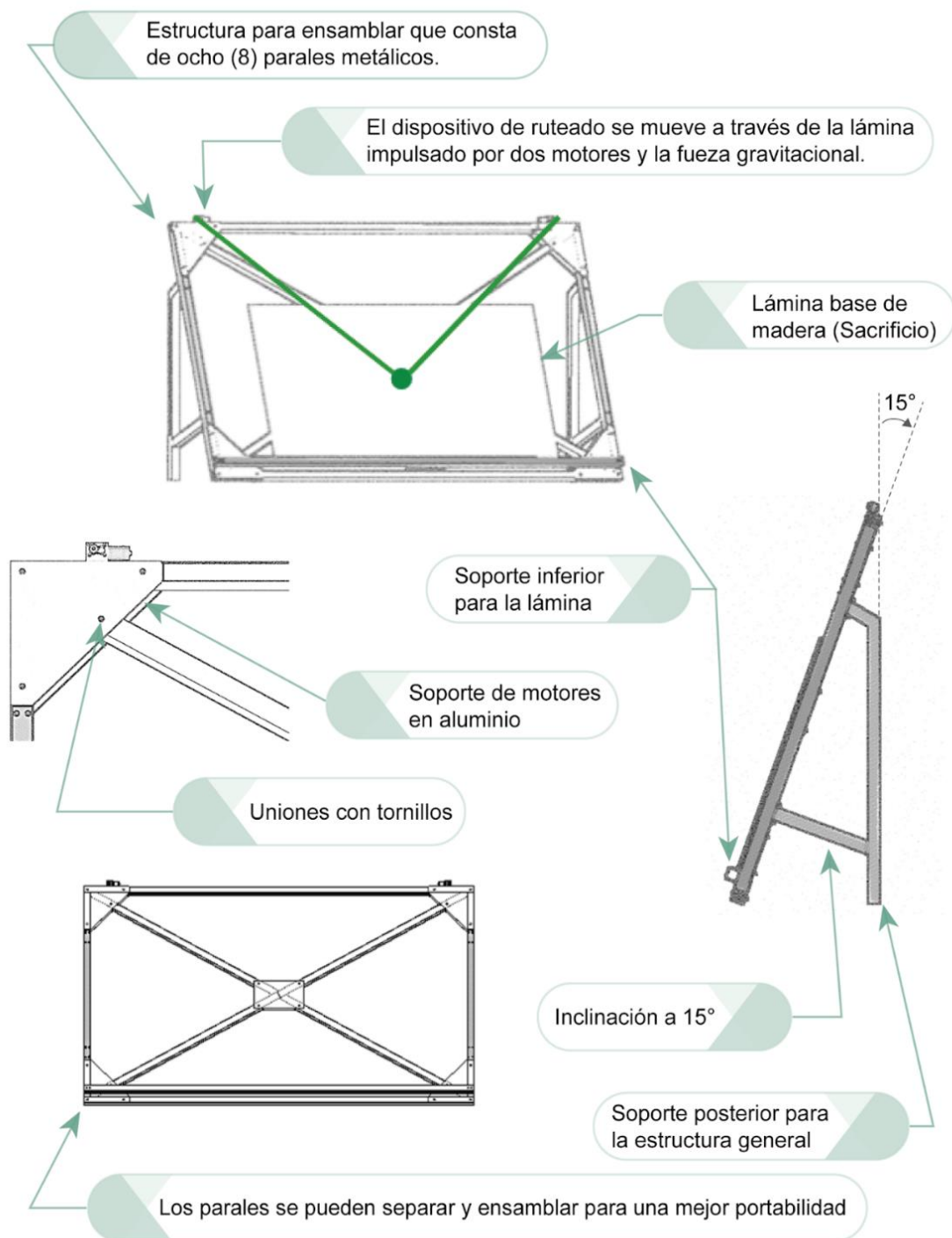


Figura 24. Concepto 1 de dispositivo de ruteado CNC.

7.2. Concepto 2

Este concepto el plano de trabajo se encuentra de manera horizontal y cuenta con una protección para que la viruta se quede en el área que ocupa el dispositivo y no contamine los alrededores del puesto de trabajo. Cuenta con un sistema de prensas laterales que permiten asegurar la lámina de trabajo por la parte del canto de tal manera que no se usen mordazas o tornillos que representen un riesgo para la fresa.

El funcionamiento mecánico constaría de cuatro motores: dos para moverse en el eje de mayor longitud y los otros dos ejes tendrían cada uno un solo motor. El desplazamiento se haría por un sistema de unión prismática o lineal.

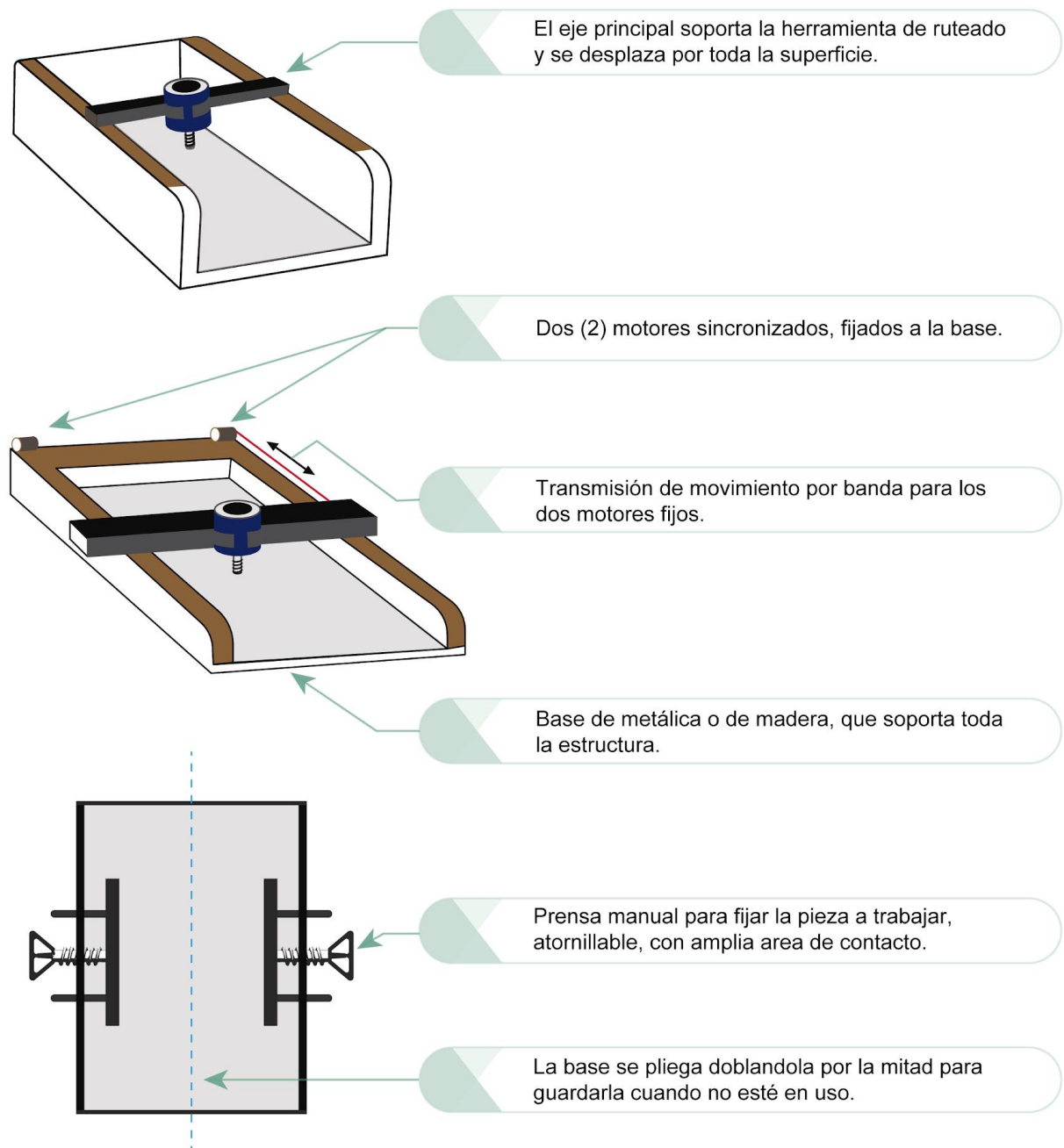


Figura 25. Concepto 2 de dispositivo de ruteado CNC.

7.3. Concepto 3

En este concepto nuevamente se aborda el uso del plano de trabajo de manera inclinada pero esta vez se cambia el sistema de desplazamiento de bandas por rieles o sistema prismático. Esta propuesta está pensada en el ahorro del espacio, pero también brindarle al usuario un sistema más robusto y estable ya que el cambio de los tensores por un sistema de rieles le da más estabilidad y rigidez al dispositivo evitando que las vibraciones puedan afectar el resultado del trabajo. También posee un sistema de fijación de la pieza por medio de mordazas fijadas con tornillos.

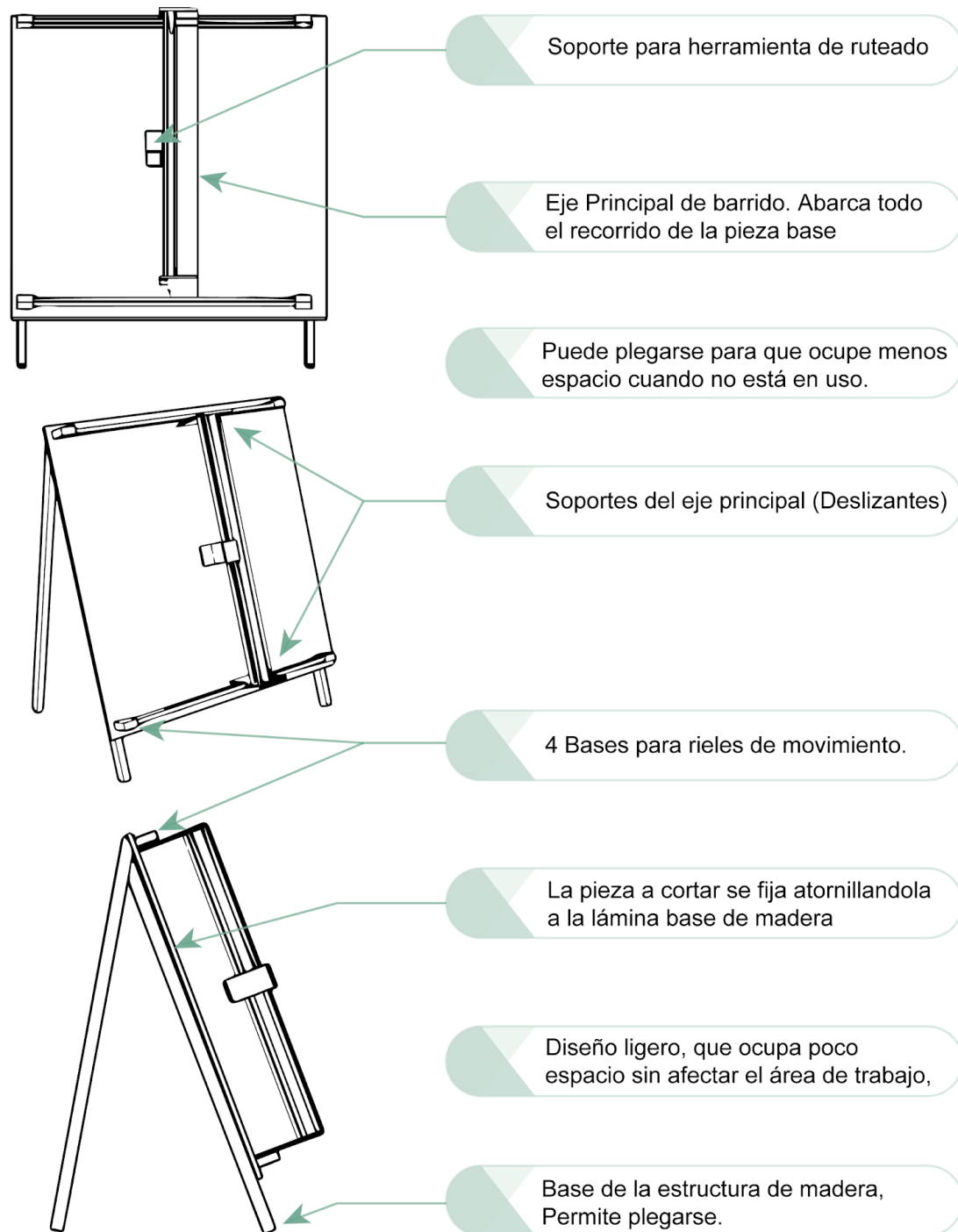


Figura 26. Concepto 3 de dispositivo de ruteado CNC.

8. Evaluación de concepto

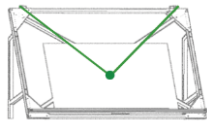
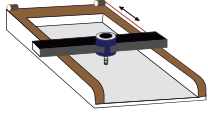

Luego de proponer las alternativas el siguiente paso es crear una lista métrica para evaluar las alternativas, en esta lista se traduce en intervalos medibles, en la Tabla 15 se hizo la traducción de los requerimientos del proyecto que fueron obtenidos en el capítulo anterior.

Tabla 15

Lista de métricas de los requerimientos del usuario.

Métrica número	Métrica	Importancia	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
	El dispositivo de ruteado debe permitir pausar el trabajo en curso para realizar operaciones manuales.				
1	Pausar para mantenimiento	4	Tiempo (min)	2	Max
2	Pausa para cambio de herramienta de corte	4	Tiempo (min)	2	Max
	El dispositivo de ruteado debe realizar cortes rectos y curvos.				
3	Precisión de corte recto	5	Porcentaje (%)	90	100
4	Precisión de corte curvo	5	Porcentaje (%)	90	100
	El dispositivo de ruteado permite ser reacomodado en el espacio de trabajo.				
5	Peso total	4	Kilogramos (Kg)	60	40
6	Dimensiones de base	5	Área (m ^2)	3	2,5
7	Altura máxima	3	Longitud (cm)	50	35
8	Número de partes desarmables.	4	Número	5	3
	El dispositivo de ruteado debe permitir el uso de repuestos existentes en el mercado nacional.				
9		4	Lista	N/A	N/A

Tabla 16
Matriz de evaluación y selección de conceptos

Criterios de selección	Conceptos		
			
	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Permite pausar para mantenimiento	0	+	+
Permite pausar para cambio herramienta de corte	0	+	+
Permite gran precisión de corte recto	0	+	0
Permite gran precisión de corte curvo	-	0	0
Posee un peso adecuado para poder reacomodarse	-	+	-
Posee un área adecuada para poder reacomodarse	-	0	-
Posee una altura adecuada para poder reacomodarse	-	0	0
Cuenta con un mínimo de partes desarmables para reacomodarse.	+	+	+
Permite el uso de repuestos existentes en el mercado nacional	+	+	+
Positivos (+)	2	6	4
Negativos (-)	4	0	2
Diferencia	-2	6	2
¿Continuar?	No	Si, combinar	Si, Combinar

8.1. Análisis y evaluación

Se puede observar en la tabla de matriz de selección, que el concepto 2 obtuvo el puntaje más alto comparado con la X-Carve que es producto que está en el mercado tratando de resolver las mismas necesidades. El concepto por haber alcanzado un resultado sobresaliente se tendrá en cuenta para una reevaluación.

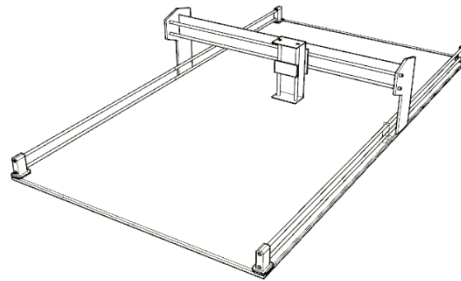


Figura 27. Alternativa A

Alternativa A

Se obtiene al combinar los conceptos 2 y 3.

Dispositivo de ruteado horizontal, con desplazamiento en rieles y motores integrados en el eje horizontal.

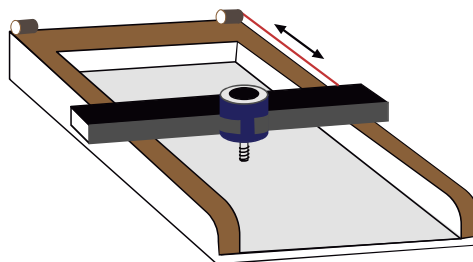


Figura 28. Alternativa B

Alternativa B

Dispositivo de ruteado horizontal con motores fijos en los extremos de la estructura.

Obtuvo el mayor puntaje en la matriz de selección.

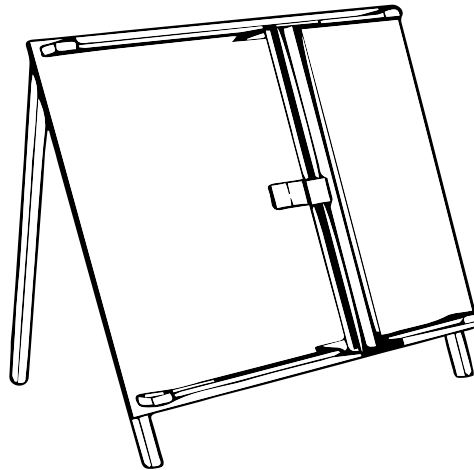



Figura 29. Alternativa C

Alternativa C

Dispositivo de ruteado vertical con soporte para herramienta de ruteado en el mismo eje de los motores. Desplazamiento a través de rieles. Obtuvo el segundo mayor puntaje en la matriz de selección.

Tabla 17.
Tabla de Evaluación de alternativas finales.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS								
	Valor %		Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Pausar para mantenimiento	10	4	0,4	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Pausar para cambio herramienta de corte	10	4	0,4	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Precisión de corte recto	16	5	0,8	5	0,8	5	0,8	5	0,8

Precisión de corte curvo	16	5	0,8	5	0,8	5	0,8	4	0,64
Peso adecuado para poder reacomodarse	9	4	0,36	5	0,45	5	0,45	2	0,18
Área adecuada para poder reacomodarse	12	4	0,48	4	0,48	4	0,48	3	0,36
Altura adecuada para poder reacomodarse	7	4	0,28	5	0,35	5	0,35	2	0,14
Pocas partes desarmables para reacomodarse.	7	3	0,21	5	0,35	4	0,28	4	0,28
Uso de repuestos existentes en el mercado nacional	12	1	0,12	4	0,48	4	0,48	3	0,36
TOTAL			3,85		4,71		4,44		3,36

8.2. Conclusiones y reflexiones

La etapa de selección y desarrollo de conceptos en la cual se trabajó basado en las necesidades de los clientes para el desarrollo de las ideas y para su posterior evaluación. Entre los conceptos propuestos para cubrir las necesidades fueron evaluadas por medio de una matriz de selección la cual arrojó resultados útiles para la creación de nuevas alternativas. Éstas se ubicaron nuevamente en una matriz de selección, esta vez con unos criterios valorizados dependiendo de su importancia. Los resultados arrojaron como mejor opción trabajar con la alternativa 1 la cual consta dispositivo de ruteado de tres ejes, horizontal con motores que se desplazan por el área de trabajo mientras el dispositivo está en uso.

9. Prueba de concepto

Luego de seleccionar un concepto se realizan pruebas en la que éste pasa a ser evaluado. Para ello se fabrica un modelo a escala y un modelo digital, con los que se evaluarán aspectos relativos a la configuración y los elementos que componen el dispositivo. Los participantes ofrecen su opinión acerca de las debilidades y fortalezas del producto y aportan recomendaciones de cómo mejorarlo antes de continuar con la siguiente etapa.

Ulrich en el capítulo 9 (Ulrich, 2013) propone un método de siete pasos para probar conceptos del producto:

1. Definir el propósito de la prueba
2. Escoger una población a encuestar
3. Seleccionar un formato de encuesta
4. Comunicar el concepto
5. Medir respuesta del cliente
6. Interpretar los resultados
7. Reflexionar sobre los resultados de proceso.

Con base en estos pasos se desarrolla el protocolo para la prueba.

9.1. Objetivo de la prueba

Evaluar la configuración del dispositivo, como se propuso anteriormente en el concepto (x).

9.2. Población a encuestar

Los participantes de la prueba son 15 personas con conocimientos en dispositivos CNC, y personas con conocimiento en ingeniería mecánica y/o diseño industrial. Principalmente son personas que se localizaron en la etapa de búsqueda de necesidades y requerimientos.

9.3. Variables

9.3.1. Variable independiente

- Configuración del modelo

9.3.2. Variable dependiente

- Efectividad (secuencia de armado)
- Nivel de satisfacción

9.4. Instrumento de medición

Se aplica una encuesta enfocada a la configuración del modelo, para la medición del nivel de satisfacción, y para la medición de la efectividad se toma en cuenta número de errores en el proceso de armado.

9.5. Procedimiento

1. Ubicar al usuario frente a la mesa de trabajo en la que están ubicadas las piezas que del modelo que representan cada eje del dispositivo y una imagen del modelado digital.
2. Presentarle al usuario el formato de la encuesta (Ver Apéndice C)
3. Presentarle al usuario, los elementos con los que se va a desarrollar la prueba.
 - Modelo del dispositivo a escala.
 - Imagen con modelo digital.
4. Informar al usuario cerca de la realización de la tarea.
6. Indicar al usuario las operaciones a realizar.
7. Observar al usuario y tomar anotar los errores
8. Solicitar que diligencie la encuesta
9. Desmontaje de la prueba.
10. Diligenciar el resto de preguntas estipuladas en el formato planteado.

9.6. Formato de la encuesta

El formato de la encuesta se encuentra en el **Apéndice C**

9.7. Comunicación. del concepto

Se elabora un modelo a escala de los principales elementos que componen el sistema de ensamble del dispositivo con ejes de desplazamiento a través de barras paralelas y placas de unión. La prueba va asistida por una explicación inicial del concepto a través de una imagen de un modelo 3D.



Figura 30. fotografías del modelo de prueba por piezas y ensamblado

9.8. Participantes

Tabla 18

Listado de participantes de la prueba de concepto

Item	Nombre	Correo electrónico
1	Laura Lucía Villareal	larisluci@gmail.com
2	Ana Mejía Sandoval	amms0996@gmail.com
3	Brayan Beltrán	brayan_beltran2195@hotmail.com
4	Diego Carrillo	diegodesigncarrillo@gmail.com
5	Estefanía Reyes	esrega1994@hotmail.com
6	Natalia Castellanos	nataliacherrera@gmail.com
7	Silvia L. Rodríguez	silvia.rodriguezcha@gmail.com
8	Diego Bonilla	Diegobonilla0520@gmail.com
9	Cristian Díaz	Christian_diaz95@hotmail.com
10	Jefferson Meneses	jemese92@gmail.com
11	Ángela Martínez	Stepha204@hotmail.com
12	Richard Cardozo	Richard-9428@hotmail.com
13	Juan Camilo Jaimes	Jcjaime59@gmail.com
14	Iván Rojas	Ivan-2995@hotmail.com
15	Reynaldo Cabeza	reynaldocastiell@gmail.com



Figura 31. Imágenes de los usuarios durante la prueba.

9.9. Resultados de la prueba

A continuación, presentamos el análisis de los resultados de cada pregunta realizada en la prueba.

¿Le parece adecuado el sistema de ensamble para que sea aplicado en una ruteadora CNC?

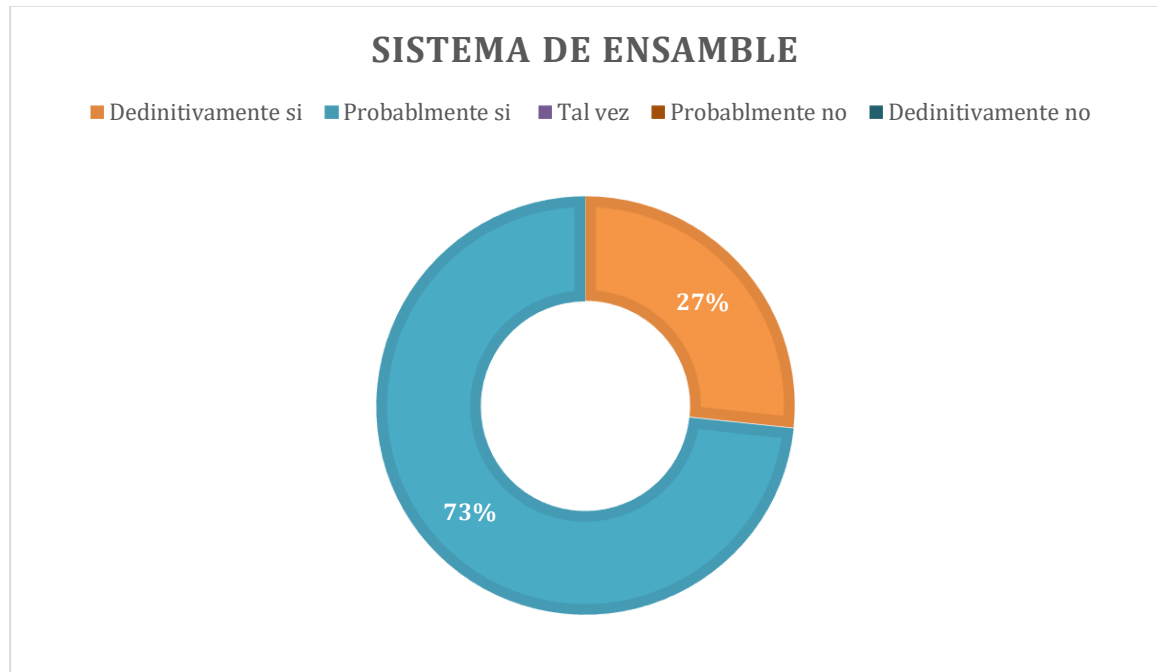


Figura 32. Resultados de la pregunta 1 de la prueba de concepto

Todos los usuarios se opinaron que el sistema de ensamble tiene una configuración adecuada para que sea aplicado en un dispositivo de ruteado CNC. También se observó que el usuario comprende plenamente como es el funcionamiento básico del dispositivo para que realice el proceso de ruteado.

¿Tiene el dispositivo una configuración adecuada para que pueda acomodarse en el espacio de trabajo?

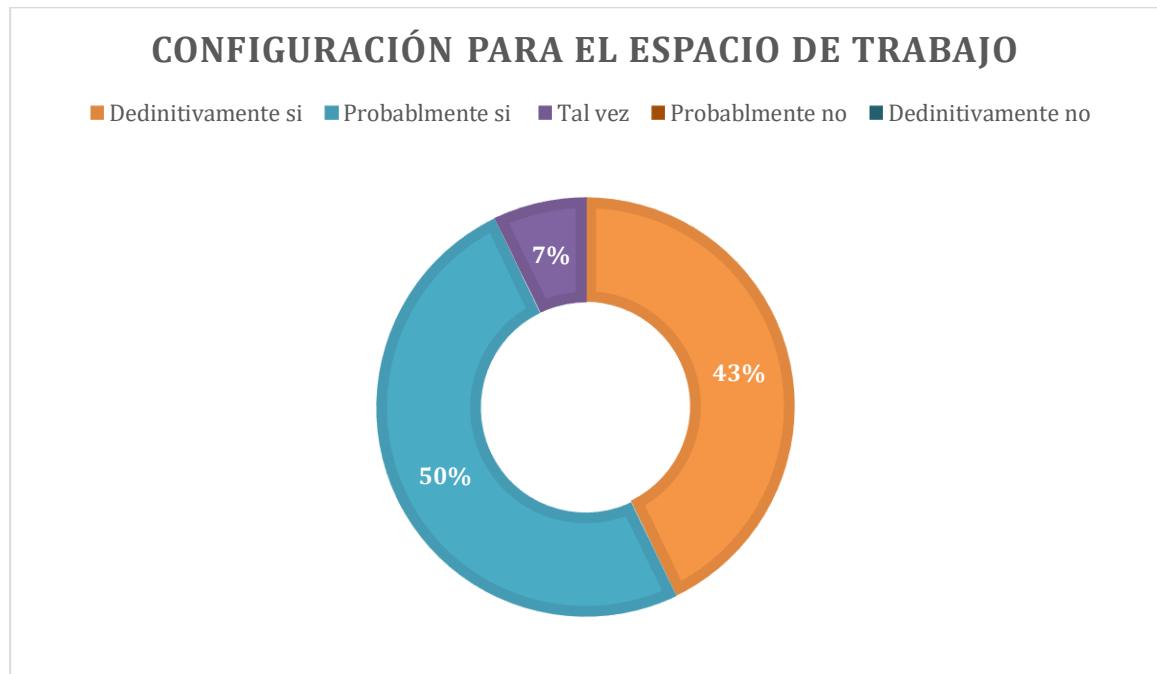


Figura 33. Resultados de la pregunta 2 de la prueba de concepto

La configuración del dispositivo es adecuada para que pueda reacomodarse en el espacio de trabajo. Una vez ensamblada los usuarios notaron que se puede reacomodar fácilmente.

Los usuarios respondieron asertivamente a la propuesta de configuración para el espacio de trabajo.

¿Tiene el dispositivo una configuración adecuada que pueda ser portable?

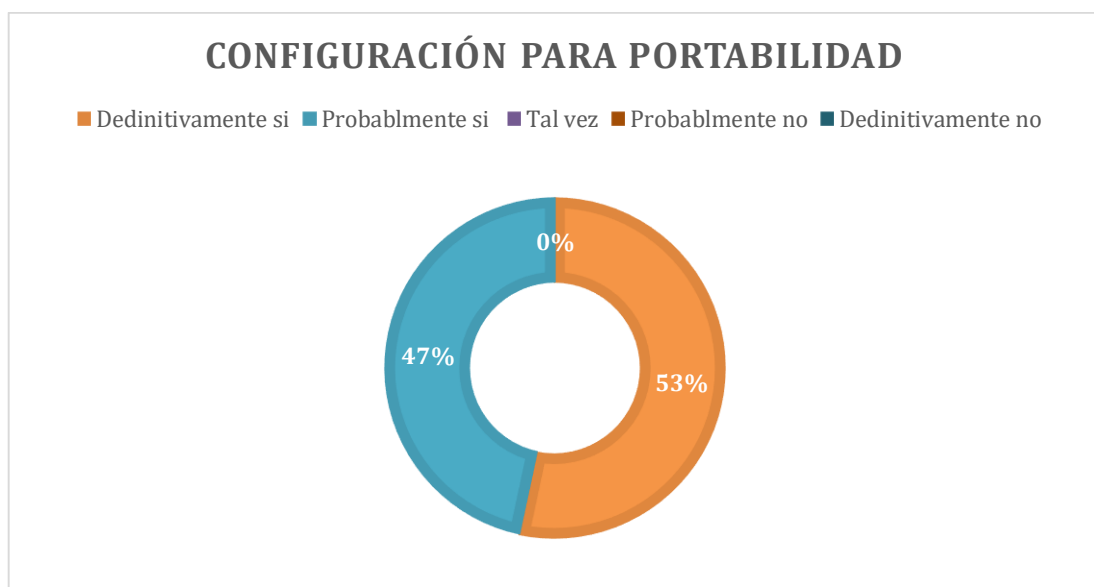


Figura 34. Resultados de la pregunta 3 de la prueba de concepto.

Ya que los usuarios se encontraron al inicio de la prueba con el dispositivo desarmado pudieron notar que la forma de las piezas permitirías agruparse para transportarse sin ningún inconveniente. Por esto la mayoría coincidió en que definitivamente si es adecuada la configuración para que el dispositivo pueda ser portable.

¿Cree que el sistema utilizado para el desplazamiento es adecuado para la función que requiere el DR?

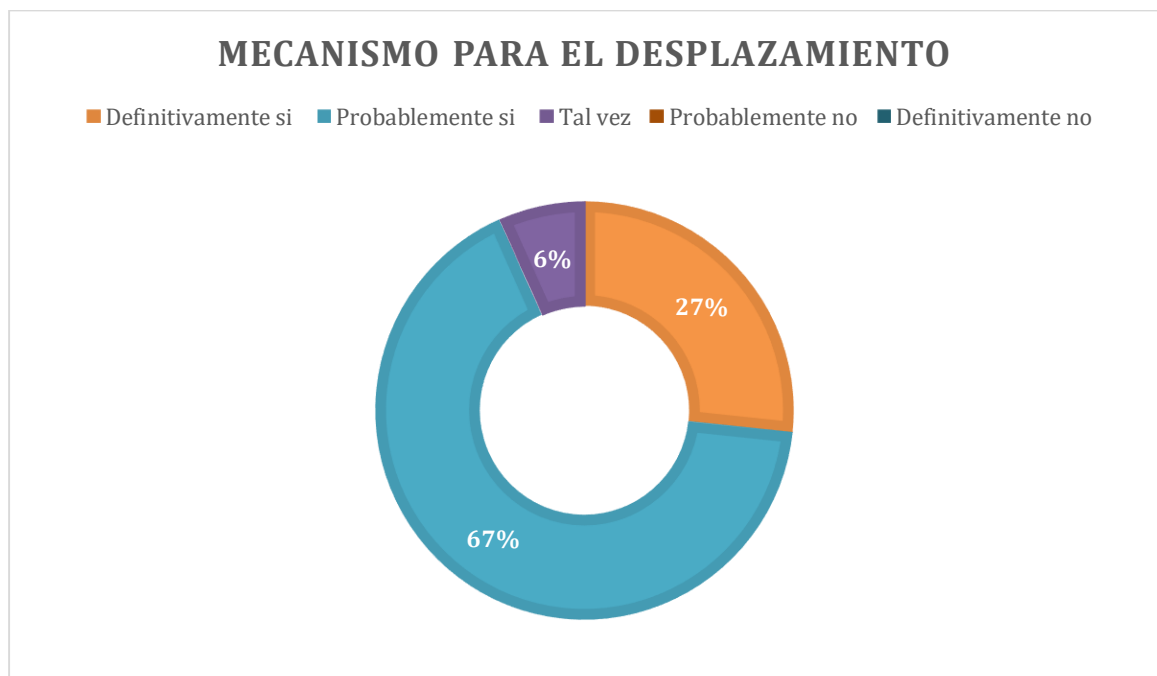


Figura 35. Resultados de la pregunta 3 de la prueba de concepto.

Los usuarios que participaron en la prueba pudieron entender la forma en que se desplazará el elemento de ruteado y la mayoría respondió que el sistema utilizado para el desplazamiento probablemente se sea el adecuado para la función que requiere el DR.

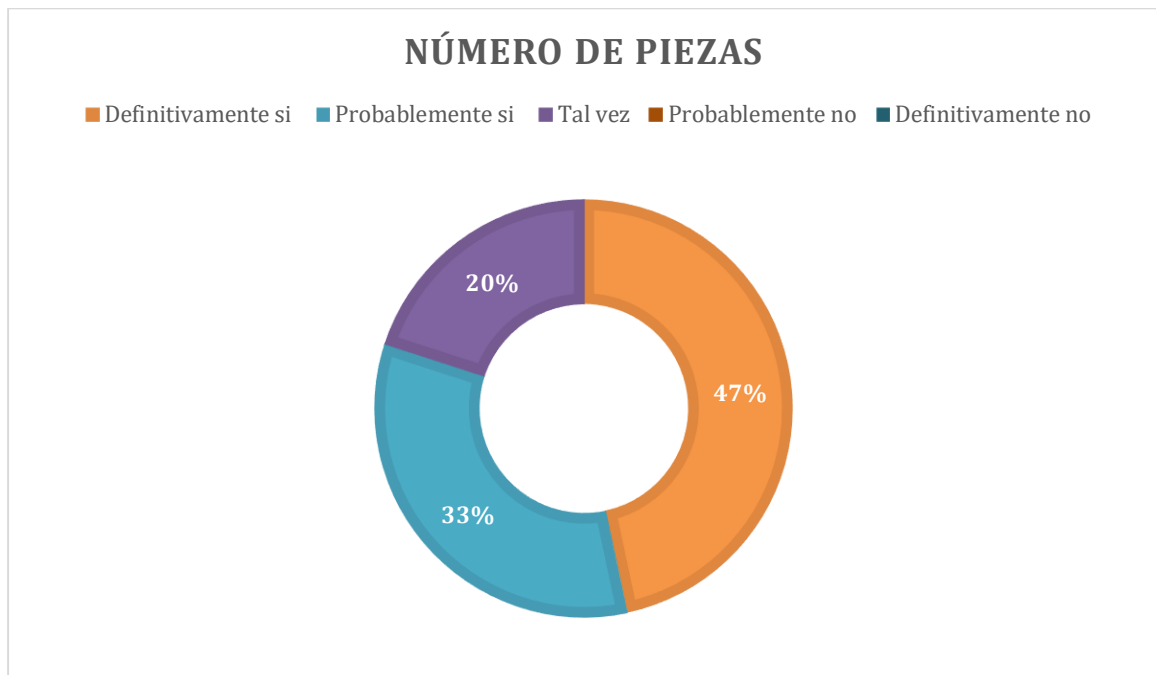
¿Cree que el número de piezas del modelo sea adecuado para el ensamble del DR?

Figura 36. Resultados de la pregunta 3 de la prueba de concepto.

Aunque algunos usuarios tuvieron dudas acerca de la cantidad de piezas que van a componer el modelo final, la mayoría piensa que es un número de piezas adecuado para el ensamble y para la portabilidad del DR

9.9.1. ¿Qué le disgustó del mecanismo? Los usuarios encuestados aunque se sintieron a gusto con la propuesta, hicieron recomendaciones relacionadas con el mejoramiento de la estabilidad y el orden de ensamble. Estas sugerencias serán puntos clave a tener en cuenta para el diseño final del modelo de validación.

9.9.2. ¿Qué le gustó del mecanismo? La mayoría de los usuarios que participaron en la prueba se mostraron muy cómodos ensamblando las piezas del modelo y expresaron su gusto principalmente por la configuración para el ensamble y para el desplazamiento. También les gustó la portabilidad y la simplicidad de sus piezas.

9.9.3. ¿Cómo se podría mejorar este concepto? Ya que a los usuarios les gustó el concepto hicieron varias recomendaciones que pueden ayudar a mejorar, como por ejemplo

que haya un mejor apoyo a la hora de iniciar el ensamble del modelo, que los materiales que se utilicen para la fabricación de las piezas sea liviano para su portabilidad y que las piezas tengan más información para ubicarlas en su lugar.

9.10. Conclusiones

En base al análisis y a la interpretación de los resultados se concluye que la configuración propuesta para el ensamble, funcionamiento y portabilidad es suficientemente clara fácil de entender y adecuada para que pueda funcionar como dispositivo de ruteado CNC.

El 100% de los participantes se mostraron cómodos interactuando con el modelo y con los elementos que lo componen.

- La configuración general del dispositivo es la adecuada para el ensamble, para que pueda reacomodarse en el espacio de trabajo, para su portabilidad y para su correcto funcionamiento.
- El número de piezas es bien percibido, ya que los usuarios por tener conocimientos previos en otros dispositivos CNC pudieron hacer una comparación, y el número de piezas del modelo del DR les pareció adecuado.
- La mayoría de las piezas poseen un lenguaje de uso bastante comprensible, aunque algunas como los soportes base deben modificarse para una correcta lectura por parte del usuario.
- El modelo requiere una base que sea sólida para que evite vibraciones durante el funcionamiento y para fijar los soportes base durante el ensamble.
- Para el correcto ensamble y funcionamiento del dispositivo de ruteado se debe hacer uso de un manual de instrucciones que especifique el orden y la posición de las piezas.

9.11. Modificaciones sugeridas

9.11.1. Modificar altura. Los usuarios sugieren modificar la altura del eje z, esta modificación podría implicar hacer un cambio en los otros ejes ya que sobre ellos se soportan.

9.11.2. Equilibrio del eje x Esta modificación corresponde a la percepción del usuario en cuanto la estabilidad del eje en el momento que se está ensamblado las placas y el sistema aun no se ha fijado a ningún apoyo fijo.

9.11.3. Acoplamiento del eje y o eje base con la placa base. También los usuarios sugieren como debería ser la forma en que se fije el dispositivo a la base, siendo tornillos la mayor opción que dan éstos.

9.11.4. Área de la base mayor a la del modelo de prueba. Los usuarios también sugieren que se tenga en cuenta el tamaño de la base en cuanto a relación del área de ruteado, así de esta manera permita realizar tanto cortes de piezas pequeñas como grandes.

10. Diseño de detalle y construcción

Partiendo de los resultados obtenidos en la prueba de concepto se especifican los detalles que permiten que el modelo funcione, como lo son; los componentes de cada eje que compone la máquina, los motores adecuados, el mecanismo de transmisión, y los componentes electrónicos. Por medio de la observación durante las pruebas de concepto y los datos obtenidos anteriormente en los diferentes capítulos que contiene este proyecto, se establece un diagrama de funciones (*Figura 37*). Un análisis mecánico permitirá calcular los esfuerzos requeridos para los movimientos, seleccionar el tipo de motor, los componentes mecánicos y electrónicos que se utilizarán para el correcto funcionamiento del dispositivo de ruteado DR.

10.1. Diagrama de funciones

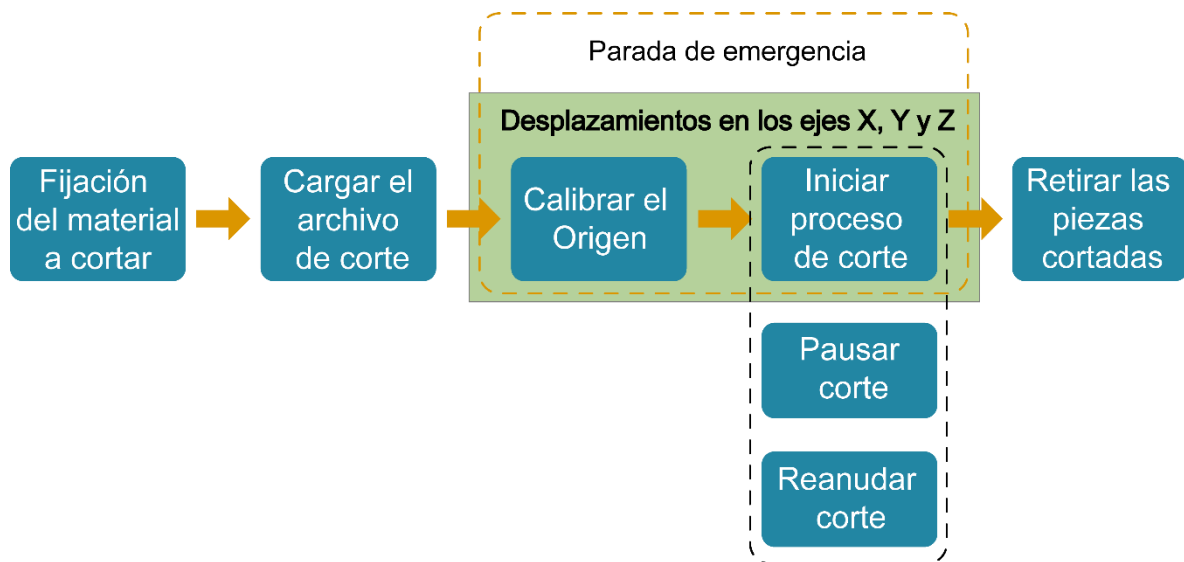


Figura 37. Diagrama de operaciones y funciones del DR

10.2. Análisis de esfuerzos mecánicos.

Para el cálculo de la potencia que requiere el motor de la herramienta de corte y las demás fuerzas que interactúan en el funcionamiento, se debe tener en cuenta variables como el material que se va a maquinar, el diámetro de la fresa de corte, la profundidad, en número de dientes.

La potencia necesaria para cortar un material depende de la tasa a la cual se esté cortando y de una constante de potencia determinada experimentalmente (K_p), La cual es llamada consumo específico de potencia o unidad de potencia. Esta constante es igual a los caballos de fuerza requeridos para cortar a una tasa de una pulgada cúbica por minuto, en el sistema internacional esta constante es igual a la potencia en kilowatt necesaria para cortar un material a una tasa de un cm^3 por segundo o 1000 mm^3 por segundo. (López Baz & otros, 2013, pág. 35)

Para determinar la potencia de maquinado del prototipo, lo primero que se hace es calcular el avance de la herramienta de corte, que está definida en la *ecuación 1*.

$$(1) \quad F_m = (RPM) (IPT) (Z)$$

Donde:

- **Fm**: Avance de la herramienta, es decir; la velocidad con la que la madera se desplaza hacia la herramienta o la herramienta hacia la madera y está expresada en mm/min.
- **RPM = (18.000)**: Velocidad de trabajo de la fresadora o router (1/mim)
- **IPT= 0,0254** Avance de la fresa expresado en mm/diente
- **Z = 1**: Número de dientes de la herramienta de corte. 2

La velocidad de trabajo de la fresa se supone en 18.000 RPM y el avance de la fresa a una pulgada por diente (1pulg/diente)

De la *ecuación 1*, reemplazando las variables se tiene que:

$$Fm = (18.000) * (0,0254) * (1)$$

$$(2) \quad Fm = 457,2 \text{ mm/min}$$

Una vez calculada la potencia del maquinado se puede determinar la tasa de remoción del material la cual está definida en la *ecuación 3*.

$$(3) \quad Q = \frac{(Fm)(Wc)(d)}{60.000}$$

- **Q** = Tasa de corte o remoción del material
- **Fm: 457,2** Avance de la herramienta (mm/min)
- **Wc = 0,4** Espesor de corte (mm), broca de 3/16"
- **D: 0,1** Profundidad de corte (mm)

Reemplazando las variables de la *ecuación 3*, se obtiene la *ecuación 4*.

$$Q = \frac{(457,2)(0,4)(0,1)}{60.000}$$

$$Q = 0,0003048 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$(4) \quad Q = 0,1828 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

Por último, de la *ecuación 4* se puede determinar la potencia requerida de maquinado la cual se define mediante la *ecuación (5)*.

$$(5) \quad Pc = (Kp) (C) (Q) (W)$$

Donde:

- **Pc**: Potencia de la herramienta de corte (Kw)
- **Kp**: Constante de potencia para el material a manufacturar (MDF)
- **C**: Factor de avance
- **W**: Factor de desgaste de la herramienta
- **Q**: Tasa de remoción del material (cm³/seg)

$$P_c = (0,27) (1,7) (0,1828) (1,1)$$

$$(6) \quad P_c = 0.09234 \text{ (kW)}$$

La potencia a transmitir del motor a la herramienta de corte se define en la *ecuación 6*:

$$(7) \quad P_m = \frac{P_c}{E}$$

Donde:

- P_m = Potencia del motor (kW)
- $P_c = 0,09234$ Potencia de la herramienta de corte
- $E = 0,9$ Factor de eficiencia de la maquina/herramienta

$$P_m = \frac{0.09234}{0,9}$$

$$P_m = 0.1025 \text{ (kW)}$$

Este resultado de la potencia del motor muestra que para el maquinado se requiere un motor con una potencia mayor a 102 W. la herramienta que se usará es el Dremel 3000 la cual tiene una potencia nominal de 130 W.

10.3. Análisis de cargas estáticas

El análisis de cargas se realiza de forma digital a través del modelo CAD que contiene el ensamble del DR, y en las pruebas de validación se comprueba de forma física con el modelo de prueba. El modelado y los análisis se hicieron con el software CAD 3D Autodesk Inventor el cual se utiliza para diseño, renderizado y simulación de productos y arrojó los siguientes resultados:

En la simulación se aplicaron materiales como los del modelo físico, las barras principales son de acero plata el cual es un material con alta dureza y resistencia al desgaste

En la *Figura 39* se observa que con el peso del eje horizontal (5kg), el mayor esfuerzo que la estructura va a soportar es de 0,5 Mpa, el cual es un valor bajo y no hace que la estructura se deforme considerablemente como se ve a continuación en la *Figura 40*.

▣ Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	10,000 N
Vector X	-0,000 N
Vector Y	-10,000 N
Vector Z	0,000 N

Figura 38. Carga inicial aplicada al modelado del DR para análisis estático.

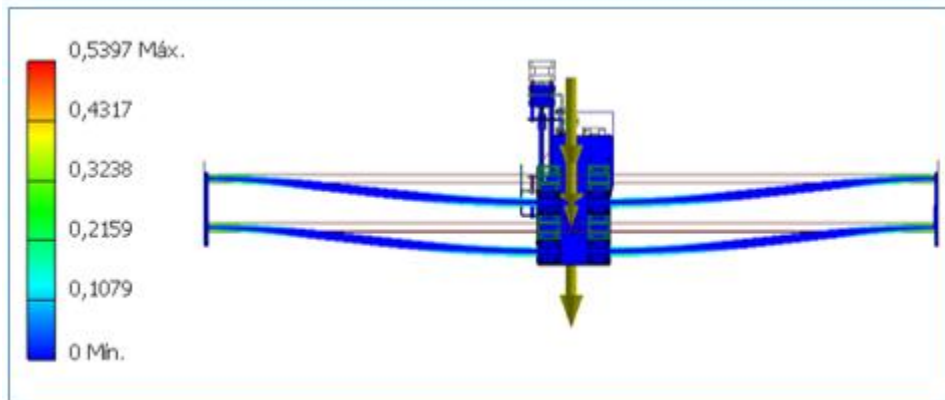


Figura 39. Desplazamiento de la estructura del DR, debido a las cargas estáticas

Figura 38: Tensión de Von Mises, para análisis estático del DR. Unidades en Mpa.

El desplazamiento máximo de las barras del eje base al ser sometidas al peso del eje z y del eje horizontal es de 0,031 mm (figuaraMM2). Este desplazamiento es muy mínimo y no afecta en el movimiento de la estructura superior, por lo tanto, las barras horizontales con diámetro de 12 mm en acero plata son adecuadas para el recorrido de las máquina.

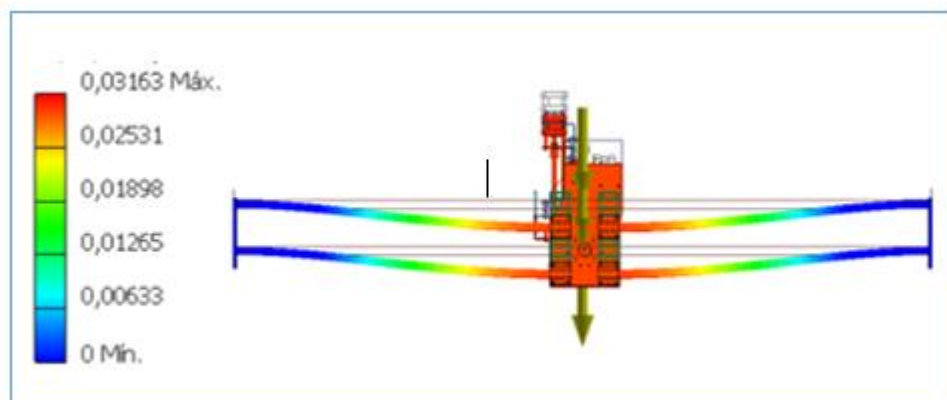


Figura 40. desplazamiento de la estructura del DR, debido a las cargas estáticas.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	2237230 mm ³	
Masa	9,64137 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000199859 MPa	0,539675 MPa
Primera tensión principal	-0,189035 MPa	0,533546 MPa
Tercera tensión principal	-0,537018 MPa	0,180373 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0158148 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su

Figura 41. Resultados del análisis de cargas estático del dispositivo de ruteado DR

Como se puede observar en la *Figura 41* los análisis de tensión y desplazamiento muestran unos resultados con unos esfuerzos bastante bajos, lo que quiere decir que las fuerzas aplicadas son bien soportadas por la estructura propuesta para la configuración del DR, y los materiales son aptos para su correcto funcionamiento.

10.4. Funcionamiento mecánico

Basado en el análisis de esfuerzos mecánicos en el que se concluye que se va a trabajar con un motor de Dremel 3000 para el mecanizado y con motores paso a paso para el movimiento de los ejes, y en la alternativa seleccionada en la prueba de concepto se detallan las partes que componen el dispositivo para su correcto funcionamiento.

El dispositivo DR consta de un sistema mecánico y un sistema electrónico que se relacionan entre sí por medio de motores. En este capítulo se especifican el tipo de motores, la configuración de las piezas y los componentes electrónicos que requiere el diseño.

10.4.1. Sistema mecánico El sistema mecánico del Dispositivo de Ruteado consta principalmente de tres ejes que se encargan del movimiento como lo muestra la *Figura 42*. Los ejes X, Y y Z se desplazan por la superficie de corte transportando la herramienta de ruteado mientras ésta realiza el corte. Para el desplazamiento de la herramienta a través de los ejes se usan rodamientos lineales, éstos se ajustan perfectamente a las barras de deslizamiento disminuyendo la fricción y disminuyendo la vibración.

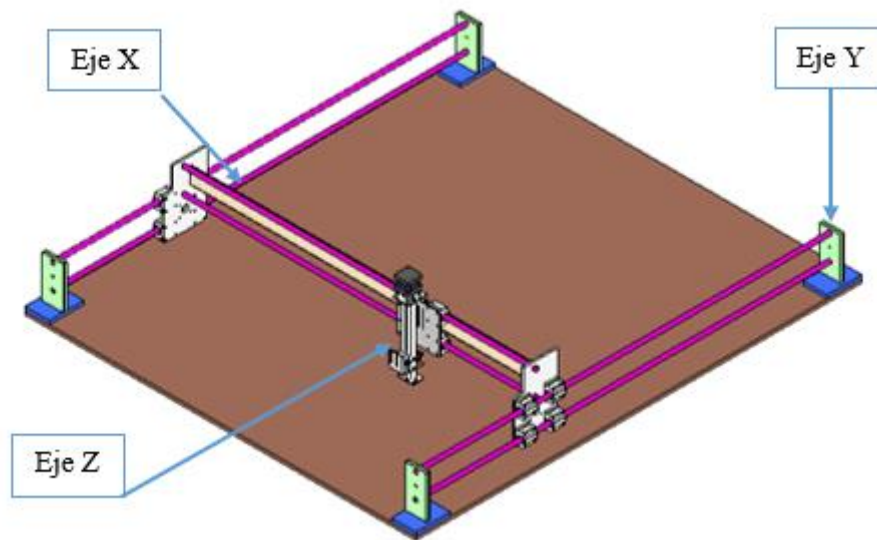


Figura 42. Modelado 3D plano isométrico del dispositivo de ruteado DR.

10.4.1.1. Eje Y – base El eje Y es el eje base del dispositivo y se encarga de soportar todo el peso de la estructura. Está compuesto por cuatro soportes y cuatro barras de deslizamiento paralelas. Estos elementos están dispuestos sobre una placa de madera que ocupa el área total de la máquina. (Figura 43)

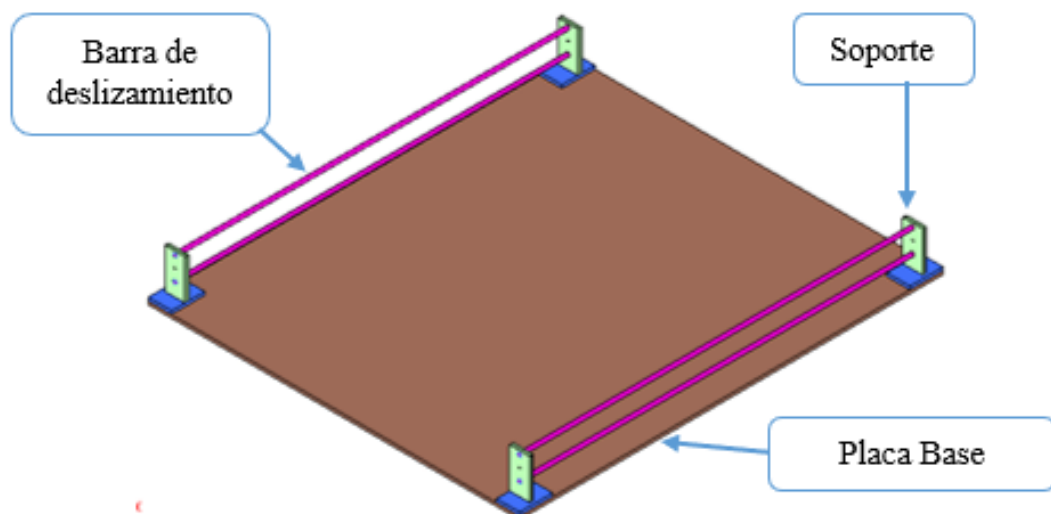


Figura 43. Modelado 3D de plano isométrico del eje base del DR.

10.4.1.2. Eje X – horizontal El eje X o eje horizontal se desplaza sobre toda el área de corte transportando el eje Z y se soporta en las barras del eje Y (*Figura 44*). Cuatro **rodamientos** lineales a cada lado de los ejes, fijados en dos **placas de unión**, permiten el desplazamiento a través de las barras de la base.

Contiene 2 **barras de deslizamiento** para ubicar el eje de ascensión, y un **perfil** de 2 pulgadas en el que se almacenan los principales sistemas electrónicos.

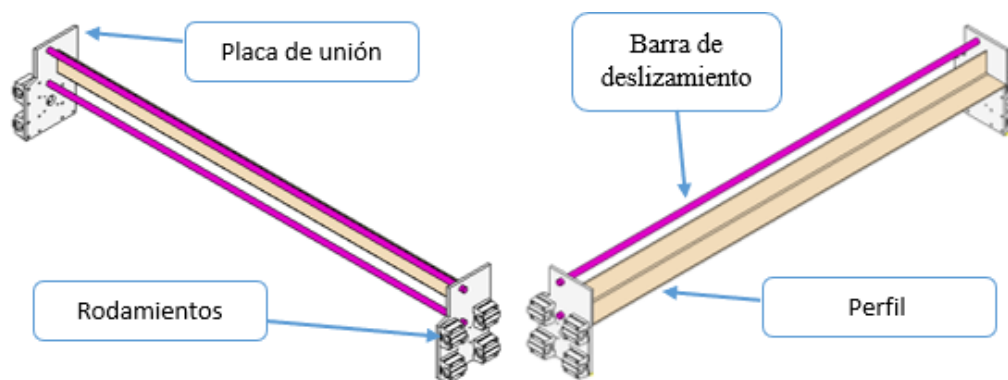
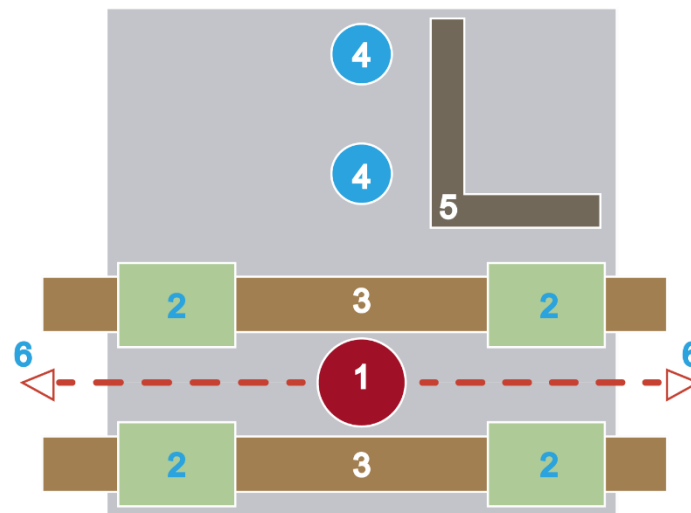


Figura 44. Modelado 3D de plano isométrico del eje horizontal del DR.



1. Motor
2. Rodamientos lineales
3. Barras de deslizamiento eje base
4. Perforaciones para barras de deslizamiento Horizontales
5. Espacio para ubicar el perfil de 2 pulgadas
6. Espacio para mecanismo de transmisión

Figura 45. Propuesta inicial para la distribución de componentes.

Placas de unión Las placas de unión relacionan el eje base con el eje horizontal por lo tanto su diseño integra diferentes componentes, como rodamientos, motores, sistemas de trasmisión y las uniones del perfil y la tornillería de cada uno.

Inicialmente se propuso una división adaptada a la placa de la prueba de concepto como se muestra en la *Figura 45* que fue mejorando a medida que se reubicaban los componentes, y se adaptó el espacio para tener una mejor distribución de las fuerzas y finalmente quedó el diseño de la placa como se observa en la *Figura 46*

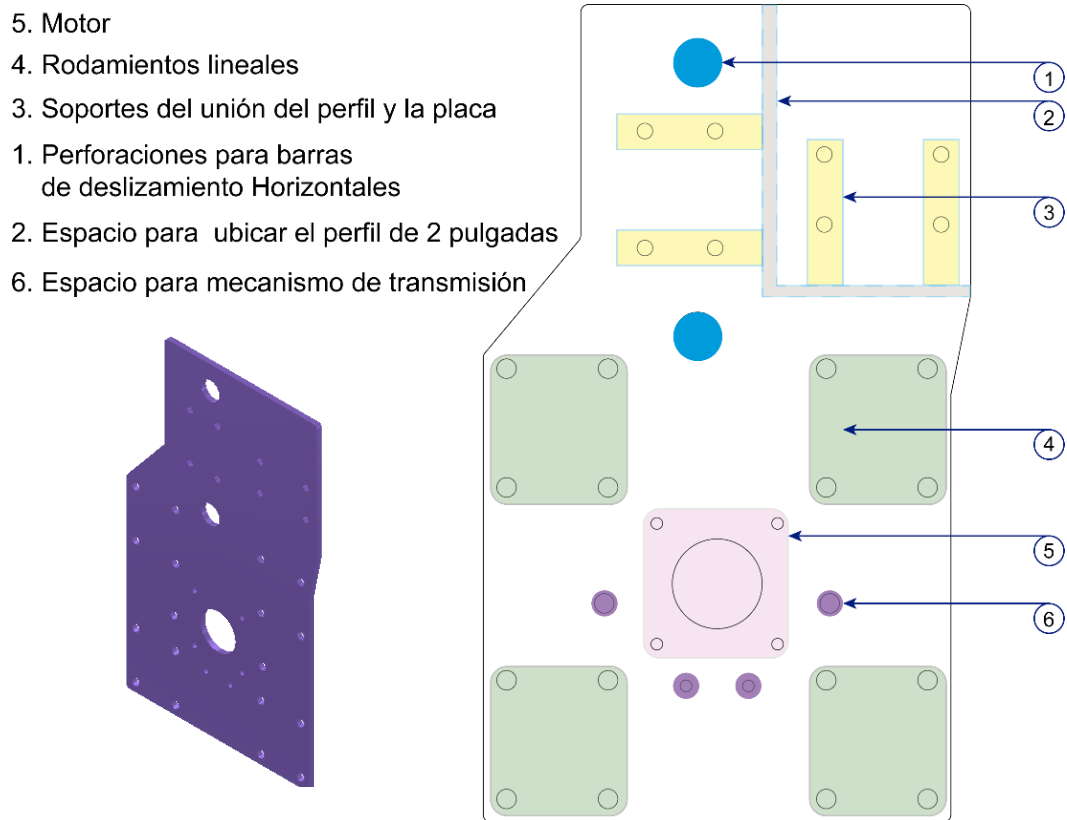


Figura 46. Diseño de la placa basada en la distribución de componentes.

Pruebas técnicas de la placa Para la prueba técnica de la placa de unión se realizaron pruebas cambiando la distribución, adaptando diferentes sistemas y variando los materiales. Fue necesario cortar varias placas con tecnología láser en metal y madera, luego se realizaba un ensamble y se modificaban algunas dimensiones. Finalmente se propuso una trayectoria para la ubicación del sistema de transmisión de movimiento.



Figura 47. Prueba de los ejes laterales

10.4.1.3. Eje Z En la *Figura 48* se observa el eje Z o eje de ascensión el cual permite el movimiento de la herramienta de corte para graduar la profundidad y hace que la fresa de corte suba o baje según lo requiera la operación.

El motor ubicado en la parte superior brinda movimiento a través de un tornillo sin fin que mueve el soporte de desplazamiento a través de las barras fijas.

El eje de ascensión se integra al eje X por medio de cuatro rodamientos que se ubican en las dos barras de desplazamiento de eje horizontal.

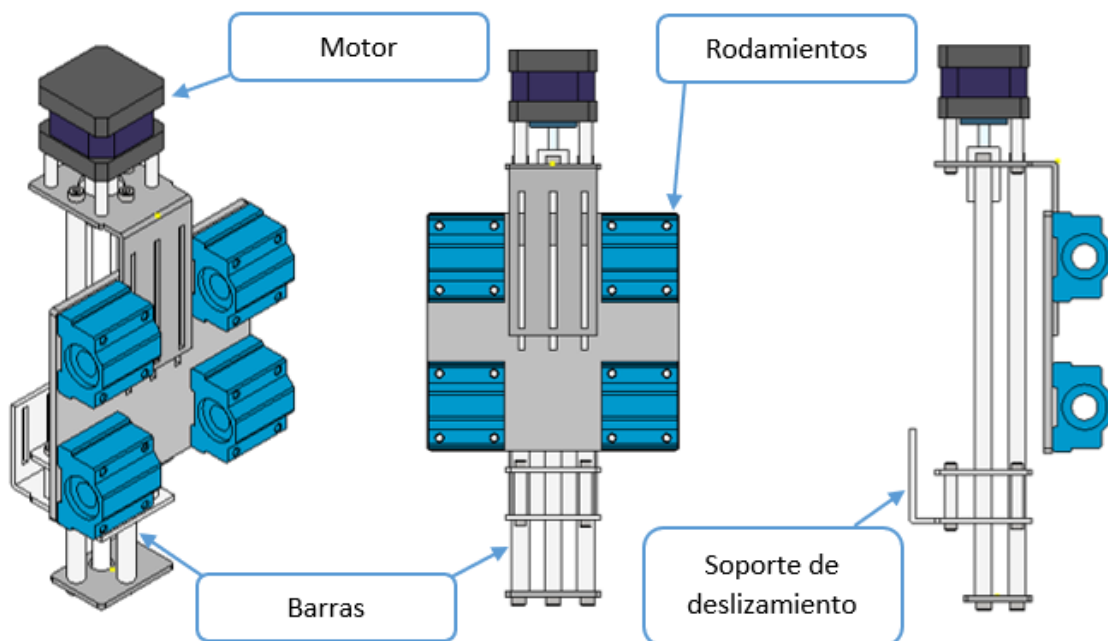


Figura 48. Modelado 3D de plano isométrico del eje vertical del DR.

10.4.2. Mecanismos y sistemas de movimiento El dispositivo de ruteado realiza el desplazamiento por los ejes X, Y y Z, impulsados por motores y requiere un mecanismo de transmisión que se adapte a la configuración propuesta en la selección de concepto.

“La transmisión de potencia desde una fuente, tal como un mecanismo o un motor, a través de una máquina para tener un impulso de salida, es una de las tareas más comunes que se asignan a una maquinaria. Un medio eficiente para transmitir la potencia es a través del movimiento rotatorio de un eje, soportado por cojinetes. Se

pueden incorporar engranes, bandas y poleas o catarinas de cadena, a fin de proporcionar cambios de velocidad y par de torsión entre ejes.” (Budynas & Nisbeth, 2008, pág. 914)

10.4.2.1. Transmisión por catarinas de cadena “Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante puesto que no se involucra al deslizamiento ni al arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia”. (Budynas & Nisbeth, 2008, pág. 887)

Es uno de los elementos mecánicos flexibles más usados La transmisión por cadena es bastante útil cuando se requiere transmitir rotación a varios ejes con una sola cadena, o cuando se requiere transmitir gran cantidad de potencia. Requiere lubricación.

En la figura xx se muestra una catrina que impulsa una cadena en el sentido contrario a las manecillas del reloj. En donde la ecuación de velocidad de la cadena (V), está dada por:

$$V = \frac{Npn}{12}, \text{ donde:}$$

- N = Número de Partes
- p = Paso de la cadena, Pulg
- n = Velocidad de la catrina, rpm

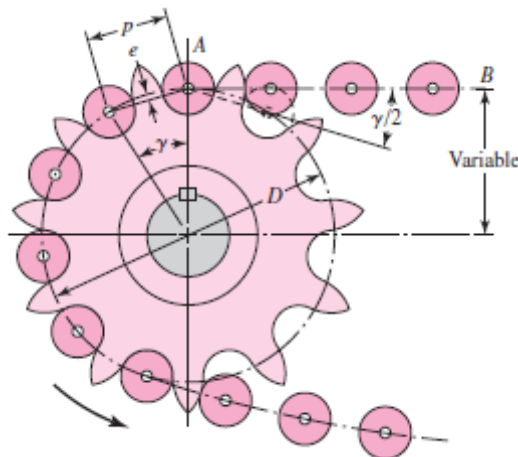


Figura 49. Acoplamiento de una cadena y una Catarina Nota:Recuperado de “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley” de Budynas & Nisbeth, 2008, pag 889

10.4.2.2. Transmisión por bandas y poleas Los cuatro tipos principales de bandas son: las bandas planas, bandas redondas, bandas tipo V y bandas de sincronización. Las poleas

dependen de las bandas ya que pueden ser ranuradas, acanaladas, dentadas o catrinas (Budynas & Nisbeth, 2008, pág. 890). En la *Figura 50* se observan los tipos de banda anteriormente mencionados y algunas de sus parámetros.

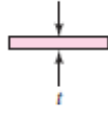

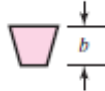
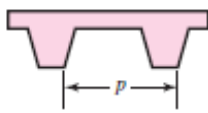
Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Figura 50. Características de algunos tipos comunes de bandas. Las figuras son secciones transversales con excepción de las bandas de sincronización donde la vista es lateral. Nota: Recuperado de “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley” de Budynas & Nisbeth, 2008, pag 860

10.4.2.3. Transmisiones por banda plana o redonda. Las modernas transmisiones por banda plana o redonda consisten en un núcleo elástico fuerte rodeado por un elastómero, estas bandas tienen notables ventajas sobre las transmisiones de engranajes y las de bandas en V. Una transmisión de banda plana presenta una eficiencia de aproximadamente un 98% que es más o menos igual a la transmisión por engranes.

Transmisiones por bandas de sincronización. Las bandas de sincronización tienen dientes que entran en las ranuras de la polea dentada como se observa en la **figura xx**. La banda de sincronización no requiere una tensión inicial, no se estira ni se desliza y es por esto puede transmitir potencia a una relación constante de velocidad angular. Estas bandas tienen eficiencia en un intervalo de 97 a 99%, superan a las transmisiones de cadena en aspectos relacionados con la precisión, la disminución del ruido y que no requieren lubricación. (

Budynas & Nisbeth, 2008, pág. 886)

En la *Figura 51* se puede observar la relación de la polea con la cadena de transmisión y es importante resaltar que el diámetro del círculo de paso es mayor que el diámetro exterior de las crestas de la polea.

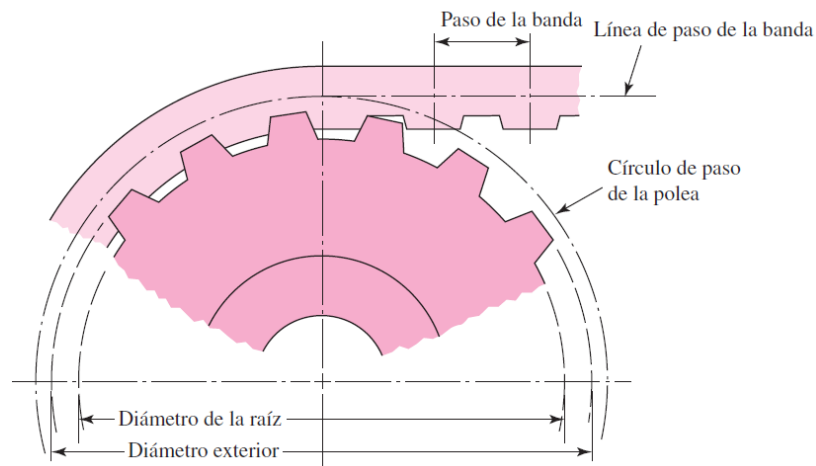


Figura 51. Transmisión por banda de sincronización que muestra partes de la polea y de la banda. Nota: Recuperado de “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley” de Budynas & Nisbeth, 2008, pag 886

10.4.2.4. Transmisión tornillo tuerca - Sistema ScrewsBall Este sistema proporciona ventajas como mayor eficiencia, precisión, mayor capacidad de carga, mayor esperanza de vida, mayores velocidades de operación y capacidad de retroceder, tienen un porcentaje muy alto a la habilidad de transferir casi toda la potencia rotativa al movimiento lineal, alcanzando una eficiencia en un 90 por ciento o más: gracias a que los tornillos de bolas se interconectan a un rodamiento de bolas reduciendo radicalmente la fricción. Los tornillos tienen un costo más elevado que los tornillos comunes (Overby, 2010).



Figura 52. Tonillo de bolas. Nota: recuperado de “CNC repowering automatización industrial”. Recuperado de: <https://cncrepowering.com.co/es/tornillos-de-bolas/444-tornillo-de-bolas-recirculantes-2505.html>

10.4.3. Análisis de Sistemas de transmisión El diseño del sistema para transmitir potencia desde una fuente ya sea un mecanismo o un motor a través de un sistema rotatorio tiene varios puntos a tener en cuenta tales como la precisión, potencia, número de partes, materiales, diseño para esfuerzos, diseño de los ejes, aplicación, costos, mantenimiento etc.

En el presente análisis no tiene en cuenta las transmisiones por engranes ni por cables metálicos ya que sus aplicaciones son diferentes a los requeridos en el dispositivo de ruteado DR. Principalmente porque la transmisión por cable es tiene muy poca precisión y los engranes no se adaptan a la configuración propuesta para el diseño (ver *Figura 53*).

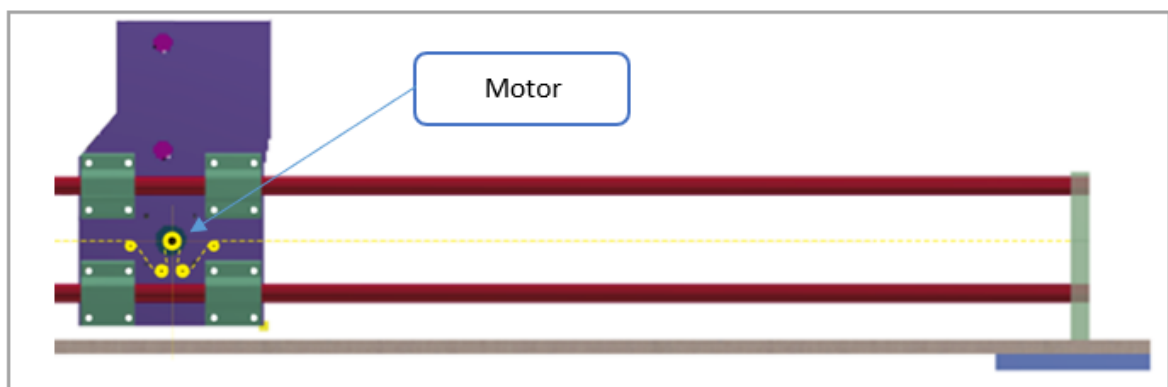


Figura 53. Esquemático del sistema de transmisión propuesto para el movimiento del eje horizontal.

La principal variable a la hora de seleccionar el mecanismo apropiado para aplicarlo a la configuración del DR; es la precisión, ya que el dispositivo de ruteado deberá realizar desplazamientos milimétricos.

La transmisión por banda de sincronización es una excelente opción para ser aplicada en máquinas de precisión que no requieran tanta potencia. Debido a sus materiales se encuentra en el mercado a un precio moderado, y su mantenimiento no requiere lubricantes.

Las bandas de transmisión son muy livianas por el material polimérico en las que están fabricadas, éstas permitirán, por su poco peso; la portabilidad del DR.

10.5. Electrónica y control

La parte más importante de todo dispositivo CNC es el control tal como se mencionó en el capítulo 2. Para el caso del DR la tarea de ruteado a nivel lógico comienza con un diseño realizado en un programa CAD que luego es exportado a lenguaje de máquina en un software o complemento CAM, en este software es donde se ajustan los parámetros de la herramientas, el material y demás configuraciones de trabajo para transformar el CAD en lenguaje de código de máquina, posteriormente se usa un software de control el cual es el encargado de leer y enviar los datos del archivo CAM a la tarjeta de procesamiento del dispositivo, cuando la tarjeta de procesamiento recibe la información del software de control esta envía la orden para que se muevan los motores según los parámetros de velocidad o dirección que figura en la información del archivo CAM (ver *Figura 54*).

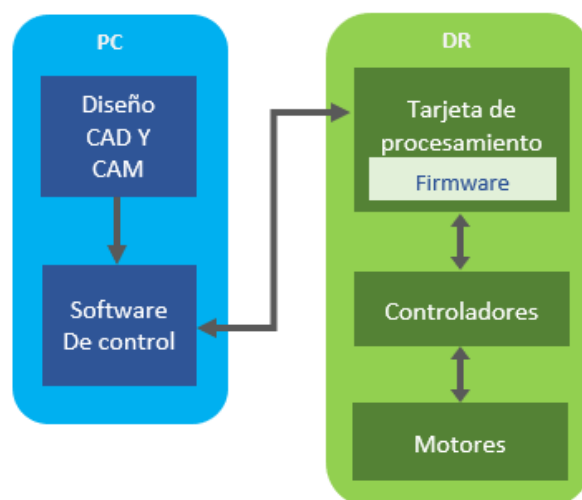


Figura 54. Esquema de la lógica de control del DR

10.5.1. Componentes electrónicos Se comienzan por definir los componentes electrónicos que usará el DR para posteriormente definir las otras partes del control.

10.5.1.1. Motores Paso a Paso Aunque en el esquema de funcionamiento del DR los motores son los últimos elementos del proceso para el desarrollo del montaje electrónico es necesario seleccionar que motores se usarán puesto que de esto dependen los otros componentes.

Tabla 19

Tipos de motores con sus características y aplicaciones.

Tipo de Motor	Características	Aplicaciones
Motor DC	Económico Alta Velocidad Alto torque	Control de velocidad Controles de lazo Cerrado
Motor Paso a Paso	Micropasos Control Ideal No para cargas variables Alta precisión	Controles de Lazo Abierto Posicionamiento Micro movimientos de Precisión
Servomotores	Velocidad Moderada Buen Torque Costo Moderado	Controles de lazo cerrado Posicionamiento Controles de Velocidad

Nota. Tomado de “diseño e implementación de un control CNC para crear modelos y esculturas en tercera dimensión a partir de un diseño CAD”, de García Mutis, I. C., Lagos López J. G., Urrego Perez, L. F. & Delgado Parra, Y. P., 2006, Universidad de San Buenaventura, pag. 52

Basándonos en los datos de la Tabla 19 se seleccionan unos motores paso a paso los cuales cuentan con las características de la Tabla 20

Tabla 20

Características de los motores paso a paso del DR.

Modelo	SL42STH48-1504A
Dimensiones	Alto: 7cm, Ancho, 4.5cm, Largo: 4.5cm
Ángulo de paso	1.8°
Voltaje nominal	2.8V
Corriente nominal	1.68A
Torque	5.6 Kgr*cm
Cables de conexion	4
Peso	350 gramos

Nota: Tomado de “Vistronica: tienda virtual de electrónica” tomado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso-5-6kgcm-nema-17-para-impresora-3d-detail.html>

10.5.1.2. Tarjeta de Procesamiento Como se mencionó anteriormente todos los dispositivos CNC cuentan con una unidad procesadora que permita controlar el movimiento, la velocidad y la posición. Para nuestro caso seleccionamos la board Arduino UNO R3 ya que es un dispositivo bastante popular debido a su buen rendimiento para aplicaciones de control y su bajo costo.

10.5.1.3. Controladores Para los controladores se escogieron los DRV 8825, son los controladores más utilizados en el desarrollo de impresoras 3D por lo cual se pueden adquirir fácilmente y aun costo razonable en las tiendas de comercio de electrónica de todo el país.

10.5.1.4. Tarjeta shield Para realizar el montaje de los drivers en la board Arduino existen ya en el mercado unas tarjetas conocidas como GRBL shield las cuales ya cuentan con los conectores para los drivers y las interfaces de los motores Paso a Paso.

10.5.2. Sistema lógico

10.5.2.1. firmware El firmware es la lógica de bajo nivel que establece cuáles serán los pines de entradas y salidas de la tarjeta Arduino. En nuestro caso usamos GRBL (GNEA, 2016), un firmware de código abierto que ha sido diseñado para trabajar con la tarjeta Arduino basados

en el diseño de la tarjeta shield y compatible con múltiples drivers entre ellos los DRV8825.

10.5.2.2. Software de control Para el software de control se usó CNCJS (CNC.JS, 2016), un software también libre que puede controlar desde máquinas CNC hasta impresoras 3D. Esta versatilidad le brinda la ventaja de que puede leer distintos formatos de archivos CAM.

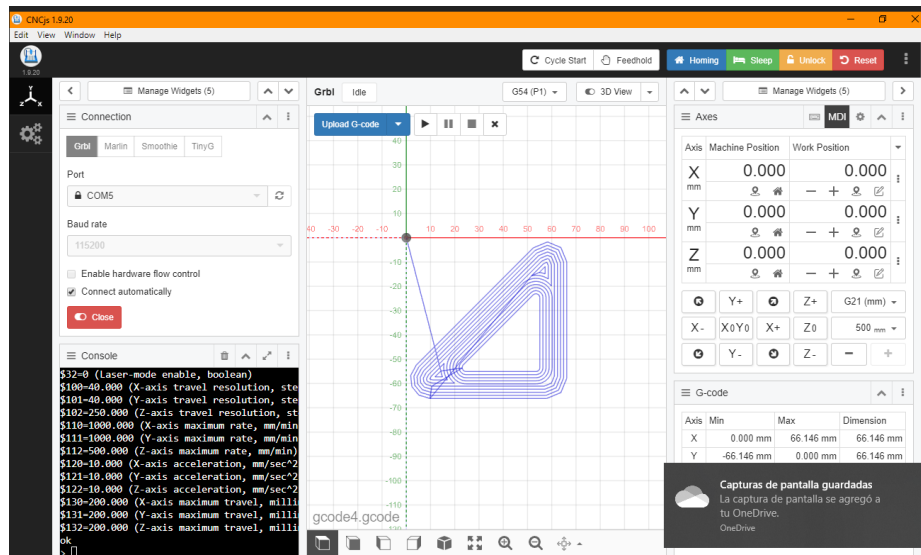


Figura 55. Espacio de trabajo del software CNC JS.

10.6. Construcción del modelo funcional

Durante la construcción del modelo funcional de pruebas se utilizan piezas principalmente en aluminio y MDF (Figura 56). Se propone un sistema compuesto por piezas comerciales y piezas que se pueden fabricar con el dispositivo de ruteado, es decir; que este dispositivo de ruteado podrá fabricar más máquinas CNC con el mismo diseño.

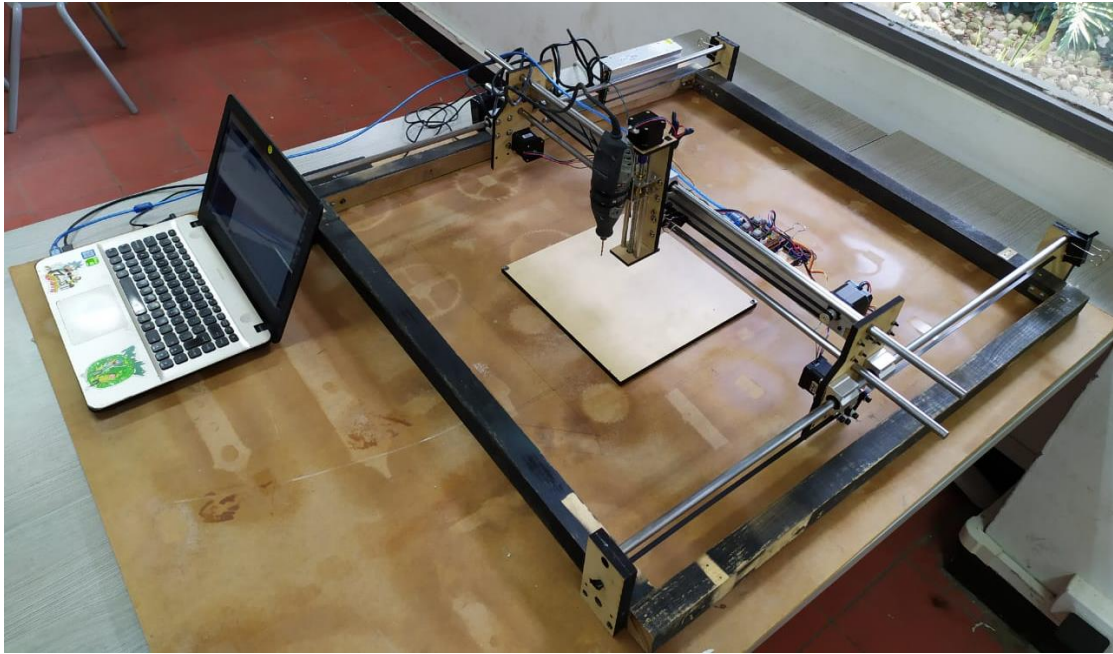


Figura 56. Construcción del modelo funcional de prueba ensamblado con los tres (3) ejes y el sistema electrónico.

El eje *X* o eje base se compone de cuatro soportes de MDF y las barras de deslizamiento en acero plata (Planos 020 y 021 Apéndice D). Tienes unas dimensiones para ensamble a presión, las barras de deslizamiento encajan en los huecos de los soportes y se aseguran con anillos de sujeción.

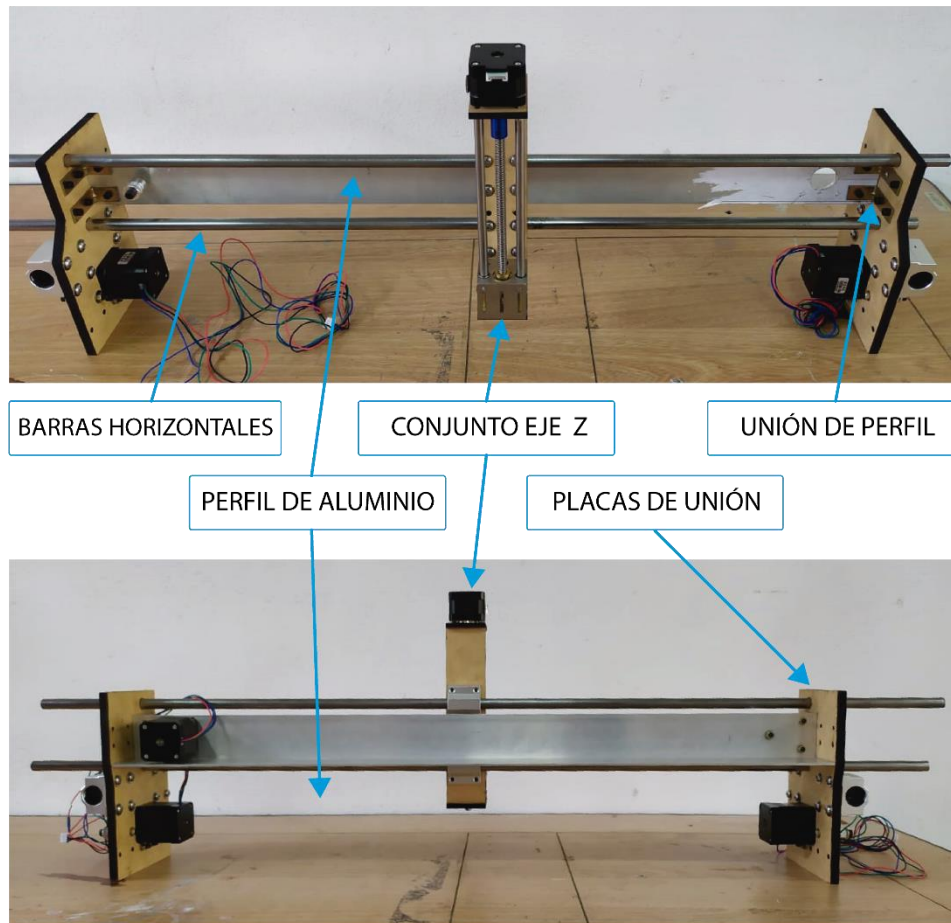


Figura 57. Construcción del eje horizontal para el modelo funcional de prueba.

El eje horizontal es el principal eje para la función del DR, sobre éste van ubicados los componentes electrónicos y el eje Z (Figura 57). El proceso de armado del eje X es bastante sencillo utilizando uniones atornilladas indirectas se ensamblan los rodamientos los motores y el perfil de aluminio y las barras horizontales se ensamblan a presión.

La conexión del eje base y el eje horizontal se da por medio de la **placa de unión** (Figura 53) que se ensambla con los motores y los rodamientos. Las placas de unión se pueden fabricar con procesos de ruteado CNC o por corte laser. Para el modelo de prueba por motivos de costos se realiza el corte laser en una lámina de MDF de 3mm. Los criterios del proceso de fabricación se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Criterios para el proceso de fabricación y ensamble del conjunto placa de unión

Materiales de fabricación	MDF calibre 3mm
Procesos de Manufactura	Corte laser 5 min
Procesos para ensamblado	Uniones temporales
Tipo de uniones	Uniones atornilladas directas e indirectas
Herramientas para ensamble	Llave Bristol

Para la fabricación del eje de ascensión se realiza una unión atornillada de movimiento, el movimiento del eje Z se realiza por medio de un tronillo de bolas el cual es impulsado por el motor Z y desplaza el soporte de la herramienta de trabajo (Dremel 3000). La estructura se ensambla como se observa en la *Figura 58*

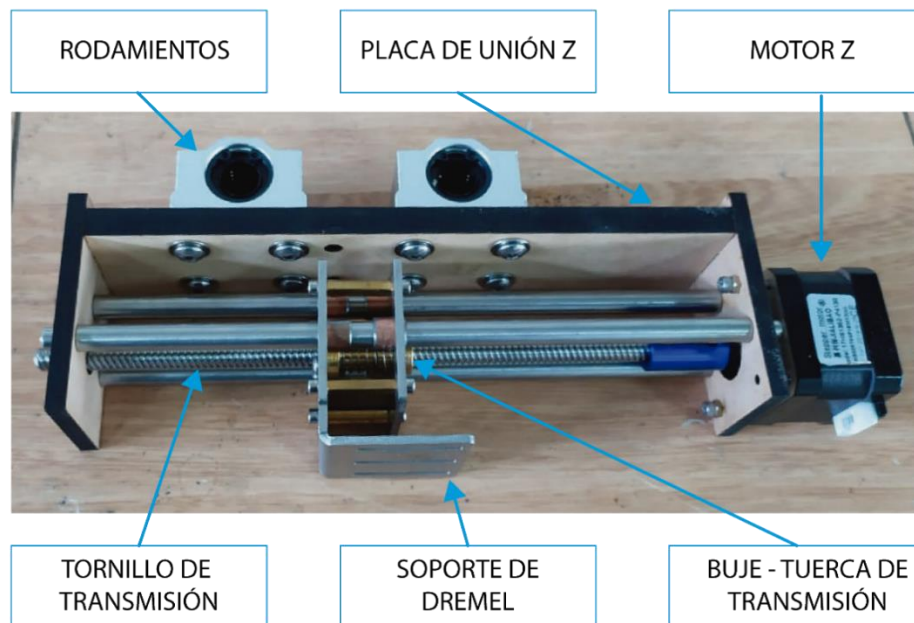


Figura 58. Construcción del eje de ascensión para dispositivo de ruteado DR.

Tabla 22

Criterios para el proceso de fabricación y ensamble del conjunto del eje Z

Materiales de fabricación	MDF calibre 3mm
Procesos de Manufactura	Corte laser 10 min
Procesos para ensamblado	Uniones temporales
Tipo de uniones	Uniones atornilladas directas e indirectas
Herramientas para ensamble	Unión atornillada de movimiento Llave Bristol




10.7. Proceso de ensamble paso a paso

Una vez tenemos las piezas del DR sobre la mesa de trabajo se puede disponer a realizar el ensamble utilizando llaves Bristol y una llave inglesa. Se empieza el ensamble desde la base, para posteriormente instalar el eje horizontal y por último el eje de ascensión.

1. Ensamble de eje base
 - Se atornillan los soportes bases a la placa de madera base.
 - Se ubican uno por uno las barras de deslizamiento del eje *Y* sin fijarse.
 - Se procede a instalar el eje horizontal
2. Eje horizontal
 - Se realiza en ensamble de las placas de unión, motores y rodamientos.
 - Se unen las dos placas de unión con el perfil de aluminio por medio de tornillos.
 - Se asegura el motor y la polea en el perfil de aluminio.
 - Se instala el eje horizontal sobre las barras del eje base.
 - Se ubican las barras del eje horizontal sin fijarse
 - Se procede a ensamblar el eje *Z*
3. Eje de eleva
 - Se acopla el tornillo sin fin al motor por medio de un buje.
 - Se instalan las barras separadoras del eje *Z*
 - Se acopla el soporte de la herramienta.
 - Se instala la herramienta de trabajo sobre el soporte de la herramienta.
 - Se ajusta la broca de corte en la herramienta.
4. Sistema electrónico
 - Se ubica la tarjeta Arduino, los controladores y demás sistema electrónico sobre el perfil de aluminio.
 - Se distribuyen los cables hacia cada uno de los cuatro (4) motores que integran el sistema.

Tabla 23

Lista de componentes electrónicos.

Componente	Cantidad	Descripción	Imagen
Motor Paso a Paso	4	Motor paso a paso Nema 17, de 5.6Kgcm. Para Impresora 3D (Referencia VIS121).	
Banda de transmisión	3	Correa de Distribución GT2-6mm para Impresora 3D (Referencia VIS329)	
Poleas de transmisión para motor	3	Polea GT2 20 Dientes 16x16 mm Para Eje de 5 mm (Referencia VIS508)	

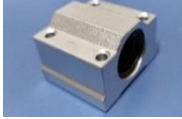
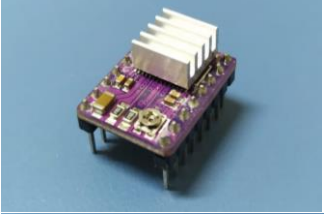



Rodamientos lineales	12	Cojinete para Eje Lineal 12MM - SC12UU - SC12 (Referencia VIS1362)	
-----------------------------	----	--	---

Tabla 24

Lista de partes mecánicas.

Componente	Cantidad	Descripción	Imagen
Driver Motor paso a paso + Disipador	1	DRV8825 Driver Motor paso a paso 1.5 A + Disipador	
Driver Shield CNC para A4988	1	Shield CNC para Driver A4988	
Final de carrera para impresoras 3D - endstop	1	Final de carrera para impresoras 3D - endstop	
Tarjeta Arduino + Cable USB	1	Arduino UNO R3 + Cable USB	

10.8. Imagen corporativa

El dispositivo de tres ejes para corte y ruteado de láminas de madera escribe el nombre de DiRu. Y el diseño de su logotipo va relacionado con las funciones que realiza. (Figura 59)

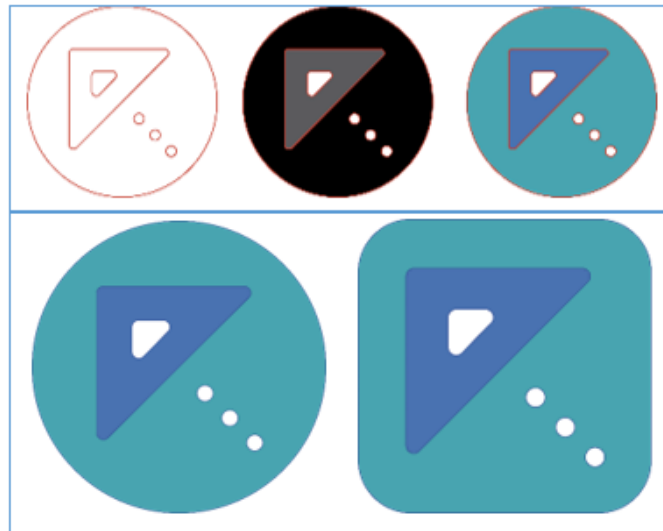


Figura 59. Logotipo de DiRu basado en procesos de calado, ruteado y taladrado

10.8.1. Descripción del logotipo El logotipo representa los tres tipos de operaciones que realiza el DiRu en una lámina de madera; calado, ruteado y taladrado. El círculo exterior es una operación que se puede realizar con caladora, la forma de la letra “D” se fabrica por medio de una ruteadora y los puntos que representan la base de la letra “R” son procesos de taladrado.

10.8.2. Sistema de empaque y transporte

Una de las ventajas del DR DiRu es que sus piezas una vez cuando en dispositivo no está ensamblado permiten acomodarse para ocupar poco espacio, de esta forma el dispositivo se puede guardar y transportar en un empaque con dimensiones de 100x10x10cm aproximadamente como se muestra en la figura EE

10.8.2.1. Requerimientos para el diseño del Empaque. Para el empaque se plantea la siguiente lista de requerimientos.

- La protección que brinda al producto su peso y su resistencia deben adaptarse a las características del producto.
- Debe servir para exhibir el producto y dar un valor agregado al cliente.
- Materiales amigables con el medio ambiente
- Se diseña el empaque para el transporte, la portabilidad y potenciar la venta.
- Su intención aparte de generar recordación es que el producto pueda ser transportado fácilmente.

10.8.2.2. Modelado de empaque

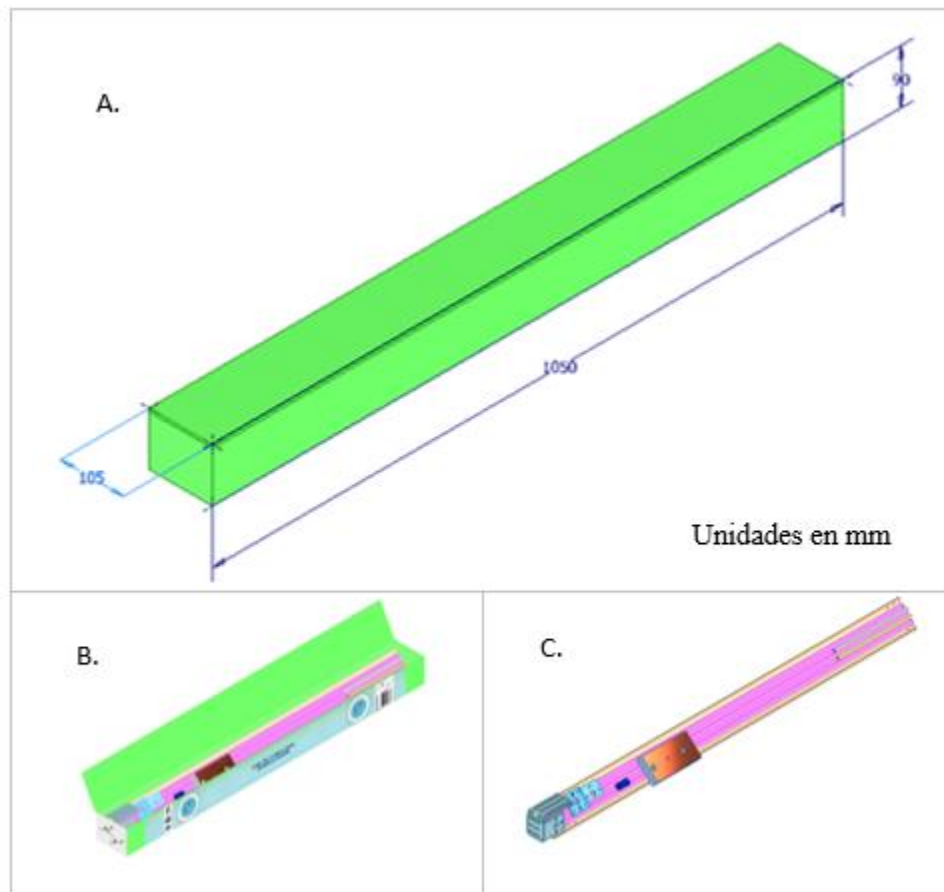


Figura 60. Sistema de empaque para el dispositivo de ruteado DR DiRu.

11. Prueba de Validación

Para validar el funcionamiento del diseño del dispositivo de ruteado DR se realiza una prueba en la que se realiza un análisis del comportamiento de la máquina en comparación con procesos de corte para láminas de madera utilizando herramientas tradicionales como ruteadora manual, caladora y taladro bajo condiciones ideales para el trabajo.

La prueba se practica para evaluar los parámetros relacionados a los tiempos de prelistamiento y funcionamiento. La validación utiliza realizando procesos para la fabricación de una pieza en MDF con parámetros dimensionales específicos como se muestra en la *Figura 61*

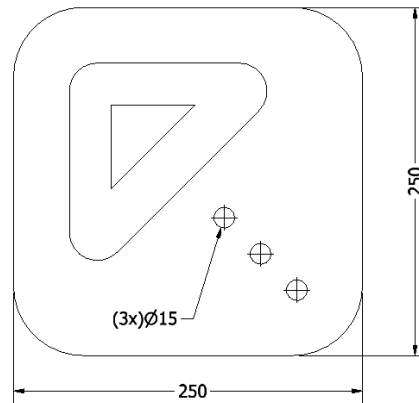


Figura 61. Dibujo técnico para maquinado de la pieza.

11.1. Objetivo de la prueba

- Evaluar el desempeño del dispositivo DR en cuanto al funcionamiento electrónico.
- Evaluar el desempeño del dispositivo DR en cuanto al funcionamiento mecánico
- Medir los tiempos en procesos convencionales de corte de madera y compararlos con los tiempos de trabajo del DR.
- Verificar que cumpla con los requerimientos de diseño anteriormente definidos.

11.2. Variables

- Tiempos de procesos de ruteado calado y taladrado.

Evaluar los tiempos de procesos de ruteado es indispensable para demostrar que el diseño del DR cumple con los estándares de corte, además de los otros procesos que reemplaza, como el perforado y el calado de láminas de madera.

11.3. Elementos utilizados durante la prueba

- Modelo de prueba de dispositivo de Ruteado DR.
- Caladora manual (referencia)
- Ruteadora manual (referencia)
- Taladro (referencia)
- Lámina de MDF calibre 2 mm.
- Cámara fotográfica
- Calibrador
- Cronómetro

11.4. Equipos de medida

- Cronómetro
- Calibrador

11.5. Procedimiento

El procedimiento para la evaluación del tiempo en tareas de ruteado del Dispositivo DR Diru en relación con los procesos convencionales de ruteado, calado y taladrado, consiste en maquinar una pieza en madera aplicando procesos convencionales y otra pieza con aplicando el proceso de trabajo del dispositivo DR Diru, y realizar una toma de datos para evaluar los tiempos en las tareas aplicadas.

Para el corte con procesos convencionales se usan planos técnicos con medidas específicas que indiquen la forma y las características dimensionales de la pieza. Las herramientas para el proceso son manuales (Caladora, ruteadora y taladro).

Para el corte por medio del DR se utiliza un modelado en formato CAD, el cual se inserta en el programa de corte para que el dispositivo realice las operaciones.

En los dos procedimientos se utiliza el mismo tipo de material de trabajo, MDF calibre 5 mm.

11.6. Resultados

11.6.1. Resultados de corte Convencional Los resultados de las pruebas de validación aplicando procesos convencionales se observan en la Tabla 25. El tiempo total que tarda un operario experto en maquinar la pieza es de 14 minutos, realizando cortes con caladora, curvas y grabados con ruteadora, perforaciones con taladro, y sujeciones de la pieza con prensas.

Tabla 25.

Resultado de procesos de ruteado, calado y taladrado manual.

Actividad	Medida	Unidades
Caladora 450 W V.V. 0-3000 SPM corte Biselado Black & amp Decker.		
Alistamiento de la herramienta	59,5	Segundos
Fijar pieza de corte	53	Segundos
Tiempo de corte recto	164,7	Segundos
Soltar pieza y cambio de operación	62,6	Segundos
Tiempo total de calado	339,8	Segundos
Ruteadora manual DeWalt.		
Alistamiento de la herramienta	45	Segundos
Fijar pieza de corte	32,8	Segundos
Tiempo de ruteado de curvas	197,7	Segundos
Soltar pieza y cambio de operación	31,9	Segundos
Tiempo total de ruteado	307,4	Segundos
Taladro Inalámbrico 18v – M18 Redlithium XC4.0		
Alistamiento de la herramienta	27,5	Segundos
Fijar pieza de corte	39,7	Segundos
Tiempo de taladrado (3 huecos)	96,1	Segundos
Soltar pieza y cambio de operación	31	Segundos
Tiempo total de taladrado	194,3	Segundos
Tiempo total de procesos	841,5	Segundos



Figura 62. Operario realizando procesos de ruteado, calado y taladrado.

11.6.2. Resultados de corte con Dispositivo de Ruteado CNC Diru El proceso de ruteado con dispositivo numérico por computador no requiere cambiar siempre la herramienta de corte (fresa) para el maquinado de una sola pieza como en este caso, tampoco requiere como en los procesos convencionales asegurar y soltar la pieza que se está maquinando cuando pasa de una operación a otra, ya que; al estar los tres procesos integrados solo se realiza un posicionamiento inicial y al final se retira la pieza terminada.

Los resultados de la prueba de validación utilizando el Dispositivo de ruteado Diru (Tabla 26) muestran unos tiempos de trabajo menores a los realizados con herramientas manuales.



Figura 63. DiRu cortando MDF de 9mm en las pruebas

Tabla 26.

Resultado de procesos de maquinado con dispositivo de ruteado Diru.

Actividad	Medida	Unidades
Posicionamiento de la pieza	30	Segundos
Posicionamiento del dispositivo	60	Segundos
Proceso de maquinado	469,5	Segundos
Tiempo total de procesos	559,5	Segundos

11.7. Conclusiones de la validación

Después de realizar un análisis de los resultados se puede notar una gran diferencia en los tiempos de trabajo para el procesamiento de la lámina de MDF. El tiempo que tarda un operario profesional en realizar la pieza de la *Figura 61* utilizando procesos de corte con herramientas manuales es bastante superior al invertido con el dispositivo Diru. Mientras que los procesos convencionales tardan 14 minutos, el corte CNC solo demora 9,3 minutos, la cual es una diferencia que demuestra que se puede optimizar por medio del trabajo con el dispositivo Diru.

12. Conclusiones

Con la culminación de este proyecto se logra alcanzar un modelo funcional que le otorga a la empresa Jade 3D junto con los resultados del proceso un buen punto de partida para continuar con el desarrollo de dispositivos de manufactura flexible y prototipado rápido en pro de ampliar sus productos, mejorar sus procesos y conquistar nuevos mercados.

La metodología aplicada para la investigación en la que se incluyeron entrevistas, sesiones con grupos de enfoque, análisis de mercado y análisis de los puestos de trabajo, arrojó unos resultados para poder establecer los requerimientos y especificaciones importantes para el usuario relacionados con la funcionalidad, la estructura y algunos atributos técnico-productivos como el uso de repuestos existentes en el mercado nacional.

Los requerimientos fueron útiles para el proceso de propuesta y evaluación de alternativas

para el diseño del DR. Se desarrollaron cuatro (4) conceptos y a aunque todos cumplieron con la mayoría de los requerimientos, la propuesta basada en un sistema horizontal de barras paralelas fue la que mejor se adaptó a estos según el usuario.

Con la prueba del concepto se comprobó que la configuración propuesta para el ensamble, funcionamiento y portabilidad, es suficientemente clara, fácil de entender y adecuada para que pueda funcionar como dispositivo de ruteado CNC.

La alternativa seleccionada se adaptó y cumplió todos los requerimientos del usuario y fue detallada por medio de un modelo CAD que permitió iniciar el proceso de construcción.

La transmisión por banda de sincronización fue adecuada para la función que requiere el DR, por su bajo precio, su precisión y su fácil instalación.

Se logró construir un prototipo funcional de prueba con repuestos existentes en el mercado nacional, para evaluar los tiempos de ruteado, calado y taladrado.

Durante la medición de los tiempos se observó que el dispositivo DR realiza operaciones en menos tiempo que el invertido con herramientas convencionales de ruteado, calado y taladrado. En la prueba realizada el DR pudo hacer el proceso en un 34% menos de tiempo que con herramientas manuales.

Referencias Bibliográficas

- Budynas, R. G., & Nisbeth, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mc Graw Hill.
360. (2009). ADN sector empresarial. Obtenido de <http://www.compite360.com/compitehtml5/sitio/adng/>
- Afanador, D. M., & Perez, C. J. (2013). *Diseño y construcción de un mini router CNC para cortar láminas de aluminio*.
- Altemir Grasa, J. M. (2008). Capítulo 3: PROCESOS DE FABRICACIÓN. En *Diseño Mecánico y Técnicas de Representación*.
- Artesanías de Colombia S.A. (2008). *Proyecto de mejoramiento en la calidad y certificación de productos de artesanos en 13 comunidades, ubicadas en los departamentos del Atlántico, Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Chocó, Santander, Sucre y Valle del Cauca*. (Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, Trad.)
- Bressmann, T. (3 de 2004). Self-inflicted cosmetic tongue split: a case report. *Journal (Canadian Dental Association)*, 70, 156-157. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161>
- carbide 3d. (2016). The Best CNC Router for your Shop. Obtenido de <http://carbide3d.com/shapeoko/>
- CNC.JS. (2016). *CNC.JS*. Obtenido de <https://cnc.js.org/>
- Córdoba, E. (2010). Manufactura y Automatización. *Ingeniería e Investigación*, 26, 120-128. Obtenido de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/14761>
- DANE. (2017). Encuesta Anual Manufacturera 2016. Obtenido de <http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/523/getmicrodata>
- Denford. (2008). Denford vertical router. Obtenido de

<http://website.denford.ltd.uk/products/vertical-router/>

Discover. (2019). Discover Tools. Obtenido de <http://discovertools.com.co/>

García E. (2009). Estudio para la identificación de los productos potenciales en los sectores agropecuarios, agroindustrial y artesanal, que podrían ser protegidos a través de DENOMINACIONES de origen, marcas colectivas o de certificación. *Revista Dpn*, 59-63. Obtenido de

<https://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=IT4oo7MxS6g=&tabid=89>

García Mutis, I. C., Lagos López, J. G., Urrego Pérez, L. F., & Delgado Parra, P. Y. (2009). *Diseño e implementación de un control CNC para crear modelos de esculturas en tercera dimensión a partir de un diseño CAD*. Bogotá.

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies*. Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-1-4419-1120-9

GNEA. (2016). *GRBL*. Obtenido de <https://github.com/gnea/grbl>

González, M. (2009). *Caracterización de la Calidad de Ruteo en Madera Usando Medición del Sonido*.

Hagel III, J., Seely Brown, J., Kulasooriya, D., Giffi, C., & Chen, M. (2015). *El futuro de la manufactura. Fabricando cosas en un mundo cambiante*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/manufacturing/Futuro-Manufactura-Espanol.pdf>

Inventables. (2015). X-Carve Make your dream job. Obtenido de <https://www.inventables.com/technologies/x-carve>

Jade 3D tecnologías y desarrollo. (25 de 2 de 2019). Obtenido de <http://jade3d.com/>

Kief, H. B., & Roschiwal, H. A. (2012). *Digital Product Development and Manufacturing: From CAD and CAM to PLM*. McGraw Hill Professional, Access Engineering. Obtenido de <http://www.accessengineeringlibrary.com/browse/cnc->

handbook/pt06c9780071799485ch03

- Labarca, C., & Lyon, A. (8 de 2006). Diseño y manufactura digital: Horizontes en la práctica y enseñanza de la arquitectura. *ARQ (Santiago)*. doi:10.4067/S0717-69962006000200004
- Lee, J., Wang, L., & Nee, A. Y. (2009). *Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing*.
- León Duarte, J. A. (1 de 12 de 2005). *Metodología para la detección de requerimientos subjetivos en el diseño de producto*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/handle/10803/6840>
- Loik, J. (24 de 9 de 2015). Review: Printrobot Crawlbot Changes Everything About Large CNC Routing. Obtenido de <https://makezine.com/2015/09/24/printrobot-crawlbot-review/>
- López Baz, A. A., & otros, O. B. (2013). *Diseño y manufactura de prototipo de fresadora vertical CNC*.
- maderame. (s.f.). *maderame - Tipos de tableros de madera*. Obtenido de <https://maderame.com/clases-de-tableros/>.
- Marín, C. (27 de 6 de 2017). Fresas, el corazón del mecanizado de madera en CNC y router. Obtenido de <https://revista-mm.com/blog/herramientas/fresas-corazon-mecanizado-madera-cnc-router/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas", & Fundación Andina para el Desarrollo Tecnológico y Social. (2007). *Cadena productiva forestal -tableros aglomerados y contrachapados- muebles y productos de madera*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MINAGRICULTURA.
- Montealegre, C. (2009). *Economía de la Madera: Caso Colombia*. Obtenido de <http://www.almamater.edu.co/Memorias.PDF/2.0.Economia.de.la.MaderaCarlos.Mon>

tealegreCoruniversitaria.pdf

Overby, A. (2010). *CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation*.

Mc Graw Hill.

Planeación, C. D. (2004). *Cadenas productivas: estructura, comercio internacional y protección*. Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de

<https://books.google.com.co/books?id=5z2WtgAACAAJ>

Planeación, D. N. (2007). Documento sectorial: Cadena forestal, madera y muebles. *Agenda interna para la productividad y la competitividad*, 52.

Revista Dinero. (23 de 11 de 2017). La informalidad y las importaciones ponen en jaque al sector de muebles. *Revista Dinero*. Obtenido de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/principales-retos-del-sector-de-muebles-en-colombia/252650>

Sánchez, C. A. (2012). *Diseño y Construcción de una máquina de corte para láminas de madera*.

Shaper Tools. (2015). Shaper Origin. Obtenido de <https://www.shapertools.com/>

Smith, B., Teagle, H., & Beckett, T. (2017). Maslow. Obtenido de <https://www.maslowcnc.com/store/>

Springa team. (2018). The first autonomous robotic tool for Makers. Obtenido de <http://www.goliathcnc.com/>

Ulrich. (2013). *Diseño Y Desarrollo De Productos 5ta Edicion* (5 ed.). Mcgraw Hill.

Zhou, Z., Xie, S., & Chen, D. (2012). *Fundamentals of digital manufacturing science*. London:

Springer London. doi:10.1007/978-0-85729-564-4