



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA.**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ROUTER CNC PORTÁTIL PARA EL MAQUINADO DE SUPERFICIES DE
MADERA, MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE LIBRE PARA EL
LABORATORIO DE MECATRÓNICA”**

AUTOR: CORRALES DELGADO, JAIME EDUARDO

DIRECTOR: ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO MSC.

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Certificado que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROUTER CNC PORTÁTIL PARA EL MAQUINADO DE SUPERFICIES DE MADERA, MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE LIBRE PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA”*** fue realizado por el señor *Corrales Delgado, Jaime Eduardo* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerza Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de enero del 2018

Firma:

ING. GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO MSC.

C.C: 180367880-0



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Corrales Delgado, Jaime Eduardo, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e Implementación de un Prototipo de Router CNC Portátil para el maquinado de superficies de madera, mediante el uso de Software Libre para el Laboratorio de Mecatrónica** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 14 de enero del 2018

Firma:

Corrales Delgado Jaime Eduardo

C.C.: 1725277642



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Corrales Delgado, Jaime Eduardo**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño e Implementación de un Prototipo de Router CNC Portátil para el maquinado de superficies de madera, mediante el uso de Software Libre para el laboratorio de Mecatrónica**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 14 de enero del 2018

Firma:

Corrales Delgado Jaime Eduardo

C.C.: 172527764-2

DEDICATORIA.

Dedico este proyecto de titulación a mi Madre Santísima del Quinche quién me ha ayudado a sobreponerme en momentos difíciles que en mi vida he tenido que pasar y aprender, motivos fundamentales que llegaron a forjar y cumplir en memoria de mi padre y abuelo Luis Humberto el sueño de ser un profesional.

Jaime Eduardo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar por cada aliento de vida que me concedes en cada amanecer.

A ustedes padres queridos Jaime Augusto y Blanca Piedad por ser un eje fundamental en mi largo caminar hoy quiero recompensar su esfuerzo que han realizado por su hijo.

A ti “mocosa” quien has sido mi mayor motor en mi vida y por permitirme no dejarme vencer en varias circunstancias.

A mi gran amiga y compañera de vida estudiantil quien en memoria de mi Abuelo Luis Humberto Delgado me supo recibir, escuchar y brindar consejos, compartir amanecidas innecesarias para su edad lo llevaré presente a ti abuelita María Aurora.

A mis abuelos paternos dedico este proyecto de titulación con el único fin de agradecer por cada insistencia de aprovechar el tiempo y con ello obtener mayor unión familiar y verdadera.

A Jennifer Núñez gracias por tu apoyo incondicional ya que siempre te he considerado como una guía fundamental en mi vida desde el principio de esta larga travesía, a su valiosa familia lo consideraré muy presente por cada felicitación y estima.

A todos mis familiares, amigos quien con una palabra de aliento y bendiciones han hecho posible culminar esta hermosa etapa de mi vida los aprecio mucho y de corazón siempre estarán presentes en mí gracias a todos.

Jaime Eduardo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento Del Problema.....	2
1.2 Antecedentes	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Alcance Del Proyecto.....	7
1.6 Estructura Del Documento.	8

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 Router Manual.....	10
2.1.1 Breve Reseña sobre los Router Manual.	12
2.2 Tipos De Router Manual.	17
2.3 Herramientas De Corte Y Perfiles	18
2.4 Tallado en madera	20

2.4.1	Características De la Madera.....	20
2.4.2	Clasificación de la madera de acuerdo a la dureza.	20
2.4.3	Proceso de Ruteado.	21
2.5	Parámetros de corte de fresado	22
2.6	Router CNC	25
2.7.1	Por su estructura.....	26
2.7.2	Por el número de ejes.....	28
2.7.3	Por la robustez de la maquinaria.	29
2.8	Control C.N.C.	30
2.8.1	Ventajas de un sistema CNC.	30
2.8.2	Desventajas de un sistema CNC.	31
2.9	Principio de funcionamiento de un Router CNC convencional.	31
2.10	Programación C.N.C.....	33
2.11	Robótica móvil.	34
2.12	Robot Omnidireccional.....	35
2.13	Ruedas Omnidireccionales	36
2.14	Configuración omnidireccional	39
2.15	Características sistema omnidireccional.....	41
2.16	Elementos mecánicos y actuadores	42
2.17	Elementos electrónicos.....	46
2.18	Software open source.	49

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

3.	Diseño mecatrónico.	51
3.1	Metodología De Diseño.....	51
3.1.1	Identificación de necesidades	51
3.1.2	Posibles soluciones a requerimientos del cliente.....	54
3.1.3	Interpretación de requerimientos y alternativas mediante Matriz QFD.	55
3.1.4	Etapas funcionales del sistema.....	58
3.2	Diseño mecánico	60
3.2.1	Routers C.N.C.....	60

3.2.2	Ponderación y Análisis del mejor diseño.....	63
3.2.3	Criterios De Selección Para El Diseño Final.....	64
3.3	Conclusión De Diseño Del Prototipo.....	65
3.4	Sistema De Locomoción Omnidireccional.....	66
3.5	Selección De Llantas Omnidireccionales.....	67
3.6	Selección Del tipo de configuración plataforma omnidireccional	68
3.7	Análisis C.A.D de subsistemas	70
3.8	Diseño Mecánico Del Prototipo.....	71
3.8.1	Selección De Actuadores Mecánicos.....	83
3.8.2	Software de diseño y análisis C.A.D	86
3.9	Diseño Electrónico y de control	94
3.9.1	Driver A4988.....	95
3.9.2	Tarjeta de Control Principal – Arduino	95
3.10	Módulo CNC	96
3.11	Software para cargar el firmware GRBL.....	97
3.12	Firmware GRBL.....	97

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DEL PROTOTIPO

4.1	SISTEMA MECÁNICO.....	99
4.2	Diseño final - Software CAD.....	100
4.3	Corte de piezas.....	101
4.4	Ensamble de Componentes	102
4.5	Ensamble del prototipo final.....	104
4.5	SISTEMA ELECTRÓNICO	105
4.5.1	Identificación de bobinas de los actuadores	105
4.5.2	Acondicionamiento del controlador A4988	106
4.6	CONTROL DEL SISTEMA.....	107
4.6.1	Modelado de la planta.....	107
4.6.2	Proceso de Carga del firmware GRBL a la placa Arduino	116
4.6.3	Software de vectorización de imágenes INKSCAPE	117
4.6.4	Procedimiento para obtener el código G de una imagen.....	118

4.6.5	Script de control bCNC.	121
4.6.6	Versatilidad y nuevas prestaciones.....	122

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1	Fórmulas para hallar los límites estadísticos y rangos	129
5.2	Posicionamiento al corte.....	135
5.3	Configuración de medida.....	136
5.4	Perspectiva y portabilidad.	137
5.5	Cortes de diseños personalizado.....	138
5.6	Diseños vectorizados con escalamiento.....	140
5.7	Costo del proyecto.....	142

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	CONCLUSIONES	148
6.2	RECOMENDACIONES.....	149
6.3	FUTUROS TRABAJOS	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Propiedades mecánicas de la madera</i>	21
Tabla 2. <i>Locomoción Omnidireccional.</i>	41
Tabla 3. <i>Identificación de necesidades</i>	52
Tabla 4. <i>Factores (QUE'S) y (COMO'S) matriz QFD</i>	54
Tabla 5. <i>Porcentaje de Importancia necesidades referidas por el cliente.</i>	56
Tabla 6. <i>Alternativas referenciales para la posible solución del prototipo</i>	57
Tabla 7. <i>Etapas funcionales de diseño</i>	59
Tabla 8. <i>Análisis de prestaciones de diseño semejante y existente del mercado</i>	61
Tabla 9. <i>Ponderación y Análisis de los diseños Router CNC portable existentes</i>	63
Tabla 10. <i>Ponderación y Análisis selección de llantas Omnidireccionales</i>	67
Tabla 11. <i>Ponderación y Análisis selección del tipo de configuración omnidireccional.</i>	68
Tabla 12. <i>Variables finales previas al diseño CAD prototipo Router CNC</i>	69
Tabla 13. <i>- Análisis C.A.D subsistemas</i>	70
Tabla 14. <i>Velocidad de corte y Avance</i>	72
Tabla 15. <i>Avance / diente</i>	74
Tabla 16. <i>Profundidades de fresado</i>	75
Tabla 17. <i>Profundidad de fresado de acuerdo al material</i>	76
Tabla 18. <i>Parámetros de corte del fresado</i>	77
Tabla 19. <i>Resultantes plataforma robótica</i>	80
Tabla 20. <i>Servo motores / Motor PAP</i>	83
Tabla 21. <i>Ponderación de selección</i>	84
Tabla 22. <i>Aspectos Técnicos Motor seleccionado</i>	85
Tabla 23. <i>Propiedades de la base</i>	88
Tabla 24. <i>Análisis CAD – BRIDAS DE SUJECCIÓN</i>	89
Tabla 25. <i>Propiedades de la base Soporte.</i>	90
Tabla 26 <i>Base posterior soporte eje z</i>	91
Tabla 27 <i>Base posterior soporte 2 eje Z</i>	93
Tabla 28. <i>Pruebas de corte horizontal</i>	130
Tabla 29. <i>Valores de corte eje horizontal</i>	131
Tabla 30. <i>Pruebas de corte eje vertical</i>	133
Tabla 31. <i>Valores calculados eje vertical</i>	134
Tabla 32. <i>Tiempo de corte a figuras</i>	139
Tabla 33. <i>Resultados de pruebas</i>	139
Tabla 34. <i>Costos del proyecto</i>	143
Tabla 35. <i>Análisis estadístico de T critico con 0.05 de significancia</i>	145

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ruteadora manual eléctrica, 1.6 HP	11
Figura 2. Router Manual	12
Figura 3. Fresa accionada por pedal	13
Figura 4. Router Eléctrico Kelley	14
Figura 5. Wonder tool 1 ½ HP y 8 ½ libras	15
Figura 6. Onruster acople con la turbina.....	16
Figura 7. Ruteadora o Tupi comercial.....	17
Figura 8. Tipos de Router	18
Figura 9. Herramientas de corte y perfiles.	19
Figura 10. Parámetros de corte – Número de dientes.	22
Figura 11. Parámetros de corte – Profundidad de corte.	23
Figura 12. Parámetros de corte – Velocidad de corte.....	25
Figura 13. Diseño CAD de un Router CNC Industrial.	26
Figura 14. Router CNC – Brazo en Voladizo	27
Figura 15. Router CNC – Mesa Fija y Puente Móvil.	28
Figura 16. Cabezal de un Router CNC 5 ejes.....	29
Figura 17. Diagrama de bloques de una máquina CNC convencional	32
Figura 18. Flujo de procesamiento del código G	32
Figura 19. Primeros prototipos Robótica Móvil	34
Figura 20. Prototipos Robóticos Omnidireccionales	35
Figura 21. Ruedas Omnidireccionales / Mecanum	36
Figura 22. Suma de componentes / Rueda Mecanum.....	37
Figura 23. Rueda Omnidireccional configuración simple	38
Figura 24. Rueda Omnidireccional configuración simple	39
Figura 25. Plataforma Omnidireccional 3 ruedas.....	40
Figura 26. Plataforma Omnidireccional 4 ruedas.....	41
Figura 27. Tornillo sin Fin	42
Figura 28. Guía y Rodamientos Lineal	43
Figura 29. Motor Paso a Paso	44
Figura 30. Motor Paso a Paso – Unipolar Diagrama de Conexión	45
Figura 31. Motor Paso a Paso – Bipolar Diagrama de Conexión.....	45
Figura 32. Servo Motor	46
Figura 33. Driver A4988.....	47
Figura 34. Placa Arduino Uno.....	48
Figura 35. Módulo CNC	48
Figura 36. Módulo Bluetooth.....	49
Figura 37. Firmware GRBL.....	50
Figura 38. Diseños Comerciales ya existentes en el mercado	63
Figura 39. Sistema de Locomoción Omnidireccional	66
Figura 40. Diseño de una plataforma móvil Software C.A.D.....	77
Figura 41. Ensamble rueda omnidireccional.....	82
Figura 42. Motor Paso a Paso Con caja planetaria	85
Figura 43. Diseño CAD- Router CNC Portable.....	87

Figura 44. Sistema Eléctrico / Electrónico Prototipo	94
Figura 45. Driver A4988 Conexión De un Motor PaP	95
Figura 46. Datos técnicos Arduino	96
Figura 47. Modulo CNC shield y driver A4988	96
Figura 48. Software y firmware de control	97
Figura 49 Principio de funcionamiento del Prototipo Router CNC	99
Figura 50. Diagrama de Procesos de construcción.	100
Figura 51. Análisis Software CAD – Diseño del Prototipo Final.....	101
Figura 52. Corte de placas diseñadas en Acrílico mediante (CL)	101
Figura 53. Corte de placas diseñadas en Aluminio mediante (CO)	102
Figura 54. Ensamble de la plataforma móvil.....	102
Figura 55. Ensamble del eje de corte.	103
Figura 56 Rugosidad de la rueda.....	103
Figura 57. Ensamble final del prototipo	104
Figura 58. Conexión de fases motor a pasos	105
Figura 59. Montaje de los motores PaP al driver controlador.	105
Figura 60. Calibración de la intensidad.....	106
Figura 61.- Parámetros geométricos de un robot omnidireccional.....	107
Figura 62. Diagrama de bloques del sistema de control de posición.....	108
Figura 63.- Marco del robot a modelar.....	109
Figura 64.- Algoritmo de Bresenham- Comportamiento	112
Figura 65.- Vectorización de la imagen real a Bit (Píxeles).....	113
Figura 66.- Algoritmo Bresenham Solución Cartesiana.	113
Figura 67.- Algoritmo Bresenham	114
Figura 68.- Ejemplos de Desplazamiento	115
Figura 69.- Principio de Funcionamiento GRBL.....	116
Figura 70. Software Xloader Programador GRBL.....	117
Figura 71. Software Inkscape – extensión Makerbot Unicom G-code	120
Figura 72. Software inkscape– Vectorización de imagen	121
Figura 73. Software bCNC – Menú Editor.....	122
Figura 74. Software bCNC – Menú Herramientas	123
Figura 75. Software bCNC – Menú Herramientas	124
Figura 76. Software bCNC – Menú Control	125
Figura 77. Parámetros configurables GRBL	126
Figura 78. Prueba de desbaste Eje X	130
Figura 79. Diagramas de control Eje X	132
Figura 80. Prueba de desbaste Eje Y	133
Figura 81. Diagramas de control Eje Y	134
Figura 82. Parámetros de configuración inicial	136
Figura 83.- Pruebas de calibración Eje X.....	136
Figura 84- Perspectiva de áreas.....	137
Figura 85 Corte de diseños con vértices rectos y líneas curvas	138
Figura 86 . Desplazamientos lineales	141
Figura 87.- Resultados de corte a escala	142
Figura 88. Grafica de la normal en t 2.3533.....	145

RESUMEN

El trabajo de titulación consiste en el diseño, análisis, construcción de un prototipo robótico móvil con un sistema de locomoción omnidireccional acoplado un eje de corte donde permite el intercambio de la herramienta eléctrica giratoria denominado drill, la configuración utilizada en el prototipo es de cuatro ruedas omnidireccionales dobles con un diámetro de 127 mm y una capacidad de carga individual de 20 kg a 45° de separación, este prototipo puede realizar cortes de diseños personalizados mediante la utilización de software de control Open Source, la plataforma móvil permite el desplazamiento sin límite de área de corte sobre superficies planas y en materiales blandos específicamente en madera, mientras que el eje de desbaste remueve material por acción de giro de una herramienta de corte. Se presenta los cálculos necesarios para vencer la inercia de la plataforma móvil y cálculos de fresado de acuerdo al diámetro de la herramienta. Bajo la metodología de diseño concurrentes se identifica principio de funcionamiento, grados de libertad, limitaciones en el área de corte, eficiencia por el trabajo repetitivo, tipo de control y desarrollo de código G características comunes en Router convencionales, factores imprescindibles de innovación donde la portabilidad de traslado y control bajo la normativa código abierto permiten el desarrollo de un Router CNC Portable para el desbaste de figuras personalizados. La interacción del firmware de control GRBL, el script de mando bCNC desarrollando en Python y los drivers a4988 permiten la activación de los actuadores mecánicos.

PALABRAS CLAVE:

- **ROUTER CNC**
- **ROBÓTICA**
- **SISTEMAS HOLONÓMICOS**
- **SOFTWARE EN CÓDIGO ABIERTO**

ABSTRACT

The project relates the design, analysis, construction of a mobile robotic prototype with an omnidirectional locomotion system coupled with a cutting axis where it allows the exchange of the rotary electric tool called drill, the configuration used in the prototype is of four double omnidirectional wheels with a diameter of 127 mm and an individual load capacity of 20 kg at 45 ° of separation, this prototype can make cuts of customized designs by using Open Source control software, the mobile platform allows the displacement without limit of area of cutting on flat surfaces and in soft materials specifically in wood, while the roughing shaft removes material by the action of turning a cutting tool. This writing consists of calculations necessary to overcome the inertia of the mobile platform and milling calculations according to the diameter of the tool. Under the concurrent design methodology is identified operating principle, degrees of freedom, limitations in the area of court, efficiency by repetitive work, type of control and development of G code common features in conventional Router, essential factors of innovation where portability of transfer and control under the norm open code allow the development of a Portable CNC Router for the roughing of personalized figures. The interaction of the GRBL control firmware, the bCNC command script developed in Python and the a4988 drivers allow the activation of the mechanical actuators.

KEY WORDS:

- **CNC ROUTER**
- **ROBOTICS**
- **HOLONOMIC SYSTEM.**
- **OPEN SOURCE SOFTWARE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este capítulo sustentará especificaciones técnicas de las máquinas CNC, principio de funcionamiento, configuración y desarrollo de código máquina o código G. Se establece como principal objetivo referir el funcionamiento de un router CNC donde se identificará prestaciones a nivel de producción, adaptabilidad de procesos, ventajas, semejanzas entre una máquina CNC de alto costo y marca comercial, en cuanto al software de control se hará énfasis la utilización de software adaptable bajo la normativa de Código abierto. El control de máquinas CNC o Router CNC de acuerdo al tipo de estructura, números de ejes y demás características delimitará aspectos como dimensionamientos, áreas de trabajo, ciclos de producción, mantenimiento predictivo, tipo de material que pueden trabajar durante un proceso de detalle o de corte, cualidades inherentes que son considerados en la mayor cantidad de prototipos CNC.

Como última particularidad se detalla el acondicionamiento de software en código abierto para el manejo y desempeño de nuevos prototipos CNC que en la actualidad se desarrollan con gran facilidad, además para el diseño y desarrollo del prototipo router CNC portable que se pretende realizar se añadirá una breve reseña sobre los principios de funcionamiento de robots móviles de acuerdo a la configuración de maniobrabilidad, tipos de locomoción adaptable al diseño propuesto, es decir se hará un análisis de las necesidades del prototipo a desarrollar mediante la implementación de una metodología de investigación para el desarrollo concurrente de productos con ello se establece

normativas y cumplimientos de acuerdo a una posible solución para el desarrollo del prototipo propuesto.

1.1 Planteamiento Del Problema

Los Router CNC son máquinas industriales capaces de realizar trabajos de corte a precisión, pertenecen a una categoría de las máquinas con control numérico computarizado C.N.C, referidas así por poseer una operatividad y flexibilidad más sencilla y óptima para el área de manufactura asistida, especialmente para realizar cortes complejos en materiales específicos. Estas máquinas de carácter industrial cuentan con una máquina herramienta denominada como rebajadora, caladora, o Router que de forma particular utilizan una herramienta de corte similar a una fresa permitiendo así obtener el desbaste progresivo en el material. En la actualidad existen más de 100 modelos diferentes de Router de los cuales difieren en sus elementos de sujeción, números de ejes, dimensiones de corte y tamaño de la base, la mayoría de los modelos de Router C.N.C permiten que la máquina herramienta es decir fresa de corte trabaje a una cierta área de trabajo y bajo el principio de ejes coordinados para posición y posterior corte, algunos diseños son mejorados e incorporados sujetadores universales para desmontar e intercambiar la máquina-herramienta de corte de forma rápida, elementos externos como un sistema de aspirado para retirar la viruta luego del posterior corte o desbaste, interfaz de control con mando a distancia con el único fin de precautelar al operario entre otros beneficios, bajo los estándares de producción a nivel industrial las máquinas de corte de tipo Router C.N.C poseen todo lo necesario para maximizar el nivel de producción y mejorar su eficiencia en corte que a la hora de manufactura asistida por

computador factores necesarios para la viabilidad de adquisición de estas máquinas, a diferencia de la producción artesanal con un margen de producción menor a la industrial e considera como desventaja y de gran notoriedad el precio elevado para la adquisición, por tal motivo la propuesta del diseño de router C.N.C portable debe cumplir parámetros de corte y tallado de cualquier diseño sin límite de área específica y mejorar la portabilidad a proporción del tipo de máquinas convencionales, factores primordiales que permitirán proponer y desarrollar un prototipo de Router CNC portable cuyo factor de impacto es el uso de nuevas tecnologías de la robótica móvil permitiendo así mejorar la portabilidad en la capacidad de traslado y que realice cortes sin ningún tipo de restricción en medida que de forma fácil, intuitiva y autónoma es decir un operario pueda observar a una plataforma robótica móvil realice el corte mediante el cumplimiento de trayectorias.

El diseño del prototipo se lo realizará en un software CAD posterior al análisis y simulación se seleccionará el proceso de corte y ensamblaje mecánico capaz de cumplir normas de seguridad para el operario, sea accesible en cuanto al precio de implementación, cumpla la función de realizar el corte a detalle por cumplimiento de trayectorias mediante la utilización de un firmware de control adaptable al software de mando permitiendo establecer una conexión directa a los actuadores mecánicos que permitan la movilidad mediante los drivers o tarjetas de control y configurado bajo la normativa de software libre, cave recalcar que se propone realizar un diseño innovador del prototipo mediante la utilización de una plataforma robótica móvil.

1.2 Antecedentes

La primera investigación y construcción de una máquina con un controlador y mando numérico C.N.C. fue desarrollado de forma experimental en el Instituto Tecnológico de Massachusetts M.I.T a principios de los años cincuenta (50). En tal virtud el control numérico ha permitido a la industria desarrollar nuevas máquinas con altas prestaciones como flexibilidad en el mecanizado, aumento de productividad, eliminación total de la fatiga del operario, reducción del tiempo de verificación entre otras. Cabe recalcar que estas máquinas necesitan un controlador que facilite realizar cortes, grabado, entalles de mecanizados en distintos materiales mediante la combinación de movimientos simples o complejos, diferencia muy notable para las maquinas-herramientas convencionales como tornos, fresadoras entre otras. (Rioja Gonzalo, 2008)

En el Ecuador ya existe proyectos industriales que se ha incorporado controladores en código abierto que se adapten a un C.N.C convencional cumpliendo con el mando y control de los ejes de corte obteniendo así máquinas con prestaciones similares a una máquina con software privativo o comercial con el objetivo de mejorar su producción en serie y repetitivos, sin embargo, el uso de las mismas sigue en aumento pese a las limitaciones en áreas de trabajo y alta inversión.

Se puede denotar que el nivel de interés del campo técnico en automatizar maquinas C.N.C. toma mayor fuerza y surge la necesidad de incluir una etapa de diseño y construcción de máquinas similares que posibilite realizar trabajos específicos de mayor espacio para la manufactura y corte en varios materiales, ahora el corte de un Router CNC portable en nuestro País beneficia al artesano y pequeña industria que utilizan

acciones no tecnificadas, es por ello que los Routers desarrollados de forma convencional y controlados por computador ingresan como una solución más accesible para realizar tallados, o cortes complejos mediante la optimización de la materia prima y con un coste de implementación o compra relativamente bajo a comparación de las máquinas que tienen una referencia comercial.

1.3 Justificación

Hoy en día el costo para adquirir una máquina C.N.C de acuerdo a una marca comercial es elevado por ello a la hora de adquirirlas se opta por el desarrollo de un prototipo no comerciales. Por otro lado, las mencionadas máquinas ocupan áreas de trabajo relativamente grandes y son estáticas por el peso considerable de la máquina, por tal motivo el desarrollo e implementación de máquinas no comerciales con un controlador numérico computarizado C.N.C adaptado a la normativa de código abierto tienden a imitar y brindar prestaciones necesarias y rápidas a la hora de realizar un trabajo a detalle con grandes beneficios para el sector artesanal.

En tal virtud la creación de Routers CNC portable es un tema innovador que puede incursionar en la actualidad con mucha aceptación debido a la versatilidad, capacidad operativa y costo de implementación en manera específica el desarrollo de estos prototipos toman como referencia a diseños con configuración cartesiana con la per la mayoría aún siguen siendo prototipos estáticos. En el Ecuador el desarrollo de estos nuevos prototipos convencionales ya se puede encontrar en varios sectores industriales por su alto desempeño de trabajo, capacidad operativa, repetitividad y bajo costo de

implementación razones primordiales que se propone a mejorar mediante la reducción del peso y su capacidad de traslado.

El desarrollo del prototipo router con controlador numérico computarizado deberá ser portable, accesible en cuanto a costo de fabricación, disponga de elementos mecánicos que permita la sujeción de la herramienta de corte con el fin de realizar cortes a detalle mediante el seguimiento de trayectorias de un diseño personalizado sin considerar el límite de área de trabajo, por lo tanto se pretende diseñar un prototipo innovador para el beneficio del mercado en la industria artesanal o industrial.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- ✓ Diseñar e implementar un prototipo de Router CNC portable a fin de mecanizar piezas de madera en 2D, mediante el uso de software libre para el laboratorio de Mecatrónica.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Diseñar un prototipo Router C.N.C cumpliendo las especificaciones de una máquina que permita el desbaste de diseños vectorizados con la especificación de portabilidad.
- ✓ Acondicionar el sistema eléctrico/electrónico del prototipo para el óptimo funcionamiento de los actuadores de acuerdo a la configuración de un software de control.

- ✓ Implementar un software de control para el manejo individual y autónomo del prototipo mediante una interfaz u ordenador.
- ✓ Realizar pruebas de corte y verificación en dimensiones para evaluar el desempeño del prototipo.

1.5 Alcance Del Proyecto.

Con el presente proyecto de investigación se propone diseñar y crear un nuevo aporte a la actividad de manufactura artesanal o en corte a detalle mediante el diseño de un Router CNC portable capaz de ser trasladado, cumpliendo requerimientos de un prototipo compacto con elementos eléctricos/electrónicos, mecánicos que se ajusten al óptimo funcionamiento del prototipo, el interés principal del diseño es convertir una máquina estática a un prototipo portable y sin límite de área esto es posible mediante la combinación de la robótica móvil y principio de funcionamiento de un robot cartesiano es decir necesita el código máquina para realizar cortes a detalle por lo cual se pretende investigar un software de conversión digital que se ajuste a los requerimientos del prototipo a desarrollar.

El prototipo a desarrollar en su diseño se pretende realizar la combinación de una plataforma robótica móvil con cierta configuración, donde se realizará un análisis C.A.D del tipo de estructura, elementos de sujeción de la herramienta y elementos propios del prototipo con el objetivo de permitir un desplazamiento de acuerdo a un punto de referencia en el plano X e Y, por tal razón se considera a continuación un posible funcionamiento que podría cumplir el prototipo.

- ✓ El proceso del trabajo inicia con la facilidad de traslado sobre una superficie plana con la finalidad de realizar cortes de diseño personalizados sin límite de área, obviamente la máquina cuenta con la supervisión de un operario y un software con un paro de emergencia cualidades inherentes del prototipo, además la flexibilidad en adaptar o desmontar la máquina herramienta de corte.
- ✓ Mediante la utilización de un software de control bajo los lineamientos de código abierto podrá mover de forma independiente cada eje de manera individual.
- ✓ El operario deberá vectorizar una imagen de cualquier diseño a cualquier medida mediante la utilización de un software de conversión digital con el único fin de obtener el código máquina para el posterior proceso de corte, el sistema seguirá un conjunto de trayectorias mediante la sincronización de los actuadores.
- ✓ El software de control podrá realizar la edición y verificación del código G obtenido mediante el software de conversión digital, si todo está de forma correcta el software de mando mediante el botón de activación inicia el desbaste de material por una trayectoria definida.

1.6 Estructura Del Documento.

El presente informe contará con una estructura de cinco capítulos de los cuales en la primera sección se da a conocer al lector los antecedentes, objetivos, alcance e importancia del proyecto a desarrollar, en segunda instancia se detalla a manera general sobre la historia, utilización, diseños específicos de los Router CNC en el mercado como un aparatado necesario a la aplicabilidad del prototipo se menciona la utilización de robótica móvil como solución al límite de área de corte, por consiguiente en el tercer

capítulo se presenta el diseño Mecatrónico del prototipo de Router CNC portable donde se realizará la sustentación de los requerimientos mediante la ponderación de ideas bajo parámetros de una matriz QFD, esta matriz permite identificar factores necesarios para realizar el desarrollo e investigación del prototipo bajo los lineamientos del diseño concurrente de productos de Ulrich, una vez verificado los resultados obtenidos se analiza la viabilidad del proyecto a desarrollar mediante la implementación de tiempos de y cumplimiento de objetivos de acuerdo a las tres áreas del diseño Mecatrónico, en el capítulo número cuatro se realiza la configuración del software de control donde se modifica el firmware GRBL necesario para el seguimiento de trayectorias luego de la posterior conversión digital del diseño seleccionado se hace un breve análisis del algoritmo de control para obtener la secuencia sincronizada de pasos necesarios para la activación de los actuadores mecánicos, configuración de los drivers de control entre otros aspectos por última instancia en el capítulo cinco se realiza pruebas funcionamiento y optimización del prototipo desarrollado en un software CAD con respecto al prototipo final ensamblado, se refiere a pruebas de optimización como distribución de elementos de control, fuente poder, actuadores, peso final del prototipo, diseño ergonómico apto para la portabilidad en el traslado, estabilidad y posición de acuerdo a un plano cartesiano X e Y, pruebas de funcionamiento el prototipo Router C.N.C portable debe cumplir con cortes longitudinales por cada eje móvil los cuales serán verificados de acuerdo a una medida referencial y como segunda prueba se realizará el corte de diseños vectorizados por el software de diseño en varias áreas de corte cumpliendo así con la efectividad del prototipo.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se presentará conceptos generales relacionados con el tema principal del proyecto de investigación, donde se analizará temas como la definición de Router manual , tipos y distintas configuraciones que dispone , se hará énfasis sobre el controlador CNC bajo la normativa de código abierto principales utilidades, diferencias en una producción a nivel industrial, diferencias y semejanzas entre una máquina CNC convencional con desarrollo no comercial y un Router CNC con la configuración cartesiana, se identificará limitaciones de las distintas estructuras existentes en el mercado referido como Router CNC, además se considera oportuno identificar conceptos sobre la robótica móvil, la utilidad para la solución de procesos que necesitan ampliar la zona de trabajo sobre una superficie, delimitar aspectos como tipo de locomoción existentes, configuraciones de las ruedas, análisis de movilidad de acuerdo que se ajuste con el diseño a desarrollar.

2.1 Router Manual

Se puede referir como una herramienta eléctrica capaz de realizar trabajos personalizados especialmente tallados, artesanías en materiales blandos como madera o aluminio, el principio de funcionamiento de esta herramienta manual es el desbaste por medio del acoplamiento de una herramienta llamada fresa, en cuanto a la utilización exige un control, supervisión y experticia de un operario para conseguir cortes precisos de

acuerdo al trabajo a realizar, esta herramienta manual conocidas como rebajadoras, ruteadoras o Tupi como se aprecia en la Figura 1 es una herramienta manual muy útil para procesos de cortes en relieves, perforaciones sobre una área determinada y en un material blando la utilización de esta herramienta se lo realiza como una actividad de corte a manera artesanal o profesional. (Grainger, 2017)



Figura 1. Ruteadora manual eléctrica, 1.6 HP
Fuente: (Grainger, 2017)

Esta herramienta de corte manual destaca como una herramienta de fácil uso, pero a la vez se considera ciertas desventajas como:

- ✓ Errores de precisión en el corte o tallado.
- ✓ Se considera cierta complejidad en tallado y corte en materiales de grandes dimensiones.
- ✓ Accidentes por mal manejo de la herramienta o inexperiencia.
- ✓ Volumen de producción bajo.
- ✓ Tiempo empleado por el operario.

2.1.1 Breve Reseña sobre los Router Manual.

✓ **Orden Etimológico**

Esta herramienta de corte no se puede acreditar en específico a un inventor sino más bien se debe referir un análisis de su origen etimológico antes de que exista los router eléctricos, Como se puede ver en la Figura 2 se puede identificar un prototipo que solía ser utilizado a mano y su uso era estrictamente para realizar patrones de cortes sencillos con el objetivo de brindar acabados en escaleras de madera, hoy en día se lo sigue utilizando en forma esporádica en trabajos de carpintería o pertenecen a una colección de máquinas herramientas antiguas. (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)



Figura 2. Router Manual

Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

✓ **Primer diseño Router Manual**

Los primeros routers modificaron su funcionamiento mediante el movimiento giratorio obtenido por el pedaleo de un operador, es por ello que se puede referir como el primer desarrollo de la primera fresadora fabricada por Jhon Barnes en Estados Unidos en el año 1872, su impacto era muy considerable por su utilidad ya que para aquella época era imprescindible en talleres de artesanías y en áreas rurales donde la electricidad no

llegaba aun es por ello que su utilidad se extendió por casi una década. (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)



Figura 3. Fresa accionada por pedal
Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

El dispositivo referido en la Figura 3 es identificado como “*Barnes Foot Power Former*” cuya utilización era específicamente para realizar bordes decorativos en soportes, volutas o espirales y paneles de moldes irregulares y regulares de madera llegando a 7/8 de profundidad, este equipo podía alcanzar velocidades de 2000 a 2500 RPM, dependiendo de la habilidad, fuerza y resistencia del operador, una ventaja muy notable es que el sentido de rotación de la herramienta podía ser cambiado acorde al sentido de pedaleo obteniendo así acabados superficiales más rápida y precisos para la época. (Ríos, 2012)

✓ **Invencción de los Router eléctricos**

Empezó a partir en 1905 con una producción comercial masiva por la demanda de ser un equipo portátil es por ello que dos compañías llevan el liderazgo de invención de este equipo estas compañías fueron R.L Carter y Kelley Electric Machine Co.

Existe evidencia de que Kelley Electric Machine Co presento un Router portátil con un aspecto muy tosco y pesado referido en la Figura 4, pero aun así fue de gran ayuda para los procesos de corte y tallado en carpintería en aquellos tiempos.



Figura 4. Router Eléctrico Kelley
Fuente: (Ríos, 2012)

✓ Innovación y desarrollo de la época

De acuerdo a la Figura 5 muestra el prototipo herramienta maravilla o su seudónimo en inglés *Wonder Tool* desarrollado en la primera guerra mundial entre los años 1914-1918 la compañía R.L Carter introdujo al mercado de los routers eléctricos por la potencia, peso y tamaño.



Figura 5. Wonder tool 1 ½ HP y 8 ½ libras
Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

La corporación Stanley Electric y Bosch power tool se considera en este análisis etimológico por la compra a la línea de fabricación de routers WonderTool en la década de los 80, las compañías con mayor relevancia mencionadas con anterioridad fueron opacadas pese al auge de compras de estos primeros equipos llamados router eléctricos ya que en 1915 Oscar y Rudy Onsrud inventaron una fresadora para trabajar la madera que funcionada al router eléctrico mediante la utilización de una turbina de aire mejora el proceso de corte y se populariza con el nombre de “ONRUSTER”.

En la Figura 6 se puede observar el dispositivo Onruster el cual funcionaba con aire comprimido y una fresa modificada en un extremo del husillo, llegaba a 30000 rpm de giro a diferencia de una fresadora de banco convencional que trabajaba en ese entonces a 3000 rpm, este dispositivo no quemaba la madera y permitía generar ranuras y biseles de distinto tipo. Este modelo dio paso para la creación de router de base fija similares a los actuales.



Figura 6. Onruister acople con la turbina
Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

✓ **Como última variante a considerar**

El router de base fija se desarrollaba ampliamente en Estados Unidos en los años de 1949 por la compañía "E.L.U" – (*Fabricante alemán de herramientas de alta tecnología para carpintería de aquel tiempo*), introducía en el mercado los primeros Router de inmersión o de profundidad variable. Black & Decker primeros fundadores de Dewalt adquirieron para la posterior venta de esta variante de router los cuales ya incorporaban la idea de tener una velocidad variable, característica necesaria para trabajar con distintos tipos de fresa como herramienta de corte, en varias superficies de madera y con ello obtener una amplia gama de cortes.

✓ **En la actualidad.**

Como se puede observar en la Figura 7 un router comercial cumple ciertas características a la hora de adquirir esta herramienta de corte manual razón por lo cual se verifica la potencia que puede oscilar de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes los valores estándar son de 1 HP hasta 3 ¼ HP esta potencia es determinada

de acuerdo al tipo de material que realizará el maquinado y junto con ello el tiempo de operación con el que trabaje, en cuanto al tipo de router se puede seleccionar por su bancada los cuales pueden ser de inmersión o fijo y como ultima característica verificar la capacidad de apertura de la boquilla para la herramienta de corte ya que si es más grande es mejor, debido a las diferentes diámetros y longitudes.



Figura 7. Ruteadora o Tupi comercial.

Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

2.2 Tipos De Router Manual.

✓ Router de Base fija

De acuerdo a la Figura 8 a. Se puede observar el tipo de router estándar y más comercial en el mercado, poseen bases que se sujetan directamente a un motor removible, haciendo de esta una herramienta integral.

✓ Router de Inmersión

De acuerdo a la Figura 8 b. Este tipo de router se considera como una máquina herramienta de alta precisión que dispone de motores anexados a bases con resortes precargados, los resortes se localizan en forma vertical y diametralmente

opuestos al cuerpo de la máquina, facilitando así el movimiento independiente del motor sin que el operador tenga que bajar o levantar la base del router de la pieza de trabajo.



a) Router de base fija



b) Router de inmersión.

Figura 8. Tipos de Router

Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

2.3 Herramientas De Corte Y Perfiles

Denominados como brocas o fresas, con gran variedad de perfiles, consideradas como las herramientas más utilizadas a la hora de realizar un corte o tallado con un router manual de acuerdo al tipo de fresas con mayor utilidad en estas herramientas manuales son las fresas de perfil recto, rebajado, para recorte y chaflán existe nuevos diseños de varios fabricantes con mejor solución en el acoplamiento a la boquilla del router con la finalidad de efectuar un cambio de herramienta más fácil y en menos tiempo. (FPInnovation, 2016)

En la Figura 9 se puede observar los tipos de perfiles de las fresas o cortadores con mayor utilidad en los router para lo cual se realizará un breve detalle de la utilización de cada perfil a la hora de realizar un entalle.

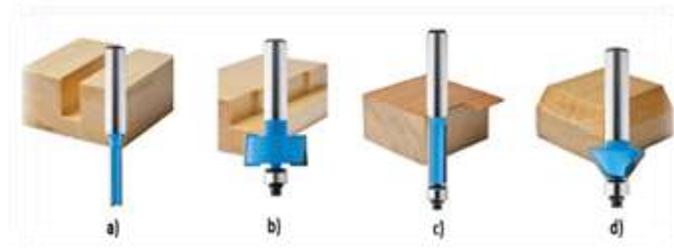


Figura 9. Herramientas de corte y perfiles.
Fuente: (Herramientas, Introducción al Router o Tupi, 2017)

✓ **Perfil recto**

Las fresas referidas a este perfil realizan cortes rectos de profundidad en forma de ranura circular o rectangular, por lo general se encuentra en distintos diámetros y longitudes. Ver figura 9 a.

✓ **Perfil rebajado para ensamble**

Guiada por un rodamiento de bolas piloto en el extremo, esta fresa sirve para realizar entalles de rebaja a cierta profundidad en los bordes de la pieza, generalmente con el fin de unirlo a una pieza con el mismo entalle. Los diámetros son variados. Ver figura 9 b.

✓ **Perfil de recorte al ras del borde**

Se genera por una fresa que recorta un borde al ras también guiada por un rodamiento de bolas piloto que tiene el mismo diámetro que la hoja de corte. Ver figura 9 c.

✓ **Perfil de chaflán**

La fresa corta un bisel de cierto ángulo, generalmente para formar piezas de decoración. Ver figura 9 d.

2.4 TALLADO EN MADERA

2.4.1 Características De la Madera

Considerado como un material celulósico muy versátil proveniente de la parte baja de la corteza de los árboles con tallo leñoso, considerado como un recurso renovable de origen vegetal, con variedades de especies donde se puede obtener madera y está formada por fibras que le proporcionan rigidez y dureza.

2.4.2 Clasificación de la madera de acuerdo a la dureza.

✓ Maderas Duras

Considerada como una madera compacta con una amplia gama de colores posee poca resina y escasos nudos. La densidad de este tipo de madera varía entre 700 a 1400 Kg/m³ sin lugar a duda más difícil de trabajar, de mayor calidad y costo económico considerable ejemplo roble, fresno, olivo etc.

✓ Maderas Blandas

Son maderas ligeras de crecimiento rápido, dúctil y fácil de trabajar y de costo accesible. Poseen una densidad de 400 a 500 Kg/m³ cuyo uso emplean trabajos en lo que no exige mayor resistividad ejemplo laurel, abeto etc.

A continuación, se realiza un refiere un breve detalle de las propiedades mecánicas en la tabla número 1 y se coloca su definición

Tabla 1.*Propiedades mecánicas de la madera.*

Resistencia a la flexión	Capacidad a resistir cargas que actúan en forma transversal a las fibras, aquí se pueden distinguir dos valores importantes. Módulo de elasticidad en flexión MOE. Módulo de ruptura en flexión MOR.
Resistencia a la compresión	Considerado como esfuerzos producidos por fuerzas ejercidas de manera longitudinal o transversal a las fibras cuyo objetivo es acortar las dimensiones de la madera.
Cizallamiento	Conocido también como esfuerzo de corte, se produce cuando se ejercen fuerzas en sentido opuestos sobre un mismo plano
Dureza	Resistencia a la penetración y desgaste, esto depende de factores como la densidad, edad, estructura o disposición de las fibras en el maquinado
Resistencia al corte	Es la capacidad de soportar fuerzas que dividen en dos a la madera, esta ruptura se produce si las fuerzas son paralelas a las fibras y superen la resistencia de corte.

Fuente: (Cristian, 2017)

2.4.3 Proceso de Ruteado.

Se considera como el proceso de desbaste de un material a maquinar, con el fin de crear piezas con ranuras, perfiles, biseles y corte a detalle de figuras y formas donde la utilización de una máquina herramienta eléctrica denominada como tupi o router

acoplada una herramienta de corte referida como fresa gira sobre un eje vertical y se desplaza paralelamente a la pieza a trabajar.

El ruteado es un proceso similar al fresado por ello se considera los parámetros básicos de corte del fresado, la única diferencia es el tipo de materiales en los que se trabaja o se realiza el detalle, es decir son materiales frágiles con un ángulo de filo de corte de 90° y el desecho de ruteado es polvo.

2.5 Parámetros de corte de fresado

✓ Numero de dientes (Z_c)

De acuerdo a lo que se muestra en la Figura 10. Se puede referir dos aspectos a considerar, el número de dientes disponibles de la fresa (Z_n) para obtener el avance de la mesa y el número de dientes que actúan realmente en el corte Z_c

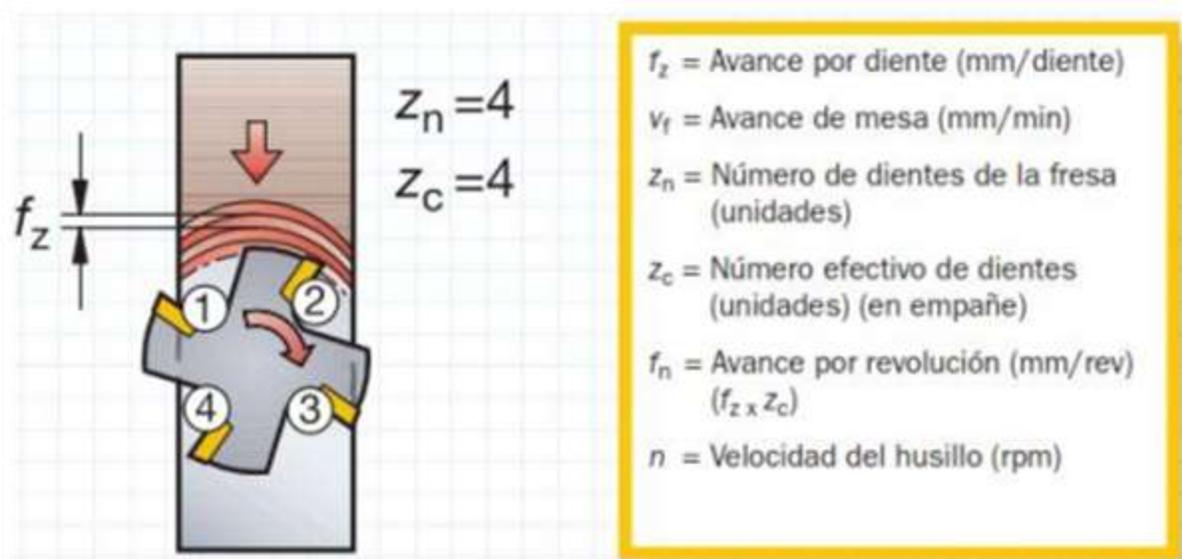


Figura 10. Parámetros de corte – Número de dientes.

Fuente: (SANDVIK, 2017)

✓ **Diámetro de la fresa (D_c)**

Considerada como la distancia máxima de corte, y la base para el cálculo de la velocidad de corte.

✓ **Profundidad de Corte radial (a_e)**

Espacio transversal en la pieza de trabajo por donde actúa el diámetro de la fresa.

✓ **Profundidad de Corte axial (a_p)**

Cantidad de material que desbasta la fresa mientras realice el corte, la distancia se considera por debajo de la superficie sin mecanizar. Como se puede observar en la figura 11.

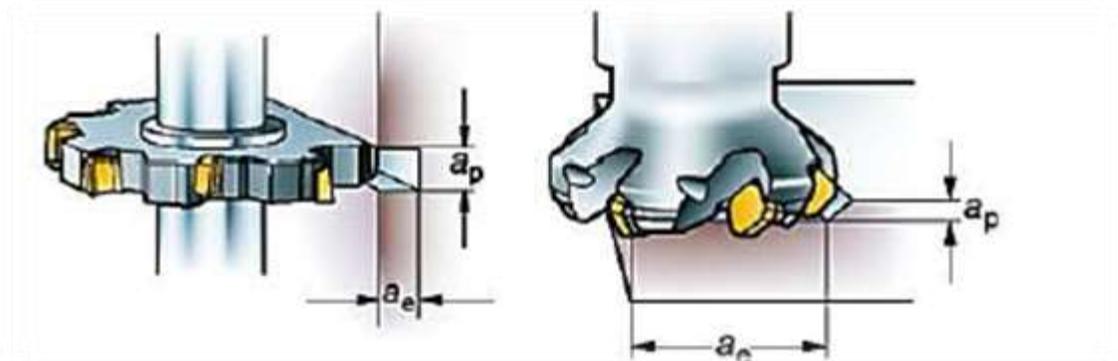


Figura 11. Parámetros de corte – Profundidad de corte.

Fuente: (SANDVIK, 2017)

✓ **Par (M_c)**

Considerado como el valor del par de fuerzas producidos por la herramienta durante el mecanizado y que la máquina de corte debe ser capaz de suministrar

✓ **Potencia neta (P_c)**

Potencia que debe proporcionar la máquina a los bordes para impulsar la acción de mecanizado. Es necesario saber la eficiencia de la máquina para seleccionar los datos de corte.

✓ **Fuerza de corte específica (K_c)**

Es un valor constante para cada material y se expresa en N/mm^2 . Se puede consultar los valores en un catálogo técnico.

✓ **Velocidad del husillo(n)**

Considerado como el número de revoluciones que realiza la herramienta de fresado sobre el husillo en cada minuto. Se indica en RPM

✓ **Velocidad de corte (V_c)**

Indica la velocidad superficial a la que la herramienta rotacional mecaniza la pieza. Su unidad de medida es en m/min relaciona la velocidad lineal a la que el filo mecaniza la pieza. Ver figura 12.

✓ **Avance por diente (f_z)**

Considerado como la cantidad de material que debe ser eliminado por cada uno de los dientes de la fresa conforme esta gira y avanza en el espacio de corte. El valor del avance por diente se calcula a partir del valor de espesor máximo de la viruta y se expresa en mm/diente.

✓ **Avance por minuto (V_f)**

Referido como avance de mesa, o de máquina se considera como la distancia que recorre la herramienta por cada minuto transcurrido.

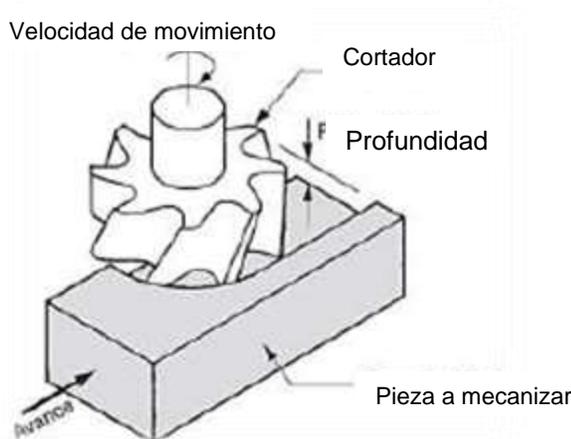


Figura 12. Parámetros de corte – Velocidad de corte.
Fuente: (SANDVIK, 2017)

2.6 Router CNC

Se puede definir como una máquina herramienta comúnmente de tres ejes de corte, automatizada con un control numérico C.N.C capaz de manufacturar piezas en diferentes materiales como madera, acrílico, cerámicos entre otros. Este tipo de máquinas es utilizado en la pequeña y mediana industria para realizar cortes, entalles de piezas artesanales con acabados precisos, un router CNC convencional está constituido por tres sistemas principales o configuración cartesiana los cuales deben trabajar en conjunto para asegurar el entalle o grabado de formas y secuencias determinando así obtener el mejor funcionamiento estos sistemas tienen actuadores mecánicos adaptados a la estructura del router controlado por una parte eléctrica y supervisada por un software de control.

De acuerdo a la Figura 13 se muestra un prototipo convencional y comercial por lo que existe una diferencia muy notable a relación de una máquina-herramienta

convencional desarrollada e implementada con la única particularidad semejante a la hora de trabajar en grandes producciones, cantidad de esfuerzos, cargas y vibraciones.



Figura 13. Diseño CAD de un Router CNC Industrial.
Fuente: (Laser, 2017)

2.7 Tipos De Router CNC.

2.7.1 POR SU ESTRUCTURA.

✓ Mesa fija y brazo en voladizo.

- a) De acuerdo a la Figura 14 dispone de una mesa de trabajo robusta y fija capaz de soportar todo el peso de la herramienta y demás accesorios, permite realizar movimientos sencillos y simples de tres ejes cartesianos como mínimo.
- b) Permite el intercambio de herramienta y piezas a trabajar de manera accesible
- c) Permite realizar una inspección visual en piezas de corte en varios tamaños especialmente en cortes de gran dimensión.
- d) Se debe considerar que existe pandeo cuando realiza el desplazamiento de los tres ejes cuando la herramienta alcanza su posición final por ello existe pérdida de precisión por mencionada caída

- e) Está determinado a utilizar cuatro actuadores tres para el desplazamiento de los tornillos y por ende del sistema mecánico y uno para el accionamiento de la herramienta
- f) Estructura abierta y ligera.



Figura 14. Router CNC – Brazo en Voladizo
Fuente: (Laser, 2017)

✓ **Mesa fija y puente móvil.**

- a) Como se puede observar en la Figura 15 este tipo de estructura se caracteriza por dos puntos de apoyo en el eje X con el fin de realizar el desplazamiento del sistema mecánico incorporado a la estructura donde se encuentra el eje Y por lo que requiere de otro actuador para el desplazamiento del cortador incorporado este tipo de router al igual que el anterior puede controlar la profundidad mediante otro actuador es decir se necesita de cuatro a cinco actuadores mecánicos por lo tanto se requiere de cuatro tarjetas controladoras o drivers para el funcionamiento óptimo. Como ciertas ventajas se puede mencionar las siguientes características de este prototipo.
- b) Es más robusta en cuanto a las partes mecánicas que conforman este tipo de Router CNC, por tal razón brindan mayor precisión al corte.

- c) La altura del puente limita el tamaño al momento de corte en piezas.
- d) Comúnmente este tipo de estructura es utilizada en plantas industriales.



Figura 15. Router CNC – Mesa Fija y Puente Móvil.
Fuente: (Laser, 2017)

2.7.2 POR EL NÚMERO DE EJES.

Como una acotación sobre el número de ejes en una máquina router con control C.N.C **se** puede referir sobre los grados de libertad o grados de acción cuya función es realizar el corte a medida de un diseño predeterminado, por tal motivo si existe mayor número de ejes o grados de libertad podrá realizar movimientos de complejidad considerable y obtener tallados más sofisticados de igual manera el coste económico.

- a) **Dos ejes:** modelo básico de Router, tiene como dirección de corte los ejes “X”, y “Y”. (Parra., 2017)
- b) **Tres ejes:** modelo común y de mayor fabricación en distintas dimensiones y áreas de trabajo con cortes de dos y tres dimensiones. (Parra., 2017)
- c) **Cuatro ejes:** Cumple con los movimientos básicos descritos en el Router de 3 ejes, pero cuenta con la posibilidad de giro en un plano el eje donde se encuentra la máquina de corte o husillo. (Parra., 2017)

- d) **Cinco ejes:** Tiene la posibilidad de rotar la pieza y/o herramienta en dos de sus ejes de acción de corte. Como referencia a la Figura 16 se puede observar un cabezal muy común en este tipo de routers.



Figura 16. Cabezal de un Router CNC 5 ejes.
Fuente: (Laser, 2017)

2.7.3 POR LA ROBUSTEZ DE LA MAQUINARIA.

a) Router C.N.C industriales.

Son máquinas facturadas bajo estándares de calidad y operatividad y pertenecen a una marca comercial este tipo de Router consideran como idóneas velocidades altas de corte, sistemas de recolectores de polvo entre otros.

b) Router C.N.C rango medio

Son máquinas que pueden pretender a ser tan precisas y exactas como las manufacturadas, sin embargo, son más ligeras y compactas es decir para áreas de trabajo o corte más reducido.

c) Router C..N.C de fácil ensamble

Considerado como las máquinas de fabricación y diseño por el propietario, su diseño es único pero similar a las máquinas manufacturadas por lo general tratan

de simular su productividad con el acople y control de elementos de fácil acceso, su operatividad depende del usuario. (SOSA, 2015)

2.8 CONTROL C.N.C.

El control numérico computarizado o sus siglas C.N.C, es un sistema de automatización de máquinas herramientas que son operados mediante comandos programados por un ordenador, este sistema ha permitido revolucionar la industria debido al abaratamiento de microprocesadores y la simplificación de la programación

Referido también como la tecnología C.N.C tiene un término de relación muy fuerte en cuanto al proceso computarizado de dibujo y programación cuyo resultado principal es obtener una aplicación en corte o detalle del mismo diseño ya mencionado , mediante la utilización de una máquina herramienta como elemento de corte que siga ordenes programadas y un controlador C.N.C como elemento de enlace con los servomotores que activan los elementos mecánicos y así ejecutar los diseños personalizados mediante la vectorización de imágenes o programación independiente. (Lozano, 2017)

2.8.1 Ventajas de un sistema CNC.

- ✓ Alta precisión, repetitividad y ausencia de variaciones introducidas por un operador.
- ✓ Desperdicios reducidos ya que elimina errores debido a la fatiga del operador.
- ✓ Inspección simplificada del diseño ya realizado.

- ✓ Bajo costo en herramientas debido a la menor necesidad de montajes y reparaciones complejas.
- ✓ Tiempo de servicio muy reducido.
- ✓ Se puede obtener operaciones complejas
- ✓ Tiene la capacidad de trabajar con software libre para obtener código máquina

2.8.2 Desventajas de un sistema CNC.

- ✓ El corte del material no lo hace de forma rápida como las máquinas convencionales
- ✓ Existe un gasto mayor si es que el controlador es de una marca comercial.
- ✓ Necesita un personal capacitado.

2.9 Principio de funcionamiento de un Router CNC convencional.

De acuerdo a la Figura 17 se puede observar que mediante el control que disponga una máquina con control C.N.C tiene la capacidad realiza movimientos mediante una orden comando desarrollado en el código , dando paso a tener movimientos de los ejes mediante la referencia de coordenadas simétricas de la máquina, el código de programación se ejecuta bajo la supervisión de un controlador mediante algoritmos de secuencia simultánea, este tipo de código cumple un formato combinado en letras y números, razón por lo cual permite la designación de parámetros que agilitan el proceso de mecanizado, establecer el sistema de medida de acuerdo al diseño realizado, utilizar funciones preparatorias previas al corte entre otras configuraciones.

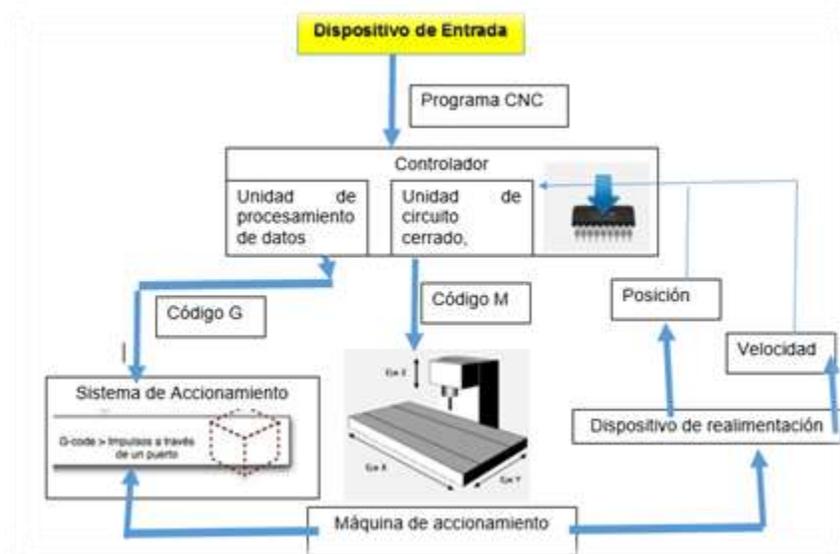


Figura 17. Diagrama de bloques de una máquina CNC convencional

Este lenguaje de programación se denomina como código G y es la lista de secuencias de instrucciones para el maquinado, las cuales deben contener toda la información requerida de la pieza o diseño a mecanizar (Jimenez, 2015), a continuación, en la Figura 18 se puede observar el flujo del procesamiento de un código apto para un controlador CNC.

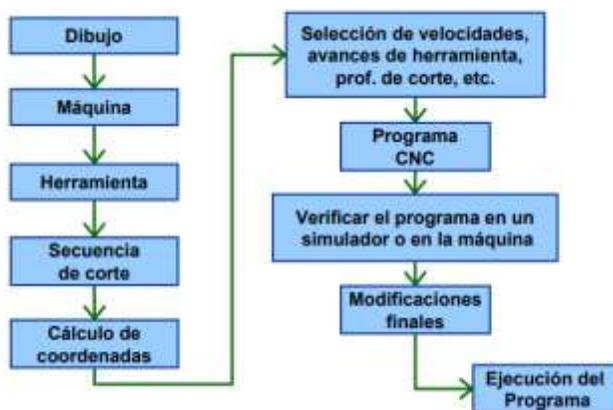


Figura 18. Flujo de procesamiento del código G

2.10 Programación C.N.C

- a) **Código G:** Funciones que permiten los movimientos de los ejes del prototipo con control C.N.C, estos movimientos pueden ser rápidos, lineales, radiales entre otros además permiten realizar pausas mediante ciclos continuos.
- b) **Código M:** Funciones misceláneas o de apoyo necesarias para el maquinado de piezas es decir activación y paro del husillo, intercambio de herramienta, activación del refrigerante para de emergencia etc.
- c) **Códigos G:** contienen direcciones definidas por el programador es decir tiene una función específica.
 - ✓ N: número de Bloque
 - ✓ G: Funciones preparatorias
 - ✓ G00: Código de posicionamiento rápido, permite dar el movimiento a los ejes de acción o de corte.
 - ✓ G01: Código de interpolación lineal, permite realizar el desbaste de material de acuerdo a los movimientos de cada eje.
 - ✓ G02: Código de interpolación circular sentido de las manecillas del reloj: permite el movimiento circular a lo largo o a través del material.
 - ✓ G03: Código de interpolación circular sentido opuesto a las manecillas del reloj.
 - ✓ X: Coordenadas en el plano X.
 - ✓ Y: Coordenadas en el plano Y.
 - ✓ Z: Coordenadas en el plano Z.
 - ✓ F: velocidad del husillo (PARRA, 2016)

2.11 ROBÓTICA MÓVIL.

Los robots móviles son dispositivos de transporte mecánicos con un nivel de autonomía que pueden desplazarse dentro de un ambiente conocido, con el objeto de cumplir alguna tarea asignada, en cuanto a sus aplicaciones han sido muy relacionadas con tareas normalmente riesgosas o nocivas en el área de la salud humana, agricultura o transporte de cargas peligrosas o tareas de exploración solitarias, traslado y acopio de materiales. (BAMBINO, 2017)

El concepto de autonomía no sólo se relaciona con cuestiones energéticas, sino se refiere a la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar para alcanzar un objetivo en particular con una intervención muy pequeña de la supervisión humana, por consiguiente, la denominación de vehículo auto guiado está referido a la estructura móviles que solo se limitan a seguir caminos establecidos mediante la utilización de líneas pintadas en el suelo, bandas magnéticas o reflectoras entre otras. (PHD, 2016)



Figura 19. Primeros prototipos Robótica Móvil
Fuente: (PHD, 2016)

2.12 Robot Omnidireccional

Este tipo de robots móviles presentan una estructura eficiente capaz de realizar movimientos laterales, frontales e inclusive rotacionales sobre una superficie plana, todo esto es posible por tener cierta disposición en sus ruedas y la forma característica de las mismas lo que hacen más fácil de conseguir mencionada movilidad desde un punto arbitrario si es referido con algún sistema de coordenados sin realizar rotaciones previas al desplazamiento.

“Un sistema omnidireccional posee la misma cantidad de posicionamiento posibles que la cantidad de coordenadas necesarias para localizar un vehículo de forma única en un plano” (PHD, 2016)



Figura 20. Prototipos Robóticos Omnidireccionales
Fuente: (Santiago Martinez, 2009)

2.13 Ruedas Omnidireccionales

Existen ruedas con varios diseños utilizadas en varias aplicaciones especialmente plataformas robóticas, este tipo de ruedas tienen rodillos alrededor de su periferia cuya finalidad es permitir movimientos verticales, horizontales y de rotación de acuerdo al control implementado, existe dos tipos de ruedas de mayor adaptación al modelo omnidireccional las cuales son ruedas universales y las ruedas mecanum a continuación se detallará una breve descripción y características.

a) Ruedas suecas.

De acuerdo a la Figura 21 estas ruedas disponen de un diseño ergonómico poco usual a la llanta normal por ello la plataforma incorporada logra mayor tracción en la dirección de avance de las ruedas, además permite generar movimiento lateral y rotacional en ambientes de mayor dificultad o congestionados es decir permiten al vehículo o plataforma móvil cambiar su dirección de movimiento sin cambiar su orientación. MECANUM. (SUCAR, 2016)



Figura 21. Ruedas Omnidireccionales / Mecanum
Fuente: (Santiago Martinez, 2009)

- ✓ Este tipo de rueda cuenta con unos rodillos de caucho o goma que se ajustan a la periferia de la rueda con una orientación de 45^a grados respecto al eje de rotación de la rueda, los rodillos permiten generar los desplazamientos omnidireccionales
- ✓ Para un análisis de fuerzas se debe considerar la Figura 22 donde se puede observar el ángulo del rodillo a 45 grados, donde se considera como punto de referencia el punto centro de la rueda y se puede dividir en dos componentes, uno perpendicular y otro paralelo al eje de los rodillos que varía según la orientación de los mismos
- ✓ El diseño y desarrollo de este tipo de rueda es acreditada por inventor sueco Bengt Lion de la empresa de la misma localidad de nombre Mecanum en el año 1973.

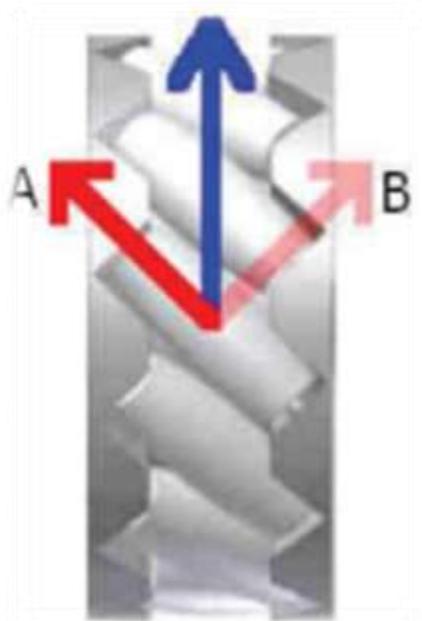


Figura 22. Suma de componentes / Rueda Mecanum.
Fuente: (Santiago Martinez, 2009)

b) Ruedas omnidireccionales simples

Se basan en un principio básico del modelo de una rueda con periferia circular donde tiene la posibilidad de tener tracción en el área de trabajo de acuerdo a una dirección normal al eje del motor. La rueda convencional se constituye de una serie de rodillos pasivos que se ajustan en su periferia circular antes referida permitiéndole así generar movimientos laterales mediante cierta curvatura que tienen estos rodillos cuya finalidad es evitar rebotes en el movimiento de avance, estos rodillos tienen la capacidad de soportar el peso del robot o plataforma limitando así su capacidad de carga, esta rueda permite tener tres grados de libertad ya que realiza sin mayor complejidad movimientos del robot en cualquier dirección sin necesidad de rotaciones previas. (Thomas, 2011)



Figura 23. Rueda Omnidireccional configuración simple
Fuente: (Thomas, 2011)

c) Ruedas omnidireccionales dobles

Referido como una variante en la estructura de las ruedas omnidireccionales de configuración universal simple, presenta dos rodillos alternados en el perímetro de la

rueda principal su ventaja es la estabilidad de la rueda ya que aumenta la superficie de contacto y tiene mayor capacidad de carga.



Figura 24. Rueda Omnidireccional configuración simple
Fuente: (Thomas, 2011)

2.14 Configuración omnidireccional

El tipo de plataforma de robots omnidireccionales cambia en su estructura por las disposiciones que tiene las ruedas en las cuales se pueden referir plataformas móviles de tres o cuatro ruedas, es por ello que pueden realizar movimientos característicos y algo similares en ambas plataformas. (Ioan Doroftei)

✓ Tres ruedas.

Se puede encontrar dos tipos de estructuras que cumplen con la disposición de las ruedas en una apertura de 120° entre sí con cierta orientación tangencial al chasis de la plataforma. De acuerdo a la Figura 25 a y b se puede encontrar plataformas en forma circular o triangular. Las ruedas compatibles de tipo omnidireccional pueden ser simples,

dobles o triples acopladas a un motor por cada una mediante la activación de un control sencillo para el desplazamiento de acuerdo a velocidades controladas. (Platform, 2017)

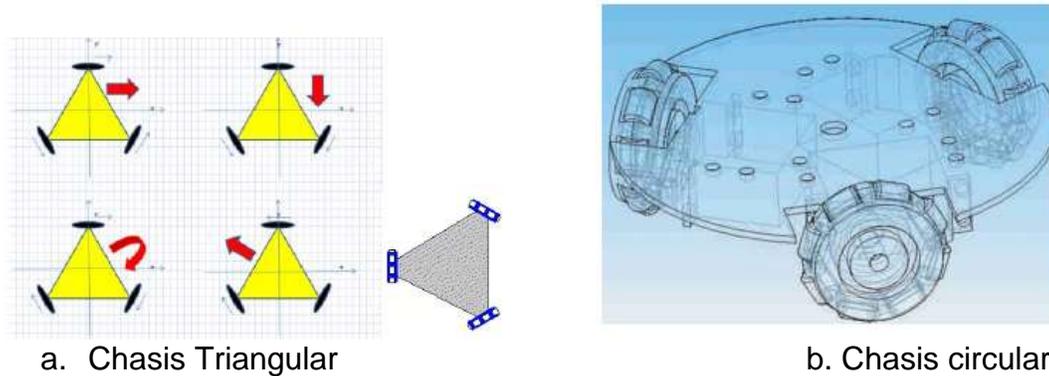


Figura 25. Plataforma Omnidireccional 3 ruedas
Fuente: (Thomas, 2011)

✓ Cuatro ruedas.

De acuerdo a la Figura 26 se puede referir como plataformas con un chasis en forma cuadrada, rectangulares o circulares, con una disposición de las ruedas a noventa grados, esta configuración obtienen desplazamientos lineales, inclinados o rotacionales de acuerdo al control incorporado, algunos diseños permiten realizar trayectorias sobre caminos irregulares o superficies planas con un nivel de rugosidad, otro aspecto de este tipo de plataformas es obtener mayor capacidad de carga, estabilidad, tracción al arrastre, a relación de la configuración de tres ruedas, el control incorporado puede depender de acuerdo a la necesidad del diseño y operatividad del prototipo.



Figura 26. Plataforma Omnidireccional 4 ruedas
Fuente: (Thomas, 2011)

2.15 Características sistema omnidireccional.

En la tabla número 2 se hará un breve análisis sobre las ventajas y desventajas del tipo de configuración omnidireccional.

Tabla 2.

Locomoción Omnidireccional.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite movimiento de holónomos.	Costos de implementación y envío es considerado ya que son exportados en su mayoría.
Manejo independiente de las ruedas.	Presenta cierta complejidad en el control
Movimientos complicados y en cualquier dirección.	Demanda de motores con mayor torque por su elevado gasto energético por la tracción.
Puede girar sin haber rotado previamente.	

Diseño mecánico no es considerado como complejo.

Dispone de una mejor resistencia a la rotación.

Fuente: (Thomas, 2011)

2.16 ELEMENTOS MECÁNICOS Y ACTUADORES

Considerados como los dispositivos que se encargan de proporcionar movimientos lineales mediante el acoplamiento de ejes o flechas y camisas de sujeción para la selección de estos elementos mecánicos se debe analizar factores como utilidad y beneficios del prototipo y que permita la sinergia entre actuadores mecánicos y control eléctrico

a) Tornillo Sin fin:

De acuerdo a la Figura 27 se puede ver un eje roscado considerado técnicamente como un mecanismo que es capaz de transformar movimientos rotacionales en movimientos lineales, esto se logra mediante una tuerca o camisa y la acción de un actuador mecánico, su utilización en proyectos con control C.N.C es ideal y necesario para el obtener un desplazamiento sincronizado.



Figura 27. Tornillo sin Fin
Fuente: (Cristian, 2017)

b) Rodamiento Lineal

Elemento mecánico ideal para el desplazamiento suave sobre una eje o flecha, brinda el soporte continuo para anexar una estructura o componente mediante elementos de sujeción sobre la superficie de montaje, este tipo de elementos varían por su utilidad por lo tanto como se puede observar en la Figura 28 un rodamiento lineal ideal para un prototipos C.N.C dispone de rigidez en el movimiento, tratamientos para mejorar la vida útil del elemento y puede tener mayor capacidad de carga comparada a otros sistemas lineales.

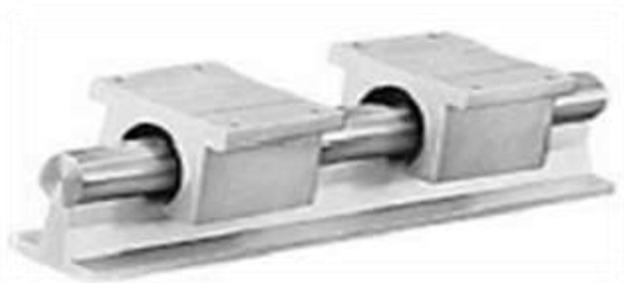


Figura 28. Guía y Rodamientos Lineal
Fuente: (Cristian, 2017)

c) Motor Paso a paso

Actuador electromecánico ideal para la construcción de mecanismos en donde se requiere movimientos de gran precisión, convierte pulsos eléctricos en movimientos angulares determinados dependiendo el control que se le aplique. Una de sus ventajas es que puede mantener su posición mientras las bobinas permanezcan energizadas.



Figura 29. Motor Paso a Paso
Fuente: (Computacional, 2016)

El método de control de estos dispositivos es posible por un control digital donde recibe la señal mediante pulsos en lazo abierto, de acuerdo a la Figura 29 se puede observar un motor paso a paso donde se debe detallar que existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente los cuales son los más utilizados en robótica motor paso a paso unipolares y bipolares a continuación se detalla una breve explicación

a) Unipolares

Se refiere a motores paso a paso unipolar a aquel actuador con seis, cinco o cuatro cables de salida de acuerdo la Figura 30 se puede observar la conexión interna de la bobina, en manera particular y más común se refiere como motor unipolar a los motores P.A.P con cuatro cables, donde reciben los pulsos mediante un driver de control en forma inmediata activan las bobinas internas y cumple una secuencia de giro, esta secuencia dura mediante los giros o pulsos configurados, cave recalcar que si el cable común no se utiliza este motor Paso a paso puede actuar como un bipolar.

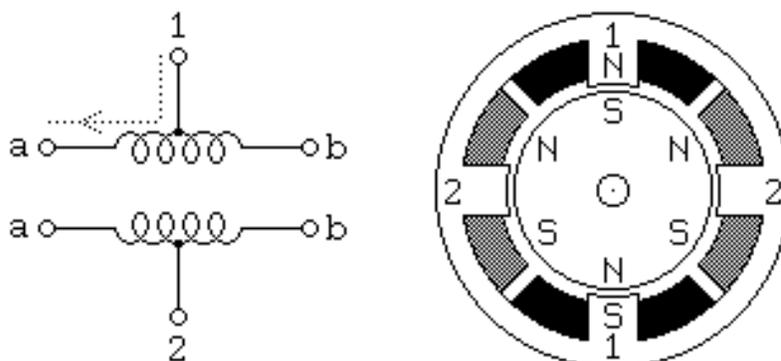


Figura 30. Motor Paso a Paso – Unipolar Diagrama de Conexión
Fuente: (Computacional, 2016)

b) Bipolares

De acuerdo a la figura 31 se observa la conexión interna de un motor P.A.P estos actuadores electromecánicos tienen cuatro cables de salida característica muy notable y singular, donde necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados especialmente en el cambio de dirección mediante el flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. (JOSE, 2017)

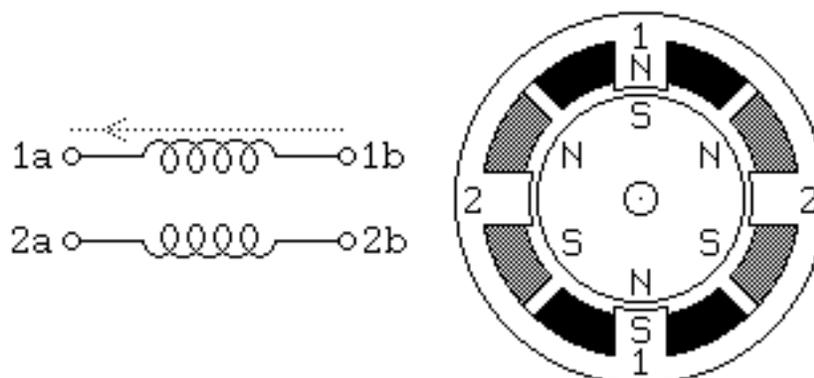


Figura 31. Motor Paso a Paso – Bipolar Diagrama de Conexión
Fuente: (Computacional, 2016)

✓ Servomotores

En la Figura 32 se puede observar un actuador mecánico con alto desempeño en el torque y velocidad, disponen de un tiempo de operación considerable y no demanda de mucho mantenimiento, disponen de más prestaciones en la etapa de control que un motor a pasos esto depende de acuerdo a referencias del fabricante.



Figura 32. Servo Motor
FUENTE: (SOSA, 2015)

2.17 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

✓ Controlador

Referidos a término comercial como drivers electrónicos “*cuya función es liderar el control de un elemento donde intervienen tensiones y corrientes capaz de destruir un circuito digital*”, técnicamente un driver es la interacción en funcionamiento de uno o varios circuitos integrados que reciben señales lógicas desde un ordenador capaz de limitar tensiones o corrientes de acuerdo a las características específicas del fabricante, existe variedad de controladores por tal motivo es necesario determinar el tipo controlador que se ajuste al desempeño de los actuadores del prototipo a implementar.

✓ **Driver de un motor P.A.P**

De acuerdo a la Figura 33 se puede observar un controlador para motores P.A.P con un código comercial A4988, esta controladora trabaja en un rango de ocho a treinta y cinco voltios, con un amperaje máximo de 1 A, permite el control de pasos y de giro, tiene la capacidad de trabajo de cinco resoluciones de pulsos de acuerdo a la hoja técnica del fabricante. la utilización de esta tarjeta tiene mayor aceptación para impresoras 3D



Figura 33. Driver A4988

FUENTE: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

✓ **Arduino Uno**

Es una tarjeta programable de mayor utilización y enfoque hoy en día su desarrollo se realizó mediante la utilización de la idea de Código de abierto, permite la integración y control de varios periféricos de entrada y de salida de acuerdo a la complejidad del proyecto dispone de una notable versatilidad con lectura de sensores, adaptabilidad de módulos dando paso a soluciones rápidas y económicas donde se permite derogar elementos o equipos electrónicos de alto costo mediante la utilización de pocos recursos. (VARGAS-Manuel†, Septiembre 2015) Ver Figura 34.



Figura 34. Placa Arduino Uno

FUENTE: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

✓ **Módulo CNC Shield.**

De acuerdo a la Figura 35 esta placa electrónica permite controlar cuatro motores PAP en forma simultánea. dispone de una fácil adaptación sobre las tarjetas de programación Arduino además de cuatro drivers de potencia, conexiones para interruptores de final de carrera, salidas de relé y diversos sensores para la activación y buen desempeño de esta tarjeta es necesario un firmware de mando (Blandon, 2015)

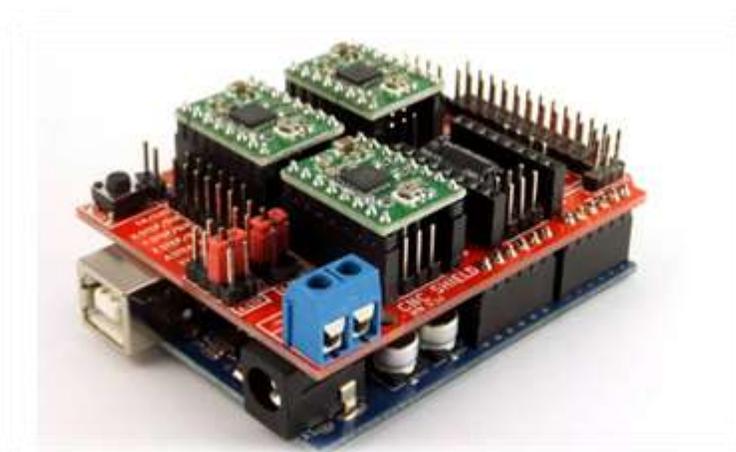


Figura 35. Módulo CNC

FUENTE: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

✓ **Módulo Bluetooth**

Dispositivo electrónico que permite la comunicación serial inalámbrica a través de radiofrecuencia en la banda de 2,4 GHz con el estándar IEEE 802.15.1 (U.N.A.M, 2017). De acuerdo a la Figura 36 se considera el módulo HC-05 compatible con la plataforma Arduino para el envío y recepción de datos por un puerto de comunicación en forma inalámbrica es decir permite crear una conexión bidireccional punto a punto, este dispositivo se configura mediante comandos AT, dispone de dos modos de funcionamiento modo maestro y esclavo este dispositivo de fácil acceso y configuración se adapta a cualquier proyecto.



Figura 36. Módulo Bluetooth.

FUENTE: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

2.18 SOFTWARE OPEN SOURCE.

Considerado como un programa de código abierto o software libre que no demanda de derechos de autor por tal motivo es un software que varios programadores puedan leer, modificar y redistribuir el código fuente, por lo que ese programa inicial

evoluciona, adapta y actúa de acuerdo a una necesidad y brindar una solución o control. (Lletí, 2015)

✓ **Firmware GRBL.**

De acuerdo a la Figura 37 se puede observar las siglas del software de control y traductor capaz de entender las instrucciones impuestas en un código máquina y transformarlos a señales de pulsos permitiendo así la activación de drivers y accionamiento de actuadores mecánicos, en la actualidad su utilización es popular en máquinas donde se necesita determinar el número de pulsos para tener una distancia determinada. (SOURCE, 2015)



Figura 37. Firmware GRBL

Fuente: (Bengler, 2017)

✓ **Script de configuración para el Firmware GRBL**

Es un software con una interfaz gráfica útil para modificar parámetros de funcionamiento del firmware G.R.B.L, dispone de una interfaz de diseño y verificación de movimientos ideal para el control de máquinas que realicen tallados o cortes mediante la traducción y lectura de código G.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

3. DISEÑO MECATRÓNICO.

El desarrollo de este capítulo permite abalizar el diseño Mecatrónico del prototipo Router CNC portable mediante el cumplimiento de la metodología del diseño concurrente de productos cuyo objetivo es identificar oportunidades o necesidades del usuario para establecer especificaciones y objetivos, con ello se generará subdivisiones que aporten a crear un orden sistemático donde se identifican atributos potenciales para el diseño CAD, especificaciones de funcionamiento, selección del firmware de control entre otros requerimientos que debe cumplir el prototipo a desarrollar, posterior a la implementación se considera las pruebas que deberá ser sometido el prototipo para validar el diseño.

3.1 Metodología De Diseño

Para el desarrollo del proyecto se tomará como referencia en base al diseño concurrente de productos. (Ulrich & Eppinger, 2013).

3.1.1 Identificación de necesidades

Se considera como una parte integral del proceso de desarrollo del producto donde se incluye atributos y requisitos del cliente, pero a veces existe un error en diferenciar deseos y necesidades razones principales en detallar que es necesario cumplir cinco pasos que permiten definir necesidades del cliente.

De acuerdo Ulrich y Eppinger, en su libro “Diseño y desarrollo de productos” para identificar necesidades mencionan los siguientes aspectos:

- ✓ Recopilar datos sin procesar de los clientes
- ✓ Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de cliente
- ✓ Organizar las necesidades en jerarquías
- ✓ Establecer la importancia relativa de las necesidades
- ✓ Reflexionar en los resultados y el proceso.

De acuerdo a la tabla número 3 se propone identificar las necesidades del prototipo mediante la recopilación de información e interpretación de datos.

Tabla 3.

Identificación de necesidades

ENUNCIADO DEL CLIENTE	NECESIDAD INTERPRETADA
El router CNC debe tener por lo menos 3 ejes de corte independientes.	El diseño del prototipo exige desarrollar un prototipo innovador.
El Router CNC debe cortar en Madera diseños nuevos fuera de lo convencional	El Router CNC debe realizar cortes de diseños personalizados de forma continua.
El Router CNC tiene que ser ligero para llevarlo de un lugar a otro	El prototipo del Router CNC deberá ser portable

CONTINUA



El Router CNC debe permitir extraer y colocar de forma fácil el cortador.

El Router CNC contará con un acople para el montaje y desmontaje rápido de la máquina – herramienta de corte

El Router debe ser estable y fácil de utilizar en cualquier superficie plana.

El Router CNC contará con una estructura robusta que mantenga su estabilidad y no afecte el corte.

El Router debe ampliar la zona de trabajo.

No debe de existir límite de área de corte fácil desplazamiento.

El programa de control debe ser gratuito.

Controlador del Prototipo desarrollado como Open Source.

El Router CNC debe tener un costo aceptable de elaboración y mantenimiento

El Router CNC deberá constar de dispositivos electrónicos y mecánicos de fácil acceso considerando elementos bajo importación.

Control independiente de cada eje para su movimiento

Movimientos de actuadores mecánicos mediante la adaptabilidad de drivers electrónicos, configuración del firmware de mando y activación independiente por el software de control.

3.1.2 Posibles soluciones a requerimientos del cliente.

Una vez determinado las necesidades de los clientes es decir los (Que's) se desarrollará las posibles soluciones identificados con el nombre de los (Como's); factores primordiales que permitirán desarrollar la matriz QFD sin mayor complejidad.

Tabla 4.

Factores (QUE'S) y (COMO'S) matriz QFD.

QUE'S	COMO'S
Cortes precisos en Madera de diseños personalizados	<ul style="list-style-type: none"> • Vectorización de imágenes mediante un software de análisis digital • Obtención de código G del diseño propuesto. • Lectura del código máquina mediante un software de mando y posicionamiento • Activación de actuadores mediante dispositivos electrónicos. • Diseño mecánico adecuado de una estructura sólida
Bajo costo de elaboración y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de componentes en el mercado. • Calidad de los materiales • Consumo eléctrico • Materiales ligeros
Programa gratuito	Analizador grafico bajo la normativa de código abierto capaz de vectorizar un diseño y obtener el código máquina previo al tallado.

CONTINUA 

Ligero y portable	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño mecánico adecuado de una estructura sólida • Materiales ligeros. • Disponibilidad de componentes de alta calidad • Máquina-Herramienta desmontable
Cambio y desmonte de la máquina-herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño mecánico adecuado de una estructura sólida • Máquina-Herramienta desmontable
Zona de trabajo extensible	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño mecánico- plataforma móvil. • Sincronización de motores • Disponibilidad de componentes de alta calidad
El router debe ser estable y fácil de utilizar en cualquier superficie	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño mecánico óptimo ✓ Estructura sólida.
HMI fácil de utilizar	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Software de control bajo la normativa de código abierto

3.1.3 Interpretación de requerimientos y alternativas mediante Matriz QFD.

Desarrollado la matriz QFD, se establece la importancia relativa de acuerdo a las necesidades mencionadas en la tabla número 5, con ello se menciona las posibles alternativas de solución del prototipo permitiendo obtener un orden de investigación para verificar si existe algún prototipo similar en desempeño o diseño se debe considerar que la fabricación de router C.N.C convencionales es necesario considerar ya que existen prototipos con una área de trabajo muy pequeña a relación de un prototipo industrial.

Tabla 5.

Porcentaje de Importancia necesidades referidas por el cliente.

Necesidades	Importancia %
El prototipo debe ser ligero y portable	11
Tenga la capacidad de ampliar la zona de trabajo	9
El prototipo debe ser estable y fácil de utilizar en cualquier superficie plana	8.2
Software de control bajo los lineamientos de código abierto	8
El prototipo debe tener como mínimo tres ejes de corte.	7
El trabajo del Router CNC portable debe ser preciso en madera	6.5
El prototipo debe tener una precisión de corte similar o mejor a un router con configuración cartesiana	6.5
El router debe tener un costo de elaboración y mantenimiento bajo sin afectar su durabilidad por un periodo de tiempo considerable	6.3
El prototipo debe permitir el cambio y desmonte de la máquina herramienta de una manera fácil y rápida	5
Debe permitir realizar un Control básico de movimientos de manera independiente	4

La necesidad más importante a considerar para el diseño del prototipo de Router CNC es que debe ser ligero y portable para su traslado, la herramienta de corte y ejes de movimientos se activen con un control independiente, cave recalcar que el prototipo a

sugerencia del cliente deberá ampliar la zona de trabajo para abarcar mayor área de corte y cumpliendo parámetros como estabilidad, movimiento individual por cada eje a implementar en el prototipo, verificar el corte de diseños personalizados. Una vez identificado las necesidades del diseño a implementar en la tabla número 6 se pretende identificar posibles soluciones que pueden dar paso al desarrollo de un primer prototipo.

Tabla 6.

Alternativas referenciales para la posible solución del prototipo

Alternativas a considerar	Importancia
Diseño mecánico, ergonómico y portable	15.7 %
Estructura sólida y robusta para el corte a detalle	13.3 %
Selección del sistema de transmisión de movimientos	11.8 %
Utilización de software libre	10.8 %
Vectorización de imágenes mediante un software libre	7.5 %
Obtención del código G software libre	7.5 %
Adaptabilidad de firmware de control sobre tarjetas de mando	6.9 %
Disponibilidad de componentes eléctricos y mecánicos en el mercado	6.2 %
Elementos de sujeción de los equipos externos al prototipo	5.6 %
Selección de componentes electrónicos	5.6 %
Desplazamiento independiente de cada eje de corte	5.4 %
Bajo consumo energético	4.3 %

Una vez ponderado los lineamiento del posible diseño referido como router C.N.C portable exige realizar un diseño C.A.D de una estructura sólida que se ajuste a la característica de portabilidad y fácil traslado de un lugar a otro, por consiguiente a este diseño de la estructura es necesario considerar que el eje de corte que se pretende incorporar debe considerarse para futuros análisis, simulación y selección correcta de materiales permitiendo garantizar que la máquina herramienta a utilizar realice un tallado sin error, es necesario considerar la selección de los actuadores correctos mediante las características mecánicas como torque y velocidad, posterior es necesario considerar un driver de sincronización de motores que se adapte bajo el firmware de control en código abierto y la tarjeta principal de mando, verificación del software de análisis digital para la vectorización de imágenes y adquisición del código G de diseños personalizados además el prototipo a desarrollar tiene que extender su área de trabajo.

3.1.4 Etapas funcionales del sistema.

De acuerdo a la Tabla número 7 se identifica como etapas funcionales de diseño a las tres áreas inherentes a la Mecatrónica por lo tanto el prototipo a implementar exige un desarrollo de un diseño mecánico mediante un software C.A.D, el acoplamiento de tarjetas electrónicas para el mando o activación de actuadores mecánicos y por última instancia verificar el software análisis digital capaz de obtener el código máquina de un diseño bajo el lineamiento de código abierto.

Tabla 7.
Etapas funcionales de diseño

Diseño mecánico	Diseño electrónico	Software de control
Estructura portable	Tarjeta de mando	Firmware de control
Estructura Eje de corte	Drivers de control	Interprete de código G
Selección de actuadores	Fuentes de alimentación	Software de vectorización
Selección de acoples y sujetadores	Módulo de comunicación	
Análisis C.A.D		

Se debe delimitar que un router convencional trabaja sobre estructura en de acuerdo a una área de trabajo factor primordial para considerarse como una máquina estática, a su vez se considera el principio de funcionamiento de tres grados de libertad permitiendo así analizar la utilización de nuevo prototipos robóticos con cierta locomoción donde permitirán incorporar el principio de funcionamiento de un router convencional es decir tres grados de libertad con configuración cartesiana y adaptar un diseño que permita extender el área de trabajo y sea portable mediante el cumplimiento de las etapas funcionales descritas en la tabla número 7 idóneas para el diseño del nuevo prototipo.

Cada etapa será resuelta realizando una selección de varias alternativas específicas de diseño cabe recalcar que en nuestra matriz QFD o matriz de ponderación los elementos mecánicos y electrónicos deben ser de fácil acceso en el mercado de nuestro País o bajo importación, como un detalle más los elementos que permitirán solventar el desarrollo del prototipo deberá permitir un posible mantenimiento fácil y rápido en menor tiempo y a su vez permita innovar y mejorar el prototipo diseñado.

3.2 DISEÑO MECÁNICO

3.2.1 Routers C.N.C.

Hoy en día existe máquinas fresadoras de tipo Router C.N.C manufacturadas e importadas, con varios diseños y prestaciones de servicio muy diferentes, cabe recalcar que el principio de funcionamiento de estas máquinas es:

- ✓ Área de trabajo limitada.
- ✓ Adaptabilidad e intercambio de ciertas herramientas de corte
- ✓ Configuración cartesiana de acuerdo a la estructura.
- ✓ Diseño ergonómico.
- ✓ Innovación para el corte o desbaste
- ✓ Normas de seguridad.
- ✓ Plataformas móviles.
- ✓ Intervención permanente del operario.
- ✓ Control autónomo durante el corte.
- ✓ Precisión y corte a detalle.

De acuerdo a la tabla número 8 se realizará un análisis y ponderación numérica de ciertas diferencias entre tres prototipos referidos como portables donde se identificará parámetros sobre el material utilizado en la estructura, configuración del prototipo, tipo de funcionamiento si es autónomo o con ayuda del operario, software de operación, resolución en el corte a detalle, área de corte entre otros aspectos necesarios para complementar el desarrollo del prototipo.

Tabla 8.

Análisis de prestaciones de diseño semejante y existente del mercado.

	HANDIBOOT	SHAPER CNC	DISEÑO CONVENCIONAL
Material de la estructura	Aluminio Acero ASTM-36	Fibra de vidrio, plástico, y algunas partes con impresión en 3D y acoples de aluminio	Aluminio acero ASTM-36
Configuración	Configuración cartesiana.	Robot móvil	Configuración cartesiana
Numero de ejes	Tres ejes de corte	Solo eje de corte	Tres ejes de corte
Área de corte	Eje X: 152 mm Eje Y: 203 mm Eje Z: 76 mm	No tiene restricciones en cuanto sino un simulador digital.	Eje X: 300 mm Eje Y: 350 mm Eje Z: 150 mm
Autonomía	Máquina autónoma con botón de inicio	Necesita de un operario para realiza el corte.	Máquina autónoma con botón de inicio
Nivel de Portabilidad en Kg	20.4 Kg	19.8 Kg.	45 Kg
Materiales que puede cortar	Madera y grabados limitados en varios materiales blandos	Madera	Madera y grabados limitados en varios materiales blandos
Acople de máquina herramienta	Acople de aluminio para colocar o desmontar una	Acople de aluminio para colocar o desmontar una	Acople de aluminio para colocar o desmontar una

CONTINUA



máquina herramienta	máquina	herramienta	máquina	herramienta
Router Tupi.	Router Tupi.		DRILL	

Software	Privativo	Privativo incorporado en el dispositivo.	Libre
Extras	Corte preciso mediante una aplicación móvil.	Disponen de una cámara web que le permite activar un asistente de corte virtual mediante la utilización de una cinta propia del equipo	Utiliza una plataforma que permite vectorizar imágenes y obtener de manera instantánea el Código G
Manufactura	Importada	Importada	Desarrollada en el País
Costo	Medio	Alto	Bajo

De acuerdo a la Figura 38 una vez ponderado las características de cada prototipo se considera lineamientos de funcionalidad similares entre a y c ya que tiene una configuración cartesiana pero con una área de corte menor a un router convencional la diferencia entre estos dos prototipos es que permite el traslado de un lugar a otro y se posiciona sobre el material a realizar el tallado, mientras que el prototipo c referido como router convencional tiene una área de trabajo donde limita la proyección de corte a mayor escala, como una ventaja de innovación el prototipo b solo tiene un eje de corte donde el operario mediante un software de simulación permite el corte manual mediante el

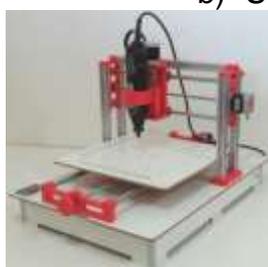
seguimiento de trayectorias ventaja importante para no depender de una área de corte por lo tanto se considera complementario para el diseño del nuevo prototipo.



a) Handiboot



b) Shaper CNC



c) Modelo Router Fijo

Figura 38. Diseños Comerciales ya existentes en el mercado

3.2.2 Ponderación y Análisis del mejor diseño

Para realizar una ponderación de acuerdo al nivel de importancia por cada criterio mostrada en la tabla número 8 se les asignará un valor porcentual desde el uno al cinco, donde uno es el valor menos significativo y el cinco es el valor muy significativo.

Tabla 9.

Ponderación y Análisis de los diseños Router CNC portable existentes

Módulos	HANDIBOOT		SHAPER		ROUTER CONVENCIONAL	
	Valor	Importancia	Valor	Importancia	Valor	Importancia
Tipo de estructura y material que la conforma	2	40%	4	80%	2	40%

CONTINUA →

Numero de ejes	2	40%	4	80%	2	40%
Área de corte	1	20%	5	100%	1	20%
Nivel de Portabilidad en Kg	4	80%	4	80%	3	60%
Materiales que puede cortar	3	60%	3	60%	2	40%
Acople de máquina herramienta	4	80%	4	80%	4	80%
Software	2	40%	2	40%	5	100%
Costo	2	40%	2	40%	2	40%
Nivel de importancia		4		5.6		4.2

3.2.3 Criterios De Selección Para El Diseño Final.

Una vez ponderado las especificaciones de tres diseños que se denominan “Router CNC Portable” se considera características de mayor relevancia con un enfoque innovador detalladas en la tabla número 9 cuya puntuación se ajusta al interés del desarrollo del prototipo, se verifica características en funcionamiento y prestaciones que serán consideradas para implementar en el nuevo diseño, requerimientos descritos en las tablas 6 como alternativas de diseño, por tal razón se propone el desarrollo CAD de una Plataforma móvil para el desplazamiento sin restricciones de área de corte mediante la utilización de actuadores mecánicos con previa selección por su desempeño mecánico

de acuerdo a cálculos de diseño, cabe recalcar que la configuración cartesiana donde existe tres grados de libertad con configuración cartesiana característica común identificada entre los prototipos descritos en la Figura 38 a y c.

No se descarta la utilización de esta configuración para el nuevo diseño ya que en de acuerdo a las alternativas propuestas en la tabla número 6 se describe la utilidad de tres grados de libertad en cuanto a portabilidad se estimará un promedio en kg de acuerdo a estándares permitidos, el valor de peso promedio de los tres prototipos es 28.4 kg (nivel máximo) y en ponderación obtuvo un puntaje de 60% como interés primordial, este valor se pretende reducir y mejorar su portabilidad a 10 kg como peso máximo admisible del prototipo. Es necesario una máquina herramienta denominada como Router, tupi o drill la cual es acoplada al eje de corte por lo tanto se considerará incorporar en el diseño C.A.D del nuevo prototipo. Como última consideración el corte a detalle se lo realizará mediante la conversión de imágenes personalizadas con un software de análisis digital que permita adquirir el código máquina bajo los lineamientos de código abierto.

3.3 Conclusión De Diseño Del Prototipo.

Se propone realizar un diseño de una plataforma robótica móvil con locomoción omnidireccional cuyo enfoque de innovación permitirá tener un trabajo autónomo en el corte a detalle en madera de cualquier diseño y sin límite de área de corte, el prototipo se destacará por mejorar prestaciones en la portabilidad y traslado, fácil intercambio de la máquina herramienta, cumpliendo normas de seguridad que permitan precautelar la integridad del operario.

3.4 Sistema De Locomoción Omnidireccional.

El concepto de sistema de locomoción a término general se considera como el responsable de la traslación del robot de acuerdo a la zona de trabajo donde va a operar, el sistema omnidireccional se ajusta al requerimiento de desplazamiento en cualquier dirección del prototipo Router CNC portable donde el mismo podrá realizar cortes sin límite de área lo cual significa que este sistema de locomoción puede brindarle a la plataforma tres grados de libertad en el plano horizontal movimientos inclinados en diagonal positiva o negativa y rotacionales siempre y cuando el control implementado lo permite.

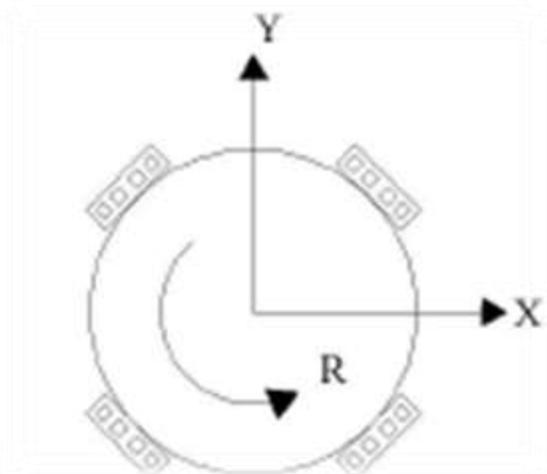


Figura 39. Sistema de Locomoción Omnidireccional
Fuente: (Platform, 2017)

Para la adecuada selección de las llantas del tipo omnidireccional y la configuración de la plataforma omnidireccional que se ajuste al prototipo a desarrollar se utilizará el método de ponderados. Se debe denotar que el valor máximo de interés será representado por el número cinco y cero implica lo contrario así se podrá obtener un valor promedio sobre 100 % de interés.

3.5 Selección De Llantas Omnidireccionales.

Para la Selección de las llantas del tipo omnidireccional que se ajuste al prototipo se debe considerar los siguientes aspectos: Capacidad de carga, Peso, Fricción, Costo, estos valores de ponderación serán referidos en la tabla 10 de acuerdo a la información técnica obtenidas por la empresa AndyMark, donde se hace mención de los modelos de llantas de mayor uso comercial las cuales son : llantas omnidireccionales de tipo Universal, Doble, y Mecanum de material aluminio y con diámetro de 127 mm , estos modelos seleccionados fueron considerados por el límite máximo de carga promedio referido en el ítem 3.2.3 , donde el valor de carga individual admisible por cada llanta es mayor o igual a 20 kg.

Tabla 10.

Ponderación y Análisis selección de llantas Omnidireccionales

Tipo de llanta	Capacidad de carga	Peso	Fricción	Costo	Promedio	Interés
Doble-Universal	5	5	3.5	5	4.5	90 %
Universal	5	4.5	4.5	3.5	4.375	87.5%
Mecanum	5	3.5	5	2.5	4	80%

Una vez ponderado cada rueda de referencia en el material de aluminio y con un diámetro de 127 mm se determinó que los tres tipos de llantas cumplen y sobrepasan la capacidad de carga máxima admisible del prototipo, en cuanto el porcentaje de fricción o adherencia al suelo las ruedas Mecanum tiene una aceptación total por su diseño y

ángulo de inclinación, el peso y el costo de las ruedas universales dobles y simples son de mayor interés y relevancia es por ello que en la implementación del sistema completo de locomoción se utilizará ruedas omnidireccionales universales dobles por su coste y capacidad de carga compartida.

3.6 Selección Del tipo de configuración plataforma omnidireccional

Para este apartado será considerado el número de ruedas necesarias para tener un control, dirección, maniobrabilidad, estabilidad y tracción ítems necesarios para el buen desempeño de la plataforma omnidireccional en conjunto a las ruedas universales dobles

Tabla 11.

Ponderación y Análisis selección del tipo de configuración omnidireccional

Configuración de la plataforma	Tres ruedas	Pts.	Cuatro Ruedas	Pts.
Control y dirección	Nivel de complejidad Moderado	3.5	Nivel de complejidad fácil y moderado =4.5	4.5
Estabilidad	Limitada	2.5	Excelente	5
Tracción	De acuerdo a las variaciones de las velocidades	2.5	Mayor tracción de acuerdo al diseño ergonómico	4.5
	<i>Promedio</i>	<i>=2.83</i>	<i>Promedio</i>	<i>= 4.66</i>
	<i>% de interés</i>	<i>56.6 %</i>		<i>93.3 %</i>

De acuerdo a resultados de ponderación y porcentaje de interés descritos en la tabla 11 se puede apreciar que los niveles de aceptación en la plataforma de cuatro ruedas en cuanto a control, dirección y maniobrabilidad el nivel de complejidad a relación de la configuración de 3 ruedas es más accesible y rápido el prototipo, mayor estabilidad y tracción en el movimiento de la plataforma.

En tal virtud el prototipo a desarrollar es una plataforma de cuatro ruedas universales del tipo omnidireccional de 127 mm de Aluminio, donde cada punto de apoyo tendrá la capacidad de girar y moverse en cualquier dirección por su tracción omnidireccional. Cabe recalcar que los factores de diseño a considerar deben optimizar recursos, mejorar la portabilidad entre otros factores.

Tabla 12.

Variables finales previas al diseño CAD prototipo Router CNC

Variables	Datos	Unidades
Capacidad de carga	15 [valor máximo]	kg
Numero de ruedas	4	
Tipo de tracción	Omnidireccional	
Diámetro de las ruedas	127 [parámetro comercial]	mm
Velocidad	[valor a sustentar]	
Distribución de llantas	Cuadrada	
Angulo de distribución	45	Grados
Peso total del prototipo	10 valor meta	kg
Tipo de superficie	Plana	
Material	Madera.	
Alimentación	[ítem por determinar]	

En este contexto se referirá como valores determinantes el peso de la plataforma que es máximo 15 kg y 10 kg como un valor meta del prototipo final ya que en el rango del valor medio obtenido en el apartado 3.2.3 es un peso demasiado alto para que una

persona pueda trasladar el prototipo, en cuanto a los demás aspectos considerados en la tabla 12 como configuración, tipo de llantas se deben ajustar a un prototipo en dimensión de acuerdo del diseño C.A.D de la plataforma móvil, se debe mencionar que los subsistemas complementarios al sistema de locomoción y eje de corte serán diseñados acoplados para el funcionamiento correcto del prototipo. Se debe considerar de vital importancia el cálculo del torque nominal del motor en relación directa proporcional con el peso de la plataforma y el diámetro de la rueda a utilizar.

3.7 Análisis C.A.D de subsistemas

Los subsistemas considerados a continuación son elementos diseñados de manera independientes y complementarios para el prototipo final por tal razón se considera importante determinar el peso específico teórico mediante la selección del material y la asignación del peso teórico de acuerdo al software de diseño utilizado para lo cual se puede apreciar los valores en la tabla número 13 donde se estima un peso en kg aproximado de la plataforma mediante el diseño realizado sin considerar la herramienta de corte, actuadores mecánicos fuentes de alimentación y tarjetas de control solo es un análisis de los subsistemas correspondientes al diseño mecánico propuesto.

Tabla 13.-

Análisis C.A.D subsistemas

Ítem	Valor	Unidades
Plataforma robótica móvil	5.76	kg
Ruedas Omnidireccionales	0.53	kg
Eje de corte	1.078	kg

CONTINUA 

Acople herramienta.1	0.05	kg
Acople herramienta 2	0.02	Kg
Total	9.04	Kg

3.8 Diseño Mecánico Del Prototipo

La carga que soportará la plataforma omnidireccional se establece en relación del diámetro de la rueda, cada rueda tiene la capacidad de carga de 20 kg como peso máximo es decir que las ruedas omnidireccionales de diámetro de 127 mm pueden llegar a soportar un peso aproximado de 80 kg considerando la utilización de 4 ruedas, razón por lo cual la carga máxima que se pretende alcanzar en el desarrollo del prototipo Router CNC portable es 15 kg por lo que se asume como valor máximo permisible para cálculos de diseño.

Se debe considerar que el prototipo realizará un proceso de manufactura de fresado o desbaste en Madera como material permisible sobre superficies planas, es por ello que a estos cálculos se desarrollaran las ecuaciones necesarias para determinar la fuerza de corte en el fresado y fuerza necesaria para vencer la inercia del prototipo.

a) Cálculos para el Fresado.

El corte en materiales blandos como madera y plásticos tiene parámetros adecuados para obtener un mecanizado eficiente con un acabado superficial o desbaste.

A continuación, se describen las ecuaciones necesarias para encontrar los parámetros de fresado. Estas ecuaciones son tomadas de Sandvik (SANDVIK, 2017)

✓ **Velocidad de corte [Vc]**

Se define como la velocidad lineal de la periferia de la fresa mientras rota, y se selecciona en base a las características de la herramienta de corte, de la dureza del material empleando y el proceso de mecanizado a ejecutarse.

$$V_c = \frac{D_e * \pi * N}{1000} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

$$D_e = 3.175 \text{ mm (Diámetro de la fresa).}$$

$$N = \text{Revoluciones por minuto.}$$

Tabla 14.
Velocidad de corte (m/min) y Avance (mm/min)

	Fresa de vástago		Fresa plato de cuchilla	
	DESBASTE	AFINADO	DESBASTE	AFINADO
Latón	35	55	50	60
Metales ligeros	160	180	250	300

Fuente:(Maldonado Galarza, 2015)

La operación del fresado o desbaste se realizará con una herramienta de corte referida como fresa de vástago recto apto para materiales ligeros y con el diámetro máximo de la boquilla del equipo a seleccionar, de acuerdo a la tabla 17 se puede referir como una velocidad de desbaste de 160 m/min.

Es por ello que podemos calcular las Revoluciones por minuto necesaria para la operación de corte.

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

N: Velocidad del husillo

V_c = Velocidad de corte

D_c = Diámetro de la broca

$$N = 16040.81 \text{ RPM ideal}$$

Para desbaste en madera se emplean velocidades de giro de la herramienta de corte que oscilan desde los 9000 RPM a 16500 RPM, cave recalcar que la dureza del material y del tipo de acabado superficial que se desee obtener. (Maldonado Galarza, 2015)

✓ **Avance por diente [Sz]**

Este valor se utiliza para calcular el avance de mesa. Técnicamente se recomienda seleccionar un correcto avance por diente debido a que, si se escoge un avance bajo ocasionará un desgaste rápido de los dientes de la herramienta de corte, y si existe un avance excesivo ocasiona que la viruta se funda en los dientes de la herramienta de corte.

Tabla 15.
Avance / diente

Madera maciza	0.10-0.35
Madera seca	0.10-0.40
Plástico	0.04-0.06
Aluminio	0.05-0.12
Tableros MDF	0.06-0.12
Tableros de fibra dura	0.08-0.12
Tableros laminados	0.08-0.12

Fuente:(Maldonado Galarza, 2015)

$$S_z = 0.12 \left[\frac{\text{Avance}}{\text{Diente}} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

De acuerdo a la tabla número 15 se seleccionará un Avance/diente de 0.12 mm garantizando el mecanizado solo en materiales blandos, específicamente en tableros MDF y plásticos.

✓ **Velocidad de avance [Va]**

Denominado como el avance de la mesa, el cual el avance de la herramienta de corte respecto a la pieza en distancia por unidad de tiempo, se la calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Va = S_z * z * N = \frac{mm}{min} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$S_z = 0.12 \left[\frac{\text{Avance}}{\text{Diente}} \right]$$

$$z = 2 \text{ [numero de dientes de la fresa]}$$

✓ **Sección de viruta**

Tabla 16.

Normalización de las profundidades de fresado

ANCHO DE CORTE Y PROFUNDIDAD DE FRESADO

	Fresado con terminación y con única pasada	Fresado en desbaste	Fresado en afinado
Fresas cilíndricas	Todo el ancho de la fresa a=3mm	Todo el ancho de la fresa a= 5 a 8 mm	Todo el ancho de la fresa a=1 mm
Fresas frontales de mango	Ancho igual al diámetro de la fresa a= 2mm	La mitad del diámetro de la fresa a= 4mm	Igual al diámetro de la fresa a= 5mm
Fresas de disco	A= ancho de la fresa como máximo	A= la mitad del ancho de la fresa	A= 5% ancho de la fresa
Fresas de forma	A= todo el perfil en pequeñas formas	A=1 pasada 45%	A= 10 % de la altura de su forma

Fuente:(Maldonado Galarza, 2015)

De acuerdo a la tabla número 16 la profundidad de corte a= 4mm y un ancho de corte de b=2mm.

$$s_v = a * Sz \quad \text{Ecuación 4}$$

✓ **Fuerza de corte**

$$F_c = k_s * S_v \quad \text{Ecuación 5}$$

Para la constante de proporcionalidad se utiliza la siguiente formula

$$k_s = k_{s0} * e^{-b}$$

Ecuación 6

Tabla 17. Profundidad de fresado de acuerdo al material*Normalización de las profundidades de fresado*

MATERIAL	K_{s0} [N/mm²]	b´
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plástico - madera	19	0.3

Fuente:(Maldonado Galarza, 2015)

$$k_{s0} = 19 \frac{N}{mm^2}$$

$$b = 0.3$$

✓ **Espesor de viruta**

$$e = \left(\frac{v_a}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right)$$

Ecuación 7

*a = 4 mm profundidad de corte**b = 2mm ancho de corte*

$$k_s = k_{s0} * e^{-b}$$

$$Fc = k_s * s_v$$

✓ **Parámetros de corte del fresado**

Tabla 18.

Parámetros de corte del fresado.

Parámetros	Datos	Unidades
Velocidad de corte	160	m/min
Velocidad de avance	3849.79	Mm/min
Espesor de viruta	0.16779	Mm
Diámetro de la fresa	3/8	Pulgadas
Avance por diente	0.12	Mm
Sección de viruta	0.48	Mm ²
Número de dientes de la fresa	2	N/A
Velocidad del husillo	16040.81	RPM
Angulo de posición	90	
Fuerza de corte	21.2	N

✓ **PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA PLATAFORMA MÓVIL**



Figura 40. Diseño de una plataforma móvil Software C.A.D.

El peso de la plataforma omnidireccional viene referido por el peso de cada elemento que interviene en su implementación el cual se detallará un valor de referencia de acuerdo al valor obtenido en la tabla número 13.

$$w_p: \text{peso de la plataforma} = 7kg$$

Peso de cada rueda

$$w_{rueda\ 127mm}: \text{peso de cada rueda} = 0.48\ kg$$

La máquina herramienta que va a cortar y será colocada sobre la plataforma es 0.76kg.

$$w_{mototool}: = 0.76\ kg$$

La carga total de la plataforma tiene un valor inferior al peso de diseño propuesto razón por lo cual se asume un peso de 3 kg como extra para ajustar el peso máximo permisible.

$$W_{componentes} = w_{mototool} + w_{rueda\ neto} + W_{compeneteelctroni} \quad \text{Ecuación 1a}$$

$$W_{componetes} = 0.76kg + 1.44 + 3kg = 5.2\ kg$$

Para realizar el dimensionamiento correcto de la plataforma se considerará un factor de carga cuyo particular es sobredimensionar en cierto porcentaje de permisibilidad al diseño de sustentación del prototipo para que trabaje en condiciones no específicas y que no afecte el desempeño del mismo, es por ello que se consideró un factor de carga del 10 % para complementar el peso total del prototipo.

$$W_{diseño\ calculado} = (W_{TOTAL\ de\ la\ plataforma}) + (w_{total}) * f_{carga} \quad \text{Ecuación 2a}$$

$$W_{\text{diseño calculado}} = (7kg) + (5.2) * 1.1 \approx 12.72 \text{ kg}$$

$$W_{\text{diseño calculado final}} = 12.72 \approx 13 \text{ kg}$$

$$W_{\text{diseño calculado final}} = \approx 13 \text{ kg}$$

$$W_{\text{diseño calculado final}} = 13 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 127.53 \text{ N} \quad \text{Ecuación 3a}$$

Una vez determinado el peso de diseño calculado se verificará que el peso obtenido no supere al diseño propuesto al inicio de la sustentación de este capítulo.

$$W_{\text{diseño calculado}} \leq 146$$

$$127.53 \leq 146 \therefore \text{CUMPLE}$$

La fuerza de rozamiento estática y dinámica se lo obtiene mediante los factores con los nombres referidos en este apartado para superficies planas y el tipo de material en este caso es **MADERA/MADERA**

$$u_s = \text{coeficiente de fricción estático} = 0.7$$

$$u_k = \text{coeficiente de fricción dinámico} = 0.4$$

$$F_{rs} = u_s * W_{\text{diseño}} \quad \text{Ecuación 4a}$$

$$F_{rk} = u_k * W_{\text{diseño}} \quad \text{Ecuación 5a}$$

Una vez obtenidos los parámetros necesarios para el diseño de la plataforma móvil se considera oportuno para determinar que el peso aproximado de cálculo de solo los sistemas descritos en la tabla número 13 tiene un valor aproximado de acuerdo al valor promedio obtenido por el software de simulación C.A.D

Tabla 19.*Parámetros resultantes del cálculo de torque de la plataforma móvil*

ÍTEM.	DESCRIPCIÓN:	FORMULA	UNIDAD	VALOR
g	Gravedad		$\frac{m}{s^2}$	9.81
m_d	Masa de diseño permisible (máximo)		kg	15
$W_{permisible}$	Peso de diseño permisible	$P_d = m_d * g$		147N
Plataforma				
M_{p1}	Peso de la base de aluminio		kg	1.5
M_{p2}	Peso de la base Acrílico		kg	0.8
M_{p3}	Peso de rodamientos lineales, chumaceras, ejes, tornillo sin fin, corona		kg	0.8
M_{p4}	Peso de elementos de sujeción y bridas de sujeción		kg	0.5
M_{rue}	Peso de cada rueda omnidireccional *	0.48		1.92
	4		kg	
$M_{tplatfo}$	Peso total de componentes que integran la plataforma.		kg	<u>4.84</u>
Elemento externo a considerar				
M_{mot}	Peso de la herramienta de corte mototool o drill.		kg	<u>0.76</u>

CONTINUA

M_{t2elec}	Peso aproximado de elementos de control y electrónica	kg	<u>2</u>
W_{total}	Peso total del prototipo	kg	7.6
f	Factor de carga – sobredimensionamiento de un 10% para los componentes que integran la plataforma para condiciones no diseñadas los elementos que constituyen la plataforma	%	10
$M_{factcar}$	$M_{factcar} = M_{tplatfo} * 10\%_{sobredime}$	kg	5.324
$M_{diseño_cal}$	Peso de diseño calculado	kg	12.92 13
$W_{diseño_cal}$	$W_{diseño_cal} = M_{diseño_cal} * g$	N	127.53 N
Condicion de	$W_{diseño_cal} < W_{permisible}$	N	<u>CUMPLE</u>
Fuerza de rozamiento	F_{rs}	N	89.271 N
	F_{rk}	N	51.012 N

Una vez determinado el valor de la fuerza de corte o desbaste de materiales blandos en este caso madera en superficies planas y la fuerza necesaria para vencer la inercia del prototipo el torque total que deberán tener los actuadores mecánicos se sumarán las dos fuerzas resultantes, para ello utilizando un sistema de acoplamiento directo en el eje

del motor se asume que no existe reducción de esfuerzo sino solo transmisión de movimiento.



Figura 41. Ensamble rueda omnidireccional

$$T = (F_{rk} + F_c) * \frac{\phi_{llanta\ omnidireccional}}{2}$$

Ecuación 6a

$$T_{estatico} = (89.271 + 19.104) * \frac{0.127m}{2} = 6.88 Nm$$

$$T_{dinamico} = (51.012 + 19.104) * \frac{0.127m}{2} = 4.45 Nm$$

En donde el torque en cada rueda viene referido por el torque estático

$$T_{rueda} = \frac{T}{2} = \frac{6.88 Nm}{2} = 3.44 Nm$$

$$T_{rueda} = \frac{T}{2} = \frac{4.45 Nm}{2} = 2.225 Nm$$

$$1\ onza * pulga = 0.007062 Nm$$

$$3.44 Nm * \frac{1\ onza * pulg}{0.007062 Nm} = 487.11\ onzas * PULG$$

3.8.1 Selección De Actuadores Mecánicos.

Una vez determinado los cálculos del torque necesario para vencer la inercia y que no afecte cuando el prototipo realice el corte sobre una superficie de madera, por lo tanto, se considerará oportuno verificar la disponibilidad en el mercado del tipo de motor que se ajuste a los valores obtenidos razón por lo cual en la tabla número 20 se hace una breve descripción entre los actuadores con más opción de acuerdo al torque calculado.

Tabla 20.

Servo Motores vs motores paso a paso.

SERVO MOTOR O MOTORES ENCODER	MOTOR A PASOS CON CAJA PLANETARIA.
Control con realimentación	Control sin realimentación o en lazo abierto.
Alto par y potencia mediante bajas revoluciones	Alta potencia y alto par conseguido a bajas revoluciones por el acoplamiento de su caja planetaria.
Necesita de un Encoder que controla el número de revoluciones y frena en el punto exacto de acuerdo al control del motor	Motores con gran precisión controlado por pulsos
Precio moderado	Precio moderado
Bajo importación	Bajo importación

Se considerará como aspecto importante uno de los requerimientos del usuario el cual menciona que el prototipo debe cumplir con un grado de autonomía y beneficie la zona de trabajo mediante la activación de los actuadores de una forma precisa y coordinada para realizar el corte a detalle por tal motivo y por grado de autonomía los actuadores en DC son la mejor opción para el desarrollo del prototipo.

Tabla 21.
Ponderación Servo Motores vs Motores paso a paso.

Parámetro	Ponderación	servomotor		Motor pasos a con caja planetaria	
Precisión	30%	5	30%	5	30%
Funcionamiento	15%	4	12%	4	12%
Torque	25%	4	12%	5	12%
Vida útil	10%	3	6%	4	4.8%
Costo	20%	2	8%	5	20%
TOTAL	100%		68 %		78.8 %

De acuerdo a la Tabla número 21 y el cuadro de ponderación los actuadores con mayor opción a ser considerados en el desarrollo del prototipo router C.N.C portable se destacan por un nivel de interés de 78.8% los motores a pasos con caja planetaria por su singularidad de acoplamiento en la etapa de control por medio de pulsos y alto torque dotada por su caja planetaria, además se permite la activación mediante la configuración de señales por un firmware de control propio para motores paso a paso y bajo la supervisión de un driver de acoplamiento sencillo y de bajo costo similar a los controladores de alto costo los Router convencionales. Estos motores se debe considerar la compra e importación de acuerdo al torque de diseño y la relación de la caja planetaria con respecto al motor.



Figura 42. Motor Paso a Paso Con caja planetaria
Fuente: (shop, 2017)

Tabla 22.

Aspectos Técnicos Motor Nema con caja planetaria.

Aspectos Mecánicos		Propiedades externas del motor	
Motor	Paso a paso	Diámetro del eje	8mm
Angulo por paso	0.018	Peso	564 gramos
Torque máximo	48 kg·cm	Propiedades de la caja planetaria	
Velocidad máxima	34 RPM	Relación de transmisión:	de 482:1
Aceleración máxima:	1/16 steps/sec ²	Carga axial máxima del eje	49.1 New
		Carga radial máxima del eje	8.1 N
Aspectos eléctricos		Voltaje de alimentación	12 V DC
		Corriente máxima	1.7 A

Fuente: (shop, 2017)

3.8.2 Software de diseño y análisis C.A.D

Una vez diseñado el modelo 3D del prototipo es necesario realizar el análisis estático de los elementos de sujeción y acople de los subsistemas que conforma la plataforma móvil omnidireccional, donde se considera necesario comparar los valores obtenidos por el software de simulación y los valores calculados por formulas, de acuerdo a ello se validará el prototipo.

De acuerdo a la Figura 43 se debe recalcar que el movimiento del prototipo lo hacen dos ruedas donde el torque estático es considerado de esa manera para los futuros análisis de movimiento y ecuación de la planta permitiendo así obtener un mejor análisis del comportamiento y seguimiento de rutas de acuerdo a la movilidad que adquiera el diseño propuesto.

$$m_{\text{diseño maximo permisible}} := 15 \text{ kg}$$

$$W_{\text{diseño}} := m_{\text{diseño maximo permisible}} * g = 147 \text{ N}$$

$$T_{\text{rueda}} = \frac{T}{2} = \frac{6.88 \text{ Nm}}{2} = 3.44 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{rueda}} = \frac{T}{2} = \frac{4.45 \text{ Nm}}{2} = 2.225 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ onza} * \text{pulga} = 0.007062 \text{ Nm}$$

$$3.44 \text{ Nm} * \frac{1 \text{ onza} * \text{pulg}}{0.007062 \text{ Nm}} = 487.11 \text{ onzas} * \text{PULG}$$

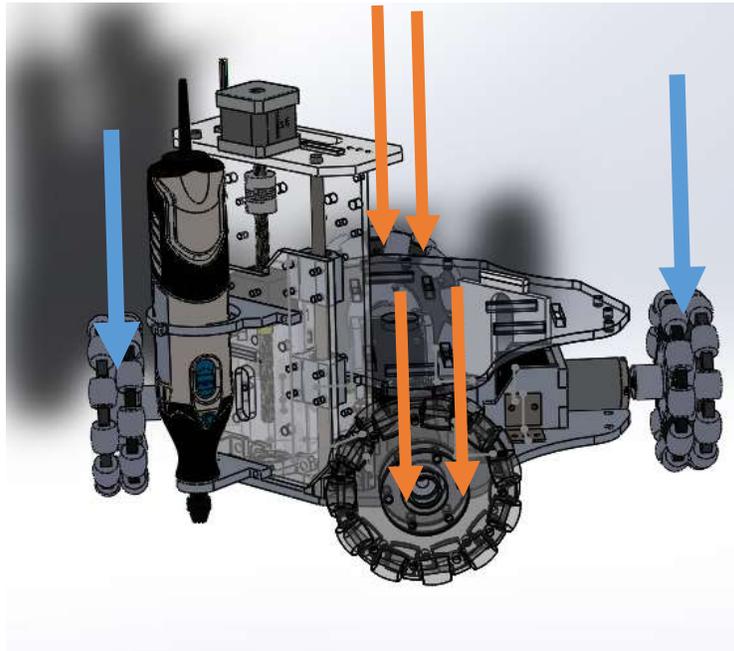


Figura 43. Diseño CAD- Router CNC Portable.

Este análisis de estudio mediante la utilización de un software de modelado C.AD se referirá sobre la teoría de Von Mises, desplazamientos resultantes, y factor de seguridad considerando los valores obtenidos de acuerdo a la inercia del prototipo y el desgaste del material.

✓ **Teoría de Von Mises**

Referido como teoría de la energía de distorsión máxima, donde de acuerdo a un punto establecido permite determinar la fluencia del material a considerar de acuerdo al diseño.

✓ **Desplazamientos resultantes:**

Indica el valor que se ha desplazado cada elemento respecto a su posición inicial. Los desplazamientos constan en dirección de los ejes X, Y y Z.

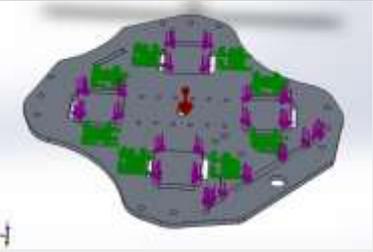
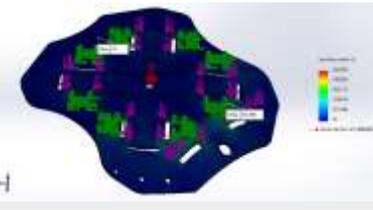
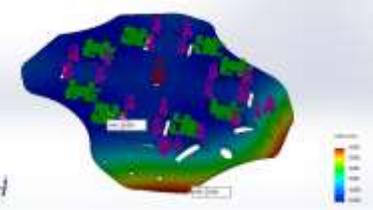
✓ **Factor de seguridad.**

De acuerdo al autor se determina como una medida de seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En tal virtud el esfuerzo que es sometido al elemento debe ser menor que el esfuerzo de diseño y con ello considerar como un diseño seguro de acuerdo a la resistencia del material.

a) Base inferior de la plataforma

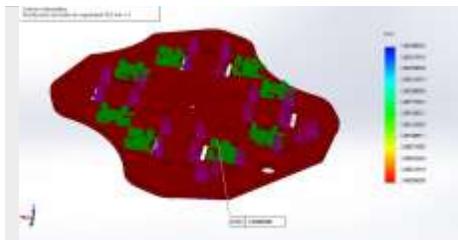
Tabla 23.

Propiedades de la base inferior.

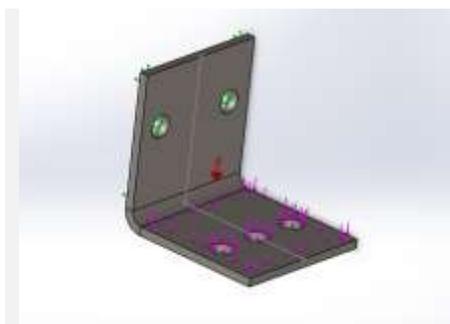
Base Inferior Aluminio.	Propiedades	
	Material	Aluminio 2014-T6
	Criterio de error	Tensión de Von Mises
	Límite elástico	415 N/mm ²
	Límite de tracción	470 N/mm ²
	Módulo elástico	72400 N/mm ²
Análisis : Tensión VON MISES		
	Min: 92.78 $\frac{N}{m^2}$	Max: 936.9 $\frac{N}{m^2}$
Análisis:Desplazamientos y deformacion		
	Min: 8.45 mm	Max: 23.5 mm

CONTINUA

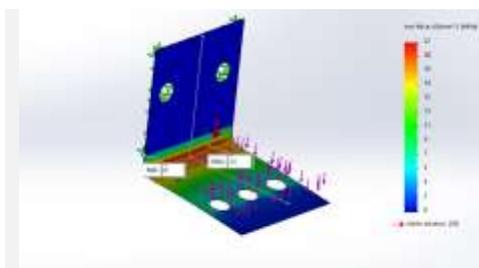


Análisis: Factor de seguridad.

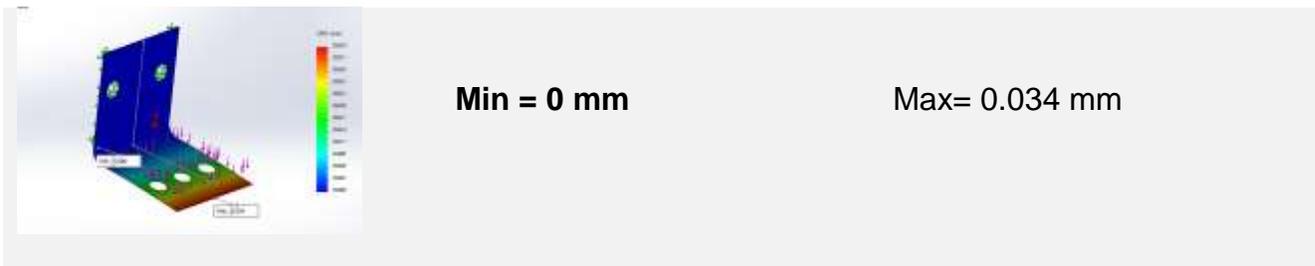
FS= 3

b) Bridas de sujeción.**Tabla 24.***Propiedades de la brida de sujeción***Brida de sujeción****Propiedades**

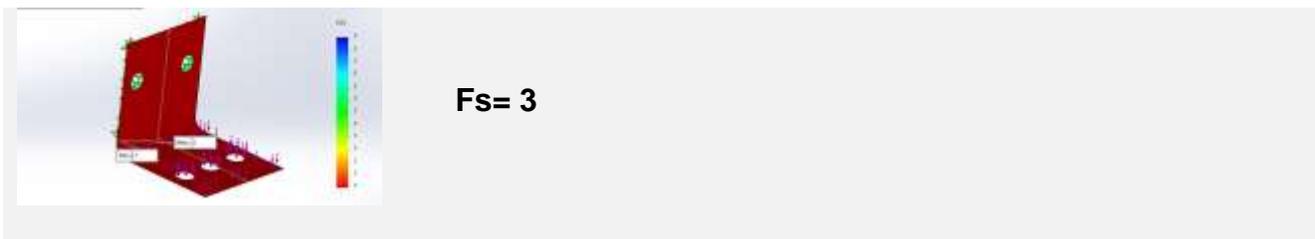
Material	ASTM A 36 acero
Criterio de error	Tensión de Von Mises
Límite elástico	250 N/mm ²
Límite de tracción	400 N/mm ²
Módulo elástico	200000 N/mm ²

Análisis : Tensión VON MISESMin: 0 $\frac{N}{m^2}$ Max: 22 $\frac{N}{m^2}$ **Análisis:Desplazamientos y deformación**

CONTINUA	➔
-----------------	---



Análisis: Factor de seguridad



c) Soporte secundario de la herramienta de corte.

Tabla 25.
Propiedades de la base soporte de la herramienta

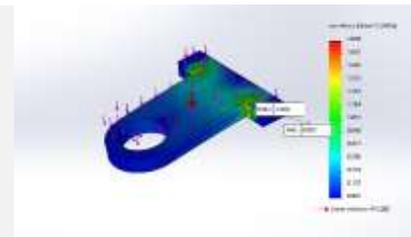
Referencia de modelo

Propiedades

	Material	Aluminio 2014-T6
	Criterio de error	Tensión de Von Mises
	Límite elástico	415 N/mm ²
	Límite de tracción	47 N/mm ²
	Módulo elástico	200000 N/mm ²

Análisis : Tensión VON MISES

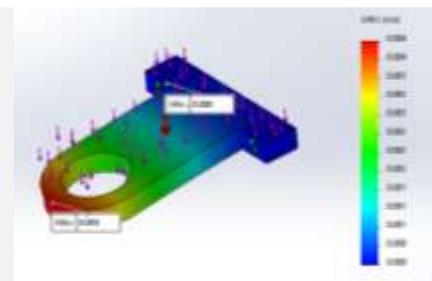
CONTINUA



Min: $0.001 \frac{N}{mm^2}$

Max: $2.030 \frac{N}{mm^2}$

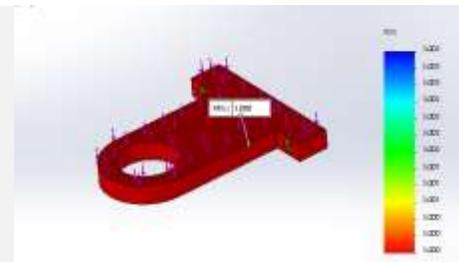
Análisis: Desplazamientos y deformación



Min= 0 mm

Max= 0.004 mm

Análisis: Factor de seguridad



FS=3

d) Base posterior soporte eje z

Tabla 26

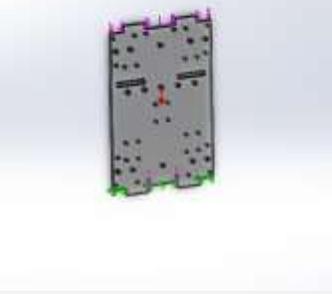
Propiedades de la base soporte eje z posterior

Referencia de modelo

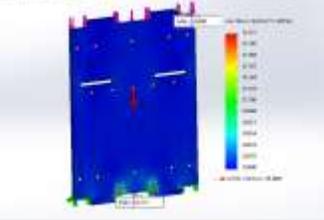
Propiedades

CONTINUA

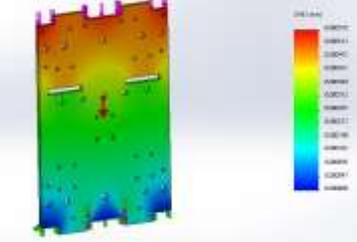


	Material	Acrílico Impacto medio-Alto
	Criterio de error	Tensión de Von Mises
	Límite elástico	45 N/mm ²
	Límite de tracción	73 N/mm ²
	Módulo elástico	3000 N/mm ²

Análisis : Tensión VON MISES

	Min: $0.001 \frac{N}{mm^2}$	Max: $0.215 \frac{N}{mm^2}$
---	-----------------------------	-----------------------------

Análisis:Desplazamientos y deformación

	Min= 0 mm	Max= 0.000570 mm
---	-----------	------------------

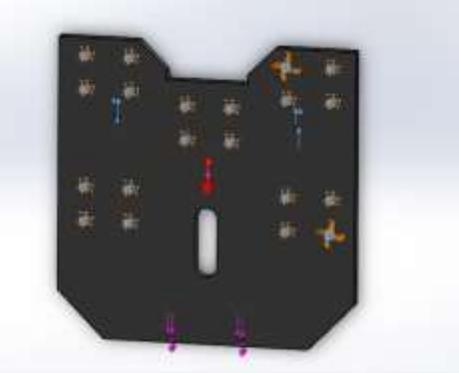
Análisis: Factor de seguridad

	Fs= 3
---	-------

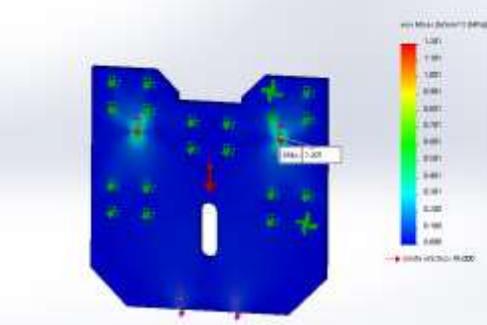
e) Base posterior soporte 2 eje Z

Tabla 27

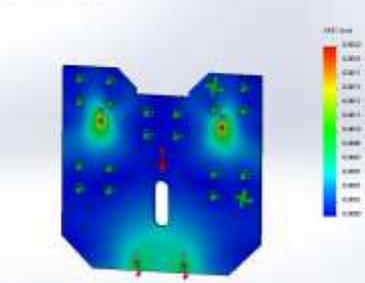
Propiedades de la base soporte 2 eje Z

Referencia de modelo	Propiedades	
	Material	Acrílico Impacto medio- Alto
	Criterio de error	Tensión de Von Mises
	Límite elástico	45 N/mm ²
	Límite de tracción	73 N/mm ²
	Módulo elástico	3000 N/mm ²

Análisis : Tensión VON MISES

	Min: $0.001 \frac{N}{mm^2}$	Max: $1.201 \frac{N}{mm^2}$
---	-----------------------------	-----------------------------

Análisis:Desplazamientos y deformación

	Min: 0 mm	Max: 0.000570 mm
---	-----------	------------------

3.9 Diseño Electrónico y de control

El diseño electrónico se divide en dos partes: Control y Potencia, refiriéndose como control todos los elementos o componentes que se encargan de recibir administrar y acondicionar las señales o pulsos. Mientras que potencia son los elementos actuadores que reciben la señal y se activan. La Figura 44 presenta un diagrama de bloques de los sistemas de control y de potencia del prototipo a implementar.

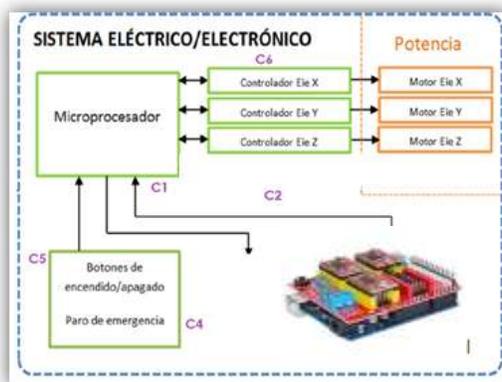


Figura 44. Sistema Eléctrico / Electrónico Prototipo

Mediante la obtención del código G con ayuda del software de vectorización el microprocesador analiza y envía las señales al driver de control y tarjeta CNC, activa a los actuadores mediante los pulsos referidos y con ello realiza el tallado. Los actuadores seleccionados para el prototipo Router CNC Portable responden de manera inmediata a la activación, estos actuadores son motores paso a paso Nema 17 bipolares donde su compatibilidad y acondicionamiento con la placa open Source Arduino Uno, módulo CNC y drivers A4988 permiten controlar de manera rápida y fácil.

3.9.1 Driver A4988

El driver A4988 de la marca comercial Polulu trabaja en un rango de voltaje de 8 -35 voltios y una corriente máxima de 2 Amperios valores idóneos para todo el control del sistema. Este driver de acuerdo a la Figura 45 se puede observar la conexión de un motor a pasos y el microcontrolador, este dispositivo electrónico dispone de un potenciómetro que sirve para regular la corriente de salida.

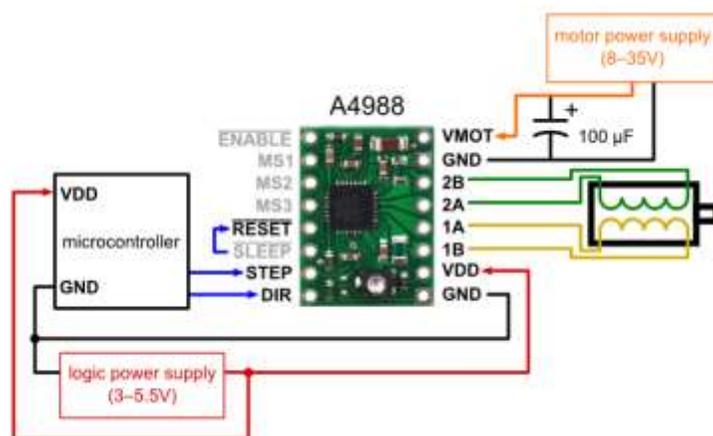


Figura 45. Driver A4988 Conexión De un Motor PaP
Fuente: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

3.9.2 Tarjeta de Control Principal – Arduino

La tarjeta Arduino es programada con un firmware de control llamado G.R.B.L, donde se encarga de almacenar el firmware de control para que la tarjeta del módulo CNC shield pueda recibir y dar paso del funcionamiento al driver controlador para enviar las señales de activación de los actuadores mediante pulsos, la tarjeta arduino controla el proceso para comunicación y edición del firmware de control, De acuerdo a la Figura 46 se detalla las principales características de una tarjeta Arduino.

Micro controlador	ATmega328
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de Entrada (Limites)	6-20V
Pines E/S Digitales	14 (6 proporcionan salida PWM)
Pines Analógicos entrada	6
Corriente pin E/S	40 mA
Corriente pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328)

Figura 46. Datos técnicos Arduino

Fuente: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

3.10 Módulo CNC

En la figura 47 se puede observar un módulo que ahorra la conexiones entre el driver de control y la tarjeta de mando Arduino, el enfoque de esta placa electrónica es acoplar con mayor facilidad los drivers de control para los actuadores, permite aumentar un duplicar un eje de acuerdo a la necesidad del prototipo a implementar, permite la activación de la herramienta de corte o husillo, lectura de finales de carrera por cada eje de acción entre otras prestaciones.



Figura 47. Modulo CNC shield y driver A4988

Fuente: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

3.11 Software para cargar el firmware GRBL.

Hoy en día existe muchos firmware de control desarrollados como hexadecimal y la necesidad de cargar en la memoria del microcontrolador por un puerto serial es útil la hora del uso alternativo de este tipo de software como lo es Xloader ya que sin el almacenamiento de la lógica de programación GRBL no se podría realizar el control de pulsos de varios actuadores características principal en el funcionamiento de prototipos Router CNC, el firmware seleccionado permite la interacción con la tarjeta de control Arduino e interpreta, edita y envía el código máquina a los drivers de activación mediante la modulación de pulsos. Ver en la figura 48 el firmware de control.



Figura 48. Software y firmware de control

3.12 Firmware GRBL.

Es un controlador para el desarrollo de router o fresadora con control numérico computarizado de alto rendimiento desarrollado bajo el criterio de código abierto este firmware es adaptable para Arduino, dispone de una versatilidad para la modulación de pulsos mediante el seguimiento de trayectorias en pocos recursos, se puede usar y configurar mediante un script de consola simple y su desarrollo fue pensado para ser utilizado en Windows, Mac o Linux.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DEL PROTOTIPO

En este capítulo se utilizará diagramas de procesos para la simulación, construcción e implementación del prototipo Router CNC portable. Por ello una vez realizado el diseño CAD se verificará el tipo configuración de ruedas omnidireccionales, dimensiones, centro de gravedad, posibles colisiones, peso total en kg del prototipo ensamblado, análisis de esfuerzos de los elementos con mayor interés de diseño, diseño y acoplamiento del eje z a la plataforma omnidireccional. Identificación y comparación de partes diseñadas con piezas y elementos reales.

El proceso de manufactura y tecnologías de la producción una vez aprobado el diseño CAD se considerará diagramas de procesos como:

- ✓ Corte por chorro de agua (CO)
- ✓ Taladrado (TA)
- ✓ Doblado (DO)
- ✓ Técnicas de ajuste y acabado (AA)
- ✓ Corte por láser (CL)

La implementación del prototipo se realizará por los elementos funcionales del sistema los cuales son Sistema Mecánico, Electrónico y movimientos básicos mediante la utilización del software de control a continuación se detalla en la figura 49 representa un diagrama del principio de funcionamiento que debe cumplir el prototipo previo al tallado personalizado donde el código G es enviado por medio de una comunicación serial

inalámbrica a la tarjeta de control principal, la configuración del firmware GRBL se lo hará mediante un script de control donde se configurará los parámetros necesarios para el buen funcionamiento de actuadores, drivers de control y corte a detalle preciso de acuerdo de la imagen seleccionada.

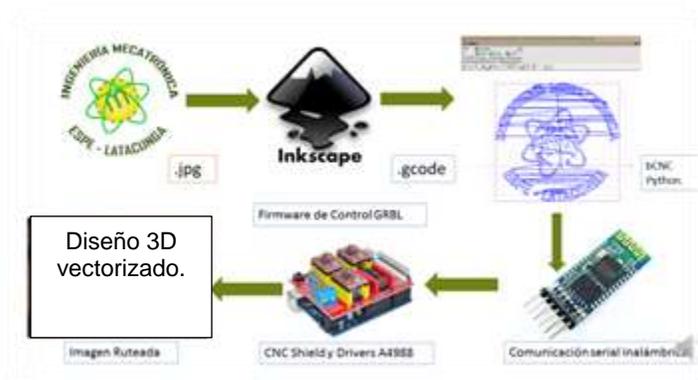


Figura 49 Principio de funcionamiento del Prototipo Router CNC

4.1 SISTEMA MECÁNICO

a) Diagrama de flujo previa a la implementación

El diagrama de procesos es una herramienta que permite la representación gráfica de las distintas operaciones que se realizarán a un material hasta obtener una pieza o producto terminado permite identificar lapsos de tiempo, verificación de resultados y toma de decisiones durante toda la etapa de construcción, por lo tanto para la implementación del prototipo desarrollado se estimó en siete nodos de verificación desde la parte de diseño, análisis y selección de materiales hasta la utilización de tecnologías descritas con anterioridad para el ensamble del prototipo final. De acuerdo a la Figura 50 se puede observar el diagrama de construcción e implantación

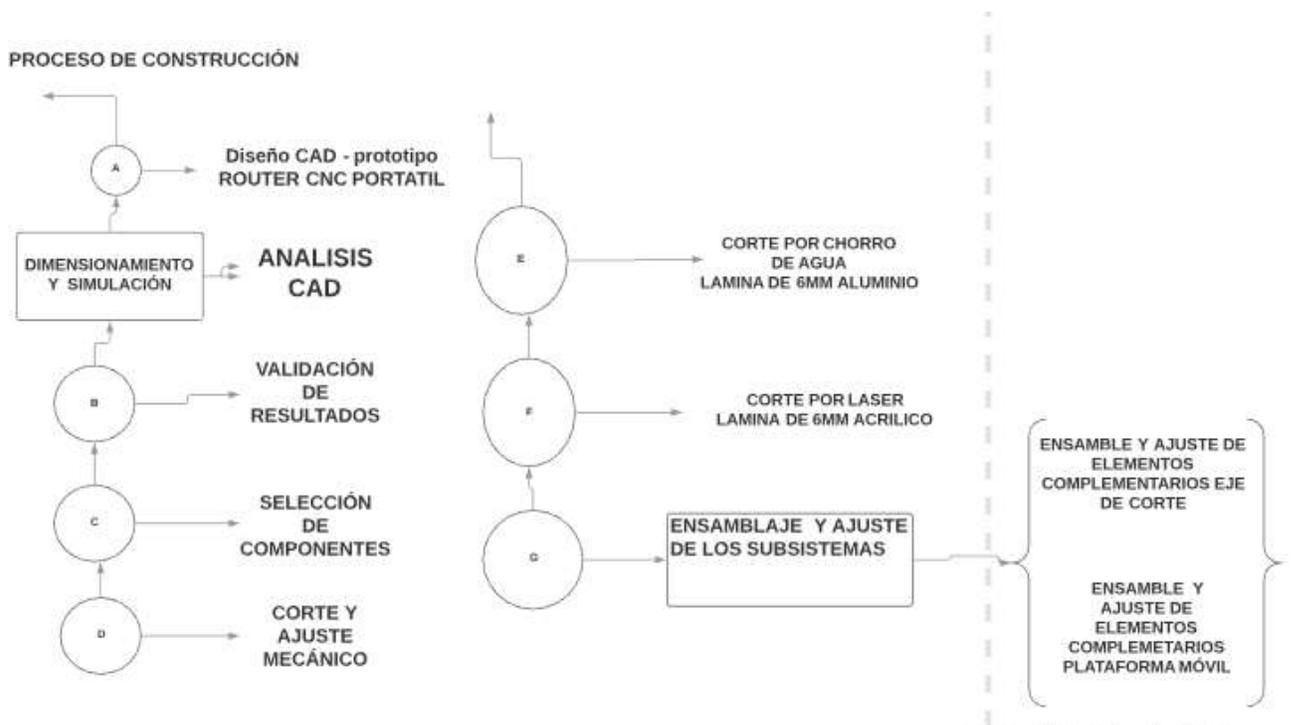


Figura 50. Diagrama de Procesos de construcción.

4.2 Diseño final - Software CAD.

Una vez realizado y evaluado el diseño final de la plataforma Router CNC portable y validado los resultados de los componentes que conforman la plataforma mediante un análisis de esfuerzos y tensiones de acuerdo a las tablas 23 a 27, se puede observar el diseño final del prototipo a implementar como se muestra en la Figura 51 donde el peso de simulación es 12.4 kilogramos. Cabe recalcar que los pesos de cada elemento son valores teóricos de materiales anexados al software de diseño, los materiales a utilizar en la implementación del prototipo es aluminio y acrílico con un espesor de seis mm, por tal motivo se estima mejorar la portabilidad del prototipo en el ensamblaje final.

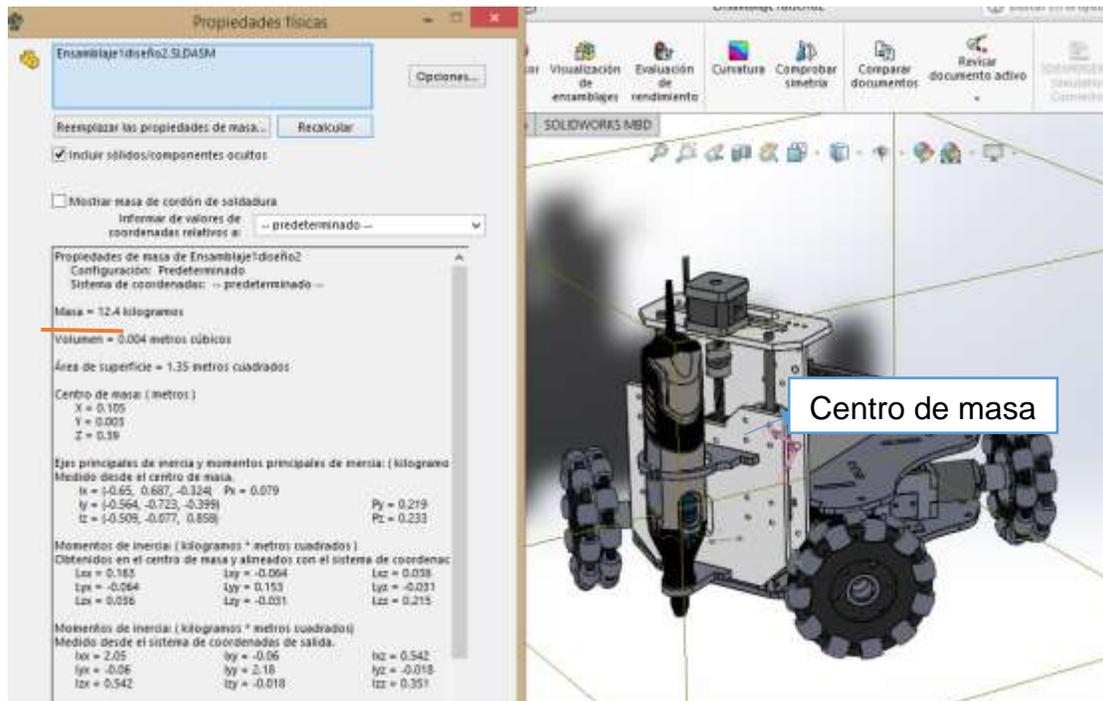


Figura 51. Análisis Software CAD – Diseño del Prototipo Final

4.3 Corte de piezas

Mediante la utilización de tecnologías (CO) y (CL) se puede observar el corte exacto de cada elemento diseñado, cabe recalcar que son piezas diferentes por el material acrílico y aluminio respectivamente con un espesor de 6 mm cabe donde se debe considerar que los tiempos de corte técnicas de ajuste y acabado son distintos para el ensamble del prototipo.



Figura 52. Corte de placas diseñadas en Acrílico mediante (CL)

De acuerdo a la Figura 52 se muestra los cortes realizados de la carcasa superior, bases para el eje z y acoples de apoyo.

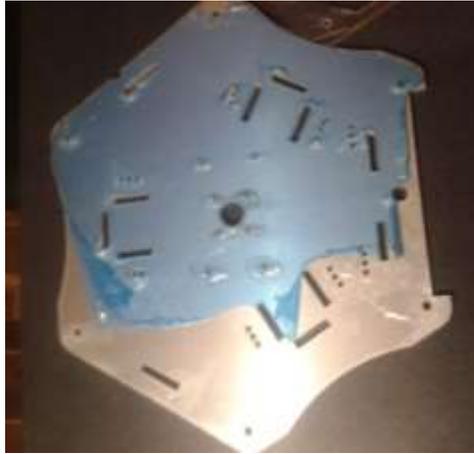


Figura 53. Corte de placas diseñadas en Aluminio mediante (CO)

En la Figura 53 se muestra los cortes a chorro de agua de la base del prototipo en aluminio los tiempos de corte y precios son relativamente considerables.

4.4 Ensamble de Componentes

De acuerdo a la figura 54 se detalla el prototipo final de acuerdo al diseño desarrollado por el software C.A.D como se puede observar el prototipo necesita de elementos de sujeción y herramientas manuales para el ensamble.



Figura 54. Ensamble de la plataforma móvil.

En la Figura 55 se puede observar que se debe acoplar de manera correcta los rodamientos y guías lineales para el óptimo desplazamiento de la camisa y base de soporte donde se colocará la herramienta de corte.



Figura 55. Ensamble del eje de corte.

De acuerdo a la Figura 56 se debe considerar la rugosidad de los rodillos que se encuentran en la periferia de la rueda por ello se recomienda lijar cada rodillo para tener mayor adherencia al piso o superficie donde se va a mover la plataforma omnidireccional brindándole estabilidad en el corte.



Figura 56 Rugosidad de la rueda.

4.5 Ensamble del prototipo final

Los motores paso a paso son acoplados de acuerdo a la configuración seleccionada sobre la base de aluminio de seis mm y asegurados con los perfiles guía y de soporte, junto con ello se utilizan y ajustan las bridas de sujeción sobre las perforaciones realizadas por una máquina de corte por chorro de agua CNC. Es muy importante recalcar que el prototipo desarrollado es incorporado un eje de corte o eje Z donde es necesario realizar la alineación de ejes cuyo objetivo es permitir el movimiento lineal sobre guías y rodamientos, se debe considerar que la sujeción entre la base de acrílico y los rodamientos se realiza con pernos y tuercas con el único objetivo de brindarle mayor estabilidad en el desbaste y perforado.



a) Vista Posterior



b) Vista Isométrica Lateral

Figura 57. Ensamble final del prototipo

4.5 SISTEMA ELECTRÓNICO

4.5.1 Identificación de bobinas de los actuadores

El motor paso a paso definido es del tipo bipolar es decir tiene dos bobinas internas y cuatro terminales con colores de identificación, técnicamente se denomina fases de conexión de acuerdo al diagrama estos motores NEMA 17 viene incorporado a una caja planetaria cuyo objetivo es aumentar el torque nominal del actuador.

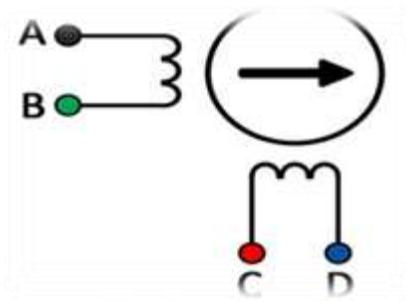


Figura 58. Conexión de fases motor a pasos
Fuente: (shop, 2017)



Figura 59. Montaje de los motores PaP al driver controlador.

4.5.2 Acondicionamiento del controlador A4988

Se debe considerar el valor de la corriente nominal del actuador, valores que son reemplazados en la siguiente formula

$$I = V_{REF} * 2.5$$

El voltaje de referencia (V_{REF}) se obtiene con la ayuda de un multímetro haciendo contacto en la carcasa del potenciómetro como se indica en la figura 39.

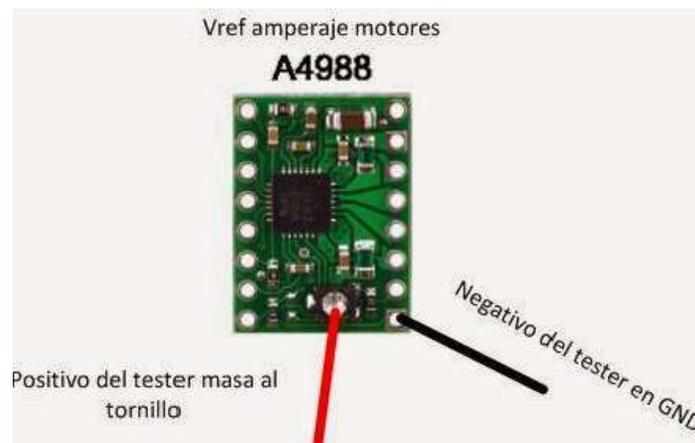


Figura 60. Calibración de la intensidad
Fuente: (Electronics, A4988 Stepper Motor Driver Carrier, 2017)

El actuador a controlar es el motor a pasos nema 17 acoplada a una caja planetaria por lo que se considera los datos técnicos detallados en la tabla 22, donde la corriente nominal de operación es 1.7 amperios, este valor se debe considerar para realizar el proceso de calibración

$$1.7 = V_{ref} * 2.5$$

Ecuación 1

$$\frac{1.7}{2.5} = V_{ref}$$

$$V_{ref} = 0.68 \text{ Voltios}$$

El resultado del voltaje de referencia es 0.68 se debe girar el potenciómetro hasta obtener una lectura similar de 0.6 voltios en multímetro se debe realizar el mismo proceso detallado en el método de calibración.

4.6 CONTROL DEL SISTEMA.

4.6.1 Modelado de la planta.

Para determinar el comportamiento del sistema mecánico del robot, se comenzará con el estudio cinemático, cuyo objetivo es describir la posición, velocidad y aceleración del sistema partiendo desde la representación del robot como un cuerpo rígido con ruedas ubicado en el plano horizontal (Figura 80.)

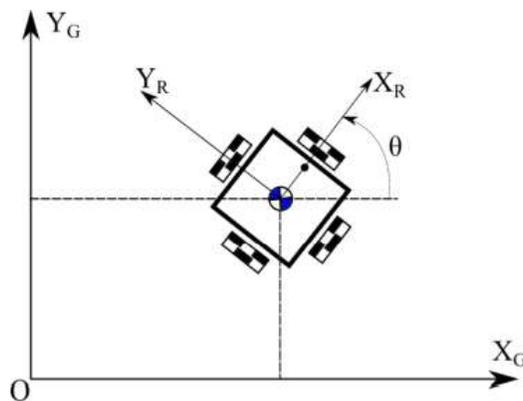


Figura 61.- Parámetros geométricos de un robot omnidireccional

Para modelar el sistema, se describe el modelo cinemático directo, donde a partir de la separación de las ruedas en igual dimensión de acuerdo al diseño CAD se considera un punto referencial del robot o el centro de gravedad posterior a ello se debe obtener las velocidades del robot, todo este análisis se lo realiza sobre un plano cartesiano general

X e Y. Posteriormente se analiza la cinemática inversa donde a partir de las velocidades generales, se define las velocidades en que giran las ruedas. En la figura 81 se puede observar el sistema de control de posición de un robot

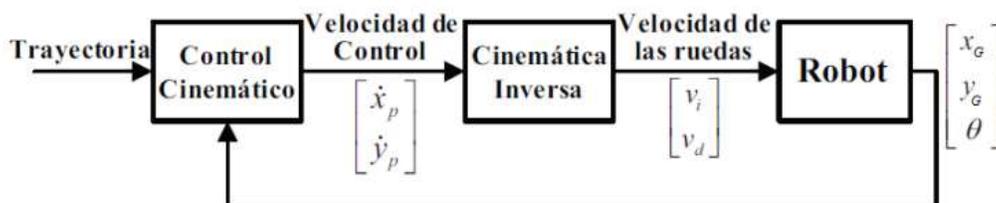


Figura 62. Diagrama de bloques del sistema de control de posición.

b) Marco de referencia del robot omnidireccional

Se requiere establecer las ecuaciones y matrices generales que referencian el robot respecto al plano donde se ubica, como se muestra en la Figura 63. Se muestra el Vector $\varepsilon_R = [X_R \ Y_R \ \theta_R]^T$ donde X_R y Y_R representan respectivamente la posición en los ejes X e Y del plano local del robot, el cual tiene su origen en el centro geométrico del mismo, mientras θ_R es la diferencia angular entre el marco de referencia local del robot y el marco global. Se tiene también el vector $\varepsilon_G = [X_G \ Y_G \ \theta_G]^T$ el cual representa el vector de posición en el marco de referencia global, donde X_G es la posición en el eje x del plano global, Y_G la posición en el eje y del plano global, el punto O es el origen del marco de referencia global y θ representa la diferencia angular del marco de referencia local del robot respecto al marco global. Como se puede observar en la Figura 63, el ángulo θ es igual a cero, por lo tanto $\omega = \dot{\theta} = 0$. Esta conclusión se determina por el diseño eléctrico del robot, donde las ruedas R1-R3 y R2-R4 están conectadas el paralelo, lo que impide que el robot rote, por lo tanto $\varepsilon_G = \varepsilon_R$

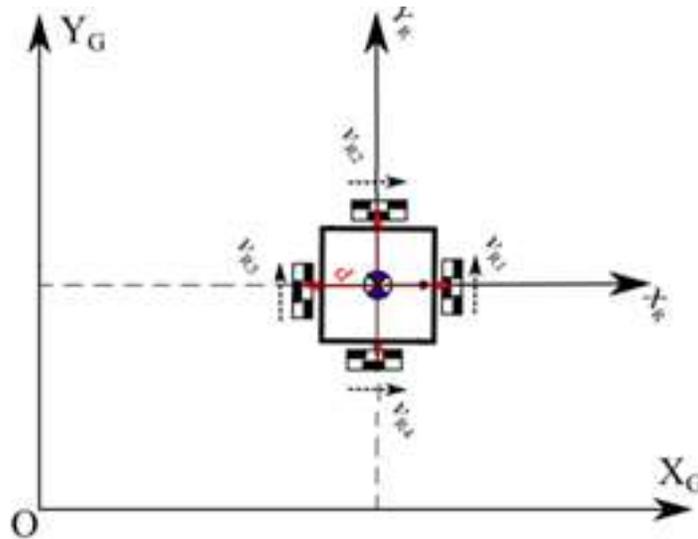


Figura 63.-Marco del robot a modelar

Lo que se busca es relacionar la velocidad angular de las ruedas y el movimiento del robot en el marco de referencia global, por lo que se define el vector V_R como el vector de velocidad lineal de las ruedas, donde el sentido de movimiento se puede observar en la Figura 82.

$$V_R = \begin{bmatrix} V_{R1} \\ V_{R2} \\ V_{R3} \\ V_{R4} \end{bmatrix}$$

También en la Figura 63 se presenta la distancia d , que es la existente entre el centro del robot y el centro de las ruedas. Finalmente, las ruedas del robot se consideran con un radio r , por lo que su velocidad lineal se relaciona con su velocidad angular como $V_{Ri} = r\omega_{Ri}$, donde ω_{Ri} es la velocidad angular proporcionada por el motor i a la rueda i .

Modelo Cinemático Directo

Se requiere relacionar la velocidad del robot respecto a la velocidad de las ruedas, para obtenerlo se considera la Figura 63. Con dos posibles escenarios:

- ✓ El robot se mueve en dirección al eje x

La velocidad de las ruedas R2 y R4 es nulo debido al diseño omnidireccional de las ruedas.

$$V_{R2} = V_{R4} = \dot{X}$$

- ✓ El robot se mueve en dirección al eje Y

La velocidad de las ruedas R1 y R3 es nulo debido al diseño omnidireccional de las ruedas

$$V_{R1} = V_{R3} = \dot{Y}$$

A partir de estas ecuaciones podemos obtener la velocidad del robot

$$V_{R1} + V_{R3} = \dot{X}$$

$$V_{R2} + V_{R4} = \dot{Y}$$

Considerando estas ecuaciones pueden obtenerse la relación entre la posición y la velocidad de forma matricial

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{R1} \\ V_{R2} \\ V_{R3} \\ V_{R4} \end{bmatrix}$$

Si se sustituye la velocidad lineal de cada rueda V_{Ri} por su velocidad angular ω_{Ri} , siendo el radio de la rueda r un factor común resulta:

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{R1} \\ \omega_{R2} \\ \omega_{R3} \\ \omega_{R4} \end{bmatrix}$$

✓ Modelo Cinemático Inverso

En base a la Figura 82 puede relacionarse V_R y $\dot{\epsilon}_R$ a través de la matriz B' donde

$$\begin{bmatrix} V_{R1} \\ V_{R2} \\ V_{R3} \\ V_{R4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix}$$

Para poder obtener el modelo cinemático inverso que proporcione la velocidad angular de las ruedas se utiliza la formula $V_{Ri} = r\omega_{Ri}$, considerando r como factor común, expresando lo siguiente

$$\begin{bmatrix} \omega_{R1} \\ \omega_{R2} \\ \omega_{R3} \\ \omega_{R4} \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix}$$

c) Principio de Funcionamiento GRBL

Algoritmo de Bresenham: Es un algoritmo diseñado para trazar rectas en cualquier ángulo dentro de un plano mediante el análisis de los píxeles con la forma de la imagen modificada. Técnicamente este algoritmo trabaja en primera instancia con la conversión de la imagen real a imagen matricial por píxeles permitiendo analizar los ejes verticales, horizontales donde identifican las posiciones, columnas del pixel ocupado, el algoritmo dibuja una recta píxel a píxel y en trayectorias cartesianas es decir lo hace punto por

punto. La utilización de este algoritmo es imprescindible en el funcionamiento del plotter, máquinas CNC. (Gonzalez, 2016)

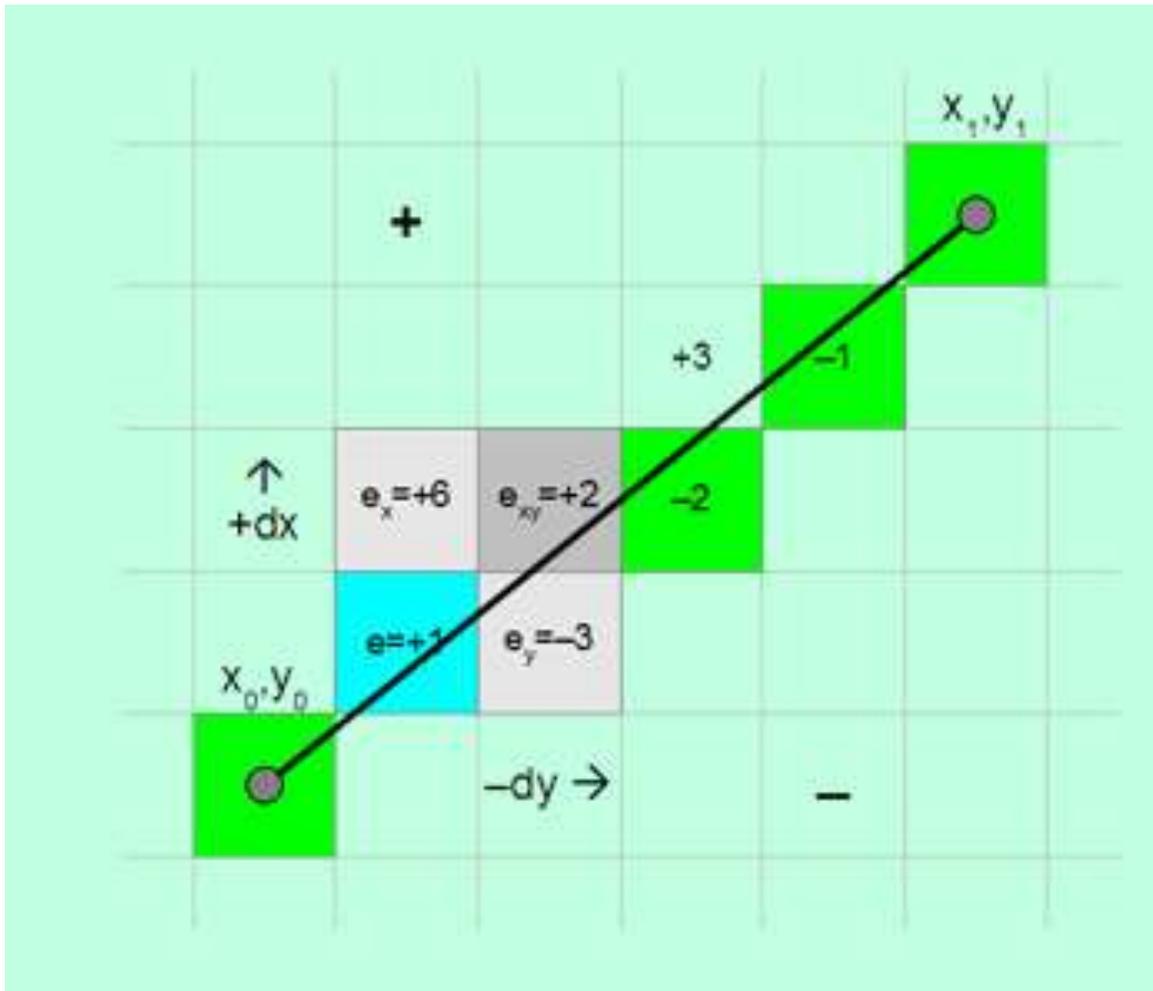


Figura 64.- Algoritmo de Bresenham- Comportamiento

Fuente: (Oscar, 2017)

Este algoritmo trabaja mediante cálculos incrementales con enteros que se pueden adaptar a la forma de la imagen convertida para realizar circunferencias y curvas. (Ver figura 84)

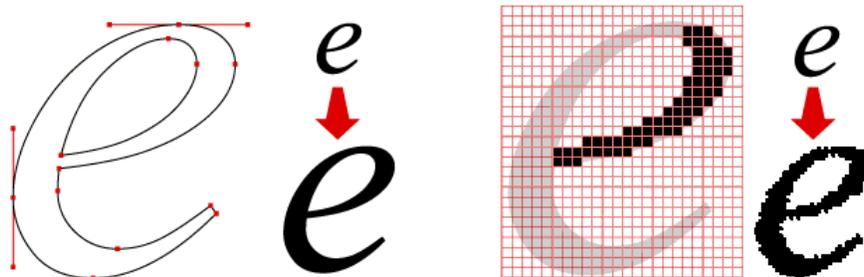


Figura 65.- Vectorización de la imagen real a Bit (Píxeles)

Fuente: (Pegatinas, 2016)

Mediante un ejemplo en el plano cartesiano se pondrá en claro como es el funcionamiento del algoritmo donde se requiere trazar una línea recta del punto (3, 4) al (17, 8).

Desarrollo:

De acuerdo a la Figura 85 El primer valor es del eje X = 3 y después de la coma es el valor del eje Y= 4 de acuerdo al plano cartesiano y los valores descritos con anterioridad se encuentra en zonas intermedias, el algoritmo analiza los píxeles próximos que ocupa la línea de la imagen este cuadro rojo representa a un píxel seleccionado por el algoritmo óptimo para sobreponer una línea recta hasta alcanzar los puntos de la posición final.

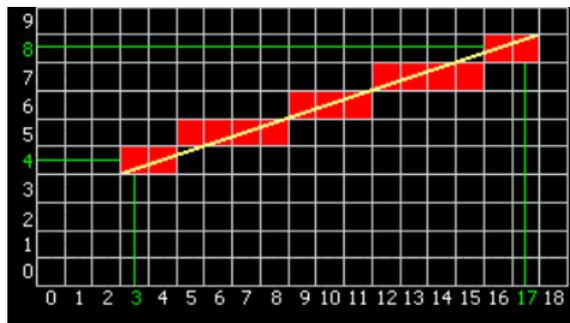


Figura 66.- Algoritmo Bresenham Solución Cartesiana.

Fuente: (Arévalo, 2011)

Se debe mencionar que el algoritmo trabaja en busca de dos píxeles con mayor acercamiento según la trayectoria de la línea de acuerdo a la Figura 66. Las posiciones de píxel a lo largo de la trayectoria de una línea se determinan al efectuar un muestreo de x en intervalos unitarios. Como se puede ver en la Figura 67 a. El algoritmo cumple con la trayectoria siempre y cuando no exista pérdida de información en el vectorizado de la imagen mientras que en la Figura 67 b. Existe una respuesta errónea del algoritmo porque existe pérdida de datos al momento de conversión de la imagen.

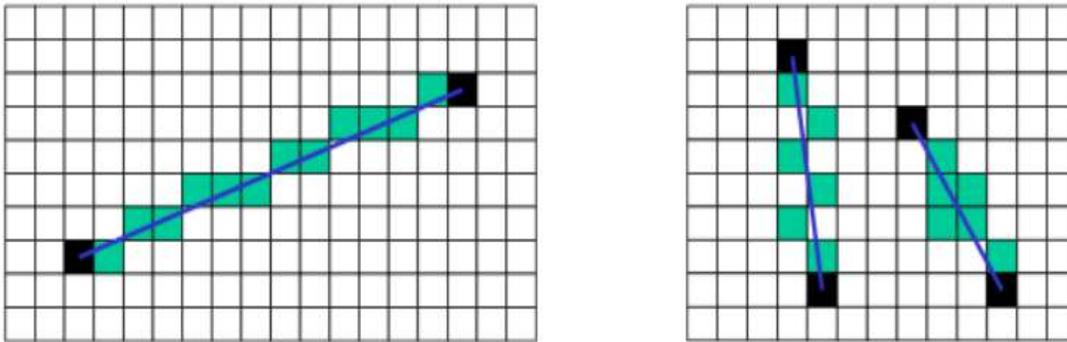


Figura 67.- Algoritmo Bresenham

a) Óptima Función

b) Función no favorable

- **Algoritmo DDA (Analizador Diferencial Digital)**

Es un algoritmo complementario a Bresenham donde permite calcular valores enteros más próximos correspondientes a la trayectoria de la línea para la siguiente coordenada, el incremento de X o en Y permite determinar los valores enteros más próximos y así anticipar una trayectoria de la línea. Es un algoritmo que se basa en el cálculo y la evaluación de un desplazamiento anticipados permitiendo así obtener formas con mayor complejidad de acuerdo a la Figura 87.

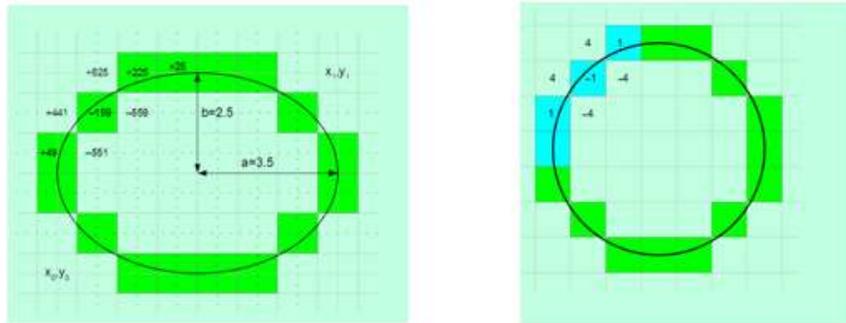


Figura 68.- Ejemplos de Desplazamiento

Fuente: (Gonzalez, 2016)

El firmware G.R.B.L usa el algoritmo de Bresenham para calcular el movimiento de los ejes donde permite subdividir los movimientos en una lista de líneas rectas y calcular la aceleración y frenada de cada segmento, en cada eje y al mismo tiempo convertir en una lista de trapecios para cada enviar mediante el módulo de control al driver de activación del actuador mecánico.

En tal virtud de acuerdo a la Figura 69 el firmware de control GRBL trabaja en forma periódica y continua durante todo el proceso de creación de trayectorias esta lista de trapecios se envían a la interrupción de timer, donde esos trapecios son ahora la cantidad de pulsos, a una velocidad definida para que los motores se muevan de forma coordinada. Todo esto se ejecuta de forma sincronizada y continua durante el proceso de tallado del prototipo Router CNC portable.

El control de pulsos se debe adaptar de acuerdo a la periferia de las llantas seleccionadas a la plataforma, se puede realizar pruebas para verificar el desplazamiento de la plataforma mediante un punto de referencia.

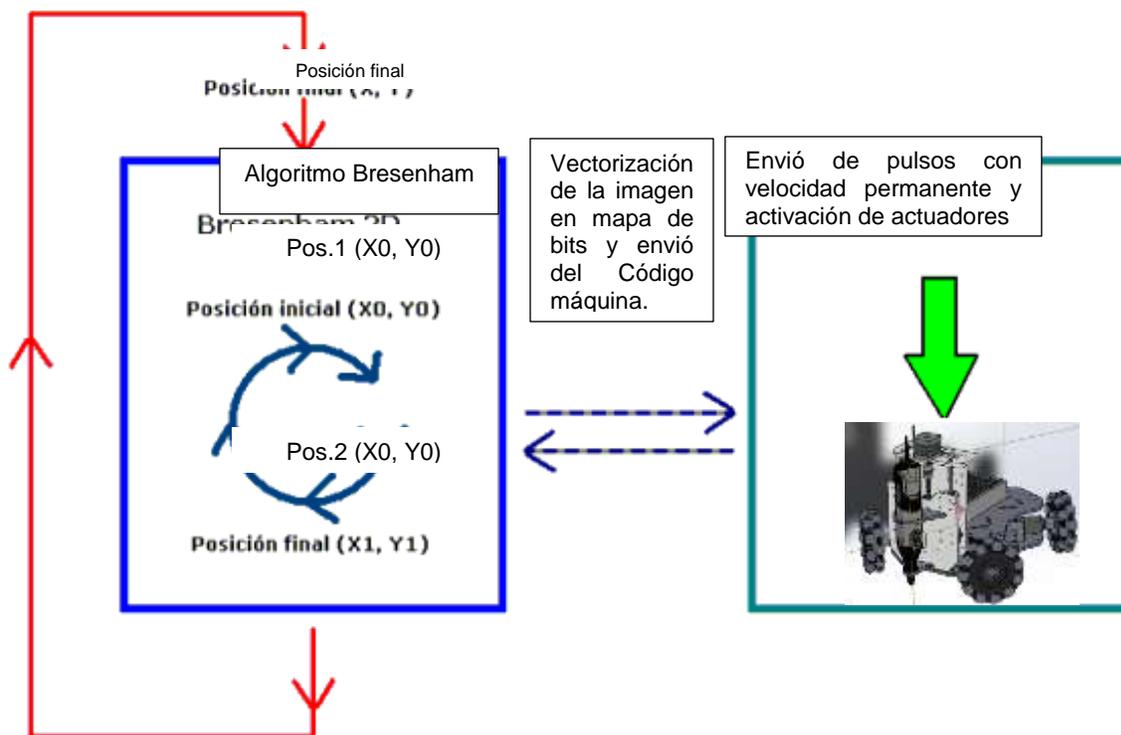


Figura 69.- Principio de Funcionamiento GRBL

4.6.2 Proceso de Carga del firmware GRBL a la placa Arduino

Se debe identificar el tipo de Arduino con el que se va a trabajar existe adaptabilidad para el Arduino uno y mega 2560 mediante la conexión de la tarjeta al ordenador si existe algún error en la placa no podrá ser reconocido mediante la asignación de la placa en un puerto de comunicación (verificar en administrador de dispositivos) caso contrario clic en el icono del Xloader, software que permite programar correctamente el microcontrolador de la placa Arduino con el archivo GRBL en la extensión (.HEX) o hexadecimal, se debe mencionar sobre la velocidad de transmisión de datos idónea (115200 baudios) como se muestra en la Figura 70.



Figura 70. Software Xloader Programador GRBL

El proceso de carga no demora más de diez segundos para finalizar y si no existe algún error se emitirá un mensaje en el programa Xloader específicamente los bytes que ha subido.

4.6.3 Software de vectorización de imágenes INKSCAPE

Inkscape es software de diseño gráfico donde se puede obtener, editar o personalizar gráficos vectoriales en cualquier formato, además el software con ayuda de unas extensiones propias del programa permite importar y exportar archivos en diferentes formatos como JPG, PNG entre otros.

Para la obtención del código máquina o código G de una imagen de su interés, se debe realizar un proceso de vectorización de imagen, se realiza una conversión de la misma en mapa de bits y se exporta el código G bajo la extensión Makerbot Unicom G-Code.

4.6.4 Procedimiento para obtener el código G de una imagen.

1. Clic en archivo y en propiedades del documento en breve aparecerá una ventana secundaria donde será necesario configurar los siguientes ítems

Unidad de visualización mm

Orientación horizontal / vertical.

Unidad px

Escalar 3.6

2. Clic en la ventana emergente en el icono de X se guardarán los cambios automáticamente si existe algún valor alterado en especial verificar el ítem escalar.
3. Clic en archivo y luego en importar imagen Seleccionar la imagen a vectorizar.
4. como es una guía práctica se aconseja buscar un dibujo de fácil vectorización y por ende poco código G para luego hacer el proceso de edición del código adquirido.
5. Una vez seleccionada la imagen a vectorizar se debe considerar la ventana emergente de importación ya que debe de colocar en tipo de imagen incrustar y modo de renderizado de imagen ninguno luego de ello aceptar y aparecerá la imagen que se defino a hacer esta prueba

6. Ajustar al tamaño de la imagen de acuerdo al área de trabajo considerada en el programa de diseño
7. Clic en trayecto y en vectorizar mapa de bits de forma inmediata aparecerá una ventana emergente donde se encuentran valores de luminosidad, umbral y colores no modificar ningún valor solo dar clic en Actualizar de manera inmediata aparecerá la imagen seleccionada desde un principio clic en aceptar y luego cerramos esa ventana emergente en el icono de X.
8. Una vez cerrado la última ventana realizar un zoom considerable hasta no distorsionar la imagen en nuestra pantalla.
9. Clic sobre la imagen seleccionada y mover a un lado se podrá observar que se duplicaron la imagen, esto quiere decir que los pasos anteriores están realizados de manera oportuna.
10. Mantener presionado clic normal y arrastrara la imagen a un punto diferente de la otra imagen copiada, deje de presionar el clic y debe de tener dos imágenes similares o idénticas
11. Una vez apartada la imagen real con la imagen vectorizada vamos a identificar la imagen que servirá para obtener el código G como, realizamos doble clic en cualquier imagen separada y veremos una diferencia muy atenuante la imagen real (imagen que no nos sirve) se enmarca toda la imagen en un solo recuadro la imagen vectorizada (imagen que sirve) realizamos doble clic y aparece unos puntos sobre la línea de la imagen.
12. Clic en la imagen real y eliminarla



Figura 71. Software Inkscape –

13. Clic en el icono del mouse o puntero y luego clic sobre la imagen vectorizada esto icono permitirá mover cualquier imagen en cualquier dirección podrá editar su tamaño tanto el ancho como el largo
14. Colocamos la imagen en un extremo del área de trabajo para simular el cero pieza de los tres ejes de acción.
15. Clic en trayecto e inmediatamente clic borde trayecto
16. Clic en archivo luego clic en guardar como escoger makerbot Unicorm G code.
17. Clic en aceptar y automáticamente le genera un archivo con la extensión. Gcode (puede abrir este documento creado en una nota rápida para realizar los cambios en el código). Ver Figura 72

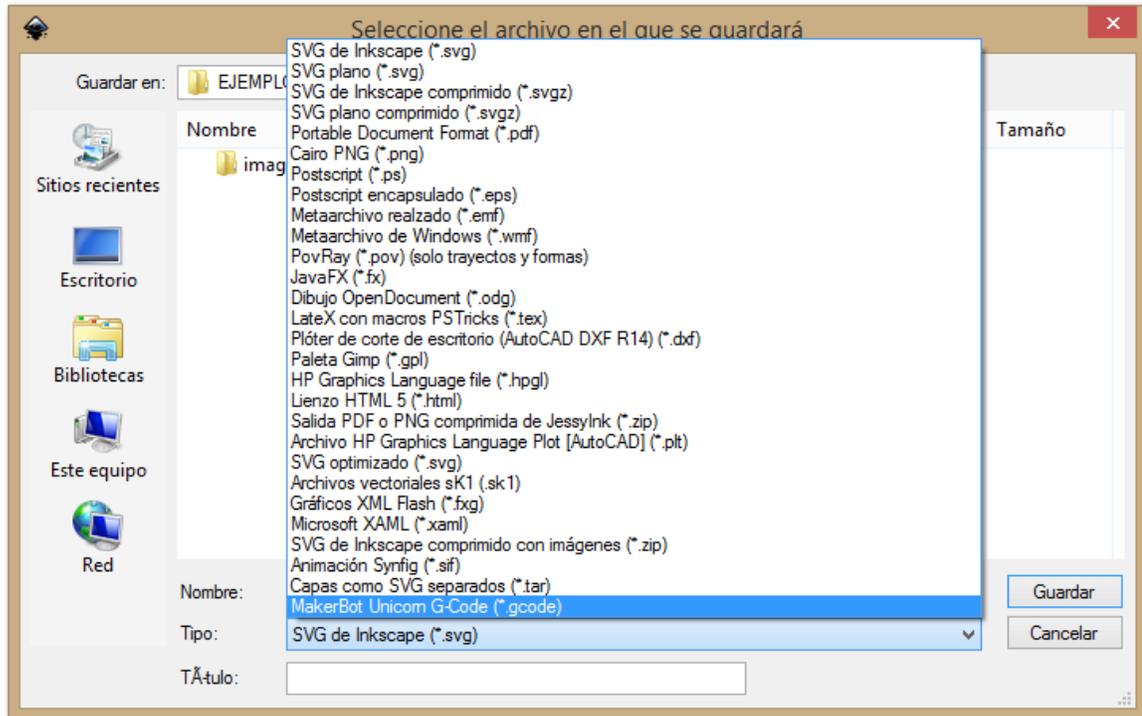


Figura 72. Software inkscape– Extension Unicorm Gcode

4.6.5 Script de control bCNC.

Un editor avanzado de códigos g adaptable para el firmware GRBL. bCNC es un programa versátil para sistemas operativos como Windows, Linux y Mac el código fuente fue desarrollado en Python. Presenta ciertas semejanzas con otros scripts de edición y envío de código G como G Code sender o GRBL controller cada script permiten editar el firmware de control, tener una interfaz de control y movimientos individuales por cada eje de acción. (Shapeoko, 2017)

4.6.6 Versatilidad y nuevas prestaciones

✓ Menú editor

Este script desarrollado en Python tiene la capacidad de un menú editor dentro del programa de mando, es decir puede editar sin la necesidad de un asistente o software CAD.



Figura 73. Software bCNC – Menú Editor

Características principales

- ✓ El botón insertar permite agregar líneas de código dentro de un bloque, duplicar bloques, eliminar bloques, habilitar o deshabilitar bloques para que estos no se ejecuten, pero sin borrarlos.
- ✓ Los botones de Subir y Bajar, cambian el orden en el que se realizar el proceso de corte en un bloque de código, esto permite personalizar el código G.
- ✓ La herramienta invertir, cambia el orden de los bloques seleccionados y no afecta al código G ya obtenido.
- ✓ La herramienta mover permite cambiar la posición de inicio de desbaste o fresado en un punto seleccionando.
- ✓ Establecer origen permite al usuario modificar el inicio del trabajo, de acuerdo a la posición que lo requiera.

- ✓ Herramientas de rotar y reflejar y botones que nos permiten invertir la dirección del corte.

Menú herramientas

✓ Características principales

- Esta herramienta permite configurar los materiales a maquinar y herramientas a utilizar cuyo objetivo es trabajar desde el editor propio de este script.
- Tiene ciertas prestaciones de compatibilidad ya que permite importar archivos .DXF o .SVG y soporte para STL. (TEXOLAB, 2017)



Figura 74. Software bCNC – Menú Herramientas

- Dentro de las opciones de diseño CAM, tenemos disponible las herramientas para hacer cortes, perfilados y taladrados realizar agujeros en una superficie aplanar superficies.

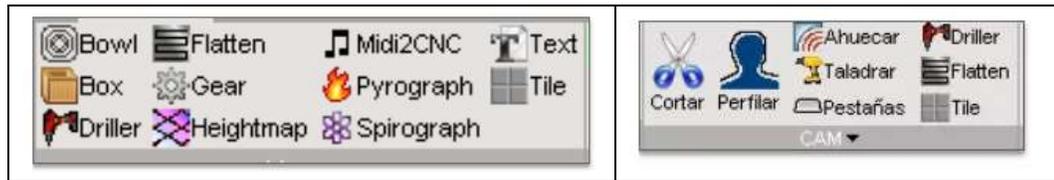


Figura 75. Software bCNC – Menú Herramientas

✓ Menú control

- Control individual de los movimientos de cada eje de corte, este script puede controlar sin mayor dificultad 3 ejes de acción.
- Botón de Inicio para activar siempre y cuando el operario edita, verifica y acondicionado el código G.
- Botón de Paro o Stop sirve para pausar completamente el corte de forma inmediata el control no demora mucho en responder esta acción si por algún motivo llega a presionar este botón el diseño deberá realizar de nuevo el corte o desbaste.
- Botón Pausa este botón tiene cierta complejidad permite interrumpir el proceso de corte, pero de igual manera que el botón de paro este no inicia el corte desde el último punto tallado debe iniciar desde un principio. esto es la pequeña desventaja que presenta este script de control.
- Barra indicadora, esta interfaz cuenta con una cuadrilla donde se puede verificar el tipo de conexión en baudios, e puerto COM y el firmware de control GRBL
- Si existe cierta conexión electrónica para activar la herramienta de corte se puede controlar la velocidad del mismo desde la interfaz del script.

- Permite identificar, colocar e iniciar en el punto pieza de corte a nuestra elección y verificar el desplazamiento en tiempo real.
- Desplazamiento mediante la utilización del botón factor multiplicador x10, x100 entre otros.



Figura 76. Software bCNC – Menú Control

De acuerdo a la Figura 76 El script de manejo y control de la plataforma omnidireccional es bCNC por el número de prestaciones descritas en anterioridad, los otros scripts de control son simples en comparación de bCNC, permite simular, editar y colocar el punto de origen previo al corte o tallado.

✓ Configuración de parámetros GRBL

Con ayuda del puerto terminal del script de control bCNC se debe ingresar una serie de comandos necesarios para configurar los parámetros es necesario digitar \$\$ estos parámetros son similares de acuerdo a la Figura 77.

```

$0=50.000 (x, step/mm)
$1=50.000 (y, step/mm)
$2=25.000 (z, step/mm)
$3=15 (step pulse, usec)
$4=135.000 (default feed, mm/min)
$5=135.000 (default seek, mm/min)
$6=100 (step port invert mask, int:01100100)
$7=15 (step idle delay, msec)
$8=999.000 (acceleration, mm/sec^2)
$9=0.050 (junction deviation, mm)
$10=0.100 (arc, mm/segment)
$11=25 (n-arc correction, int)
$12=3 (n-decimals, int)
$13=1 (report inches, bool)
$14=1 (auto start, bool)
$15=0 (invert step enable, bool)
$16=0 (hard limits, bool)
$17=0 (homing cycle, bool)
$18=0 (homing dir invert mask, int:00000000)
$19=300.000 (homing feed, mm/min)
$20=300.000 (homing seek, mm/min)
$21=100 (homing debounce, msec)
$22=1.000 (homing pull-off, mm)

```

Figura 77. Parámetros configurables GRBL

Cada comando de acuerdo a la lista descrita en la figura 49 son editables mediante la utilización del código: \$ y *número de item a configurar* : es decir los parámetros \$0, \$1, \$2 representan los pasos por milímetro de la máquina a controlar en el eje Z, estos valores deben ser sustentados mediante la utilización del siguiente análisis matemático

$$P = \frac{P_m}{p}$$

Donde:

$$p = \text{paso del eje roscado Z}$$

$$P_m = \text{paso por revolucion del m PaP}$$

Sustituyendo

$$p = M8 * 1.25$$

$$P_m = 200$$

$$P = 200 \frac{\text{step}}{\text{rev}} * 0.8 \frac{\text{Rev}}{\text{mm}} = 160 \frac{\text{step}}{\text{mm}}$$

El valor calculado será ingresado al firmware de control mediante el puerto terminal es: \$2 = 160 .

Velocidad de avance. - De acuerdo a la Tabla de Torque Vs Velocidad del motor Nema 17 utilizado en el eje Z referido en el Anexo número 3 el motor puede llegar aproximadamente a 750 revoluciones por minuto valor útil para la velocidad de avance.

$$w = 750 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$w = 750 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$w = 12.5 \frac{\text{rev}}{\text{seg}}$$

$$V = w * p$$

Sustituyendo

$$p = 1.25 \text{ mm/rev}$$

$$V = 12.5 \frac{rev}{seg} * 1.25 \frac{mm}{rev}$$

$$V = 15.625 \frac{mm}{seg} * \frac{60 seg}{1 min} = 937.5 \frac{mm}{min}$$

Este valor se ingresa en los comandos \$4, \$5 de la configuración de GRBL, de igual manera se debe considerar en NO exceder estos valores de referencia ya que reducimos la vida útil del motor a pasos.

Aceleración de la máquina: Se debe considerar el tiempo de aceleración del motor y la velocidad máxima, pero para la configuración del GRBL del prototipo omnidireccional no es necesario

$t = 0.15 s$ Tiempo de aceleración

$$a = \frac{V}{t}$$

$$V = 15.625 \frac{mm}{seg}$$

$$a = \frac{15.625 \frac{mm}{seg}}{0.15 seg} = 104.146 \frac{mm}{seg^2}$$

El valor de aceleración de la máquina se coloca con el comando \$8=25, para concluir con la configuración el comando \$16=1 permite habilitar la lectura de los finales de carrera conectados a la tarjeta CNC, en tal virtud los valores configurados permiten hacer pruebas de movimiento al prototipo.

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

La plataforma omnidireccional móvil debe cumplir varias pruebas para hacer válido su funcionamiento y operación de desbaste, mediante la verificación de variables como precisión, desbaste de líneas rectas, diseños personalizados de acuerdo a la imagen vectorizada, el cumplimiento de estos puntos tendrá su validez práctica y teórica. Se refiere a sustentación teórica donde se utilizará el método de control estadístico referido como cartas de control o características de calidad donde permite observar, analizar el comportamiento de un proceso y toma de decisiones. (|, 2017)

Es necesario mencionar que para la validez práctica no se realiza operaciones de desbaste en largos periodos de tiempo limitante acreditado a la herramienta de corte adaptada en el eje Z cuyo rango de operatividad es de 3 horas, a ciclo continuo 30 minutos y un descanso de 15 minutos por ello se utilizará imágenes de un nivel de complejidad medio. La carta de control a utilizar es promedio de las muestras y el rango de variación de medidas.

5.1 Fórmulas para hallar los límites estadísticos y rangos

$$LS = \bar{\bar{x}} + 1 * (\bar{R}) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$LI = \bar{\bar{x}} - 1 * (\bar{R}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde.

- f) $LS_{\bar{x}}$ = Límite superior del promedio
- g) $LI_{\bar{x}}$ = Límite inferior del promedio
- h) $\bar{\bar{x}}$ = Valor promedio

i) $\bar{R} =$ Desviación estándar (Rodas, 2016)

a) Control de corte Eje X.

Se realiza ranuras simultáneas de 50 mm de longitud con un espacio entre cada desbaste, como es una etapa de prueba y control de precisión es necesario realizar mediciones con varios elementos de medida, estas mediciones son comparadas entre un calibrador digital, una regla numérica y una cinta métrica o flexómetro para esta prueba se utiliza intervalos de tiempo de 5.2 segundos para un desbaste normal y 2.05 segundos para un desbaste considerado como rápido.

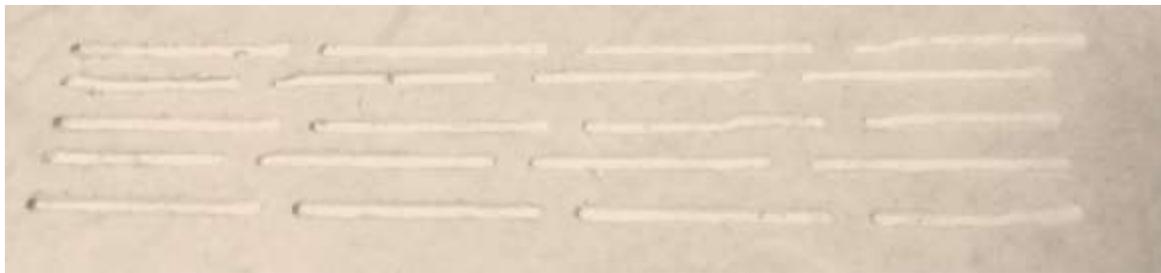


Figura 78. Prueba de desbaste Eje X

Tabla 28.

Valores de medidas de corte eje X

muestras	M1 mm	M2 mm	M3 mm
1	50.2	49.9	50
2	38.2	40	39.4
3	49.3	49.2	49.9
4	38.2	39.3	40.3
5	50	49.6	49.8
6	48.5	48.56	49
7	50	49.9	49.96
8	50	49.7	49.8
9	45.6	45.8	45.9
10	48.5	48.4	48.2
11	49.9	50	49.6

CONTINUA



12	50	50	50
13	49.5	48.5	45.3
14	49.05	49.1	50
15	45.4	45.5	45
16	50	50	49.8
17	49.5	49	50
18	40	39.89	39
19	45	45.3	45.24
20	50	49.8	49.05

Tabla 29.

Valores para cálculo de control eje x

Valor	promedio	LSC	LIC
50.0	40	51.0965436	43.5551231
39.2	45	51.0965436	43.5551231
49.5	45	51.0965436	43.5551231
39.3	45	51.0965436	43.5551231
49.8	45	51.0965436	43.5551231
48.7	45	51.0965436	43.5551231
50.0	45	51.0965436	43.5551231
49.8	45	51.0965436	43.5551231
45.8	45	51.0965436	43.5551231
48.4	45	51.0965436	43.5551231
49.8	45	51.0965436	43.5551231
50.0	45	51.0965436	43.5551231
47.8	45	51.0965436	43.5551231
49.4	45	51.0965436	43.5551231
45.3	45	51.0965436	43.5551231
49.9	45	51.0965436	43.5551231
49.5	45	51.0965436	43.5551231
39.6	45	51.0965436	43.5551231
45.2	45	51.0965436	43.5551231
49.6	45	51.0965436	43.5551231

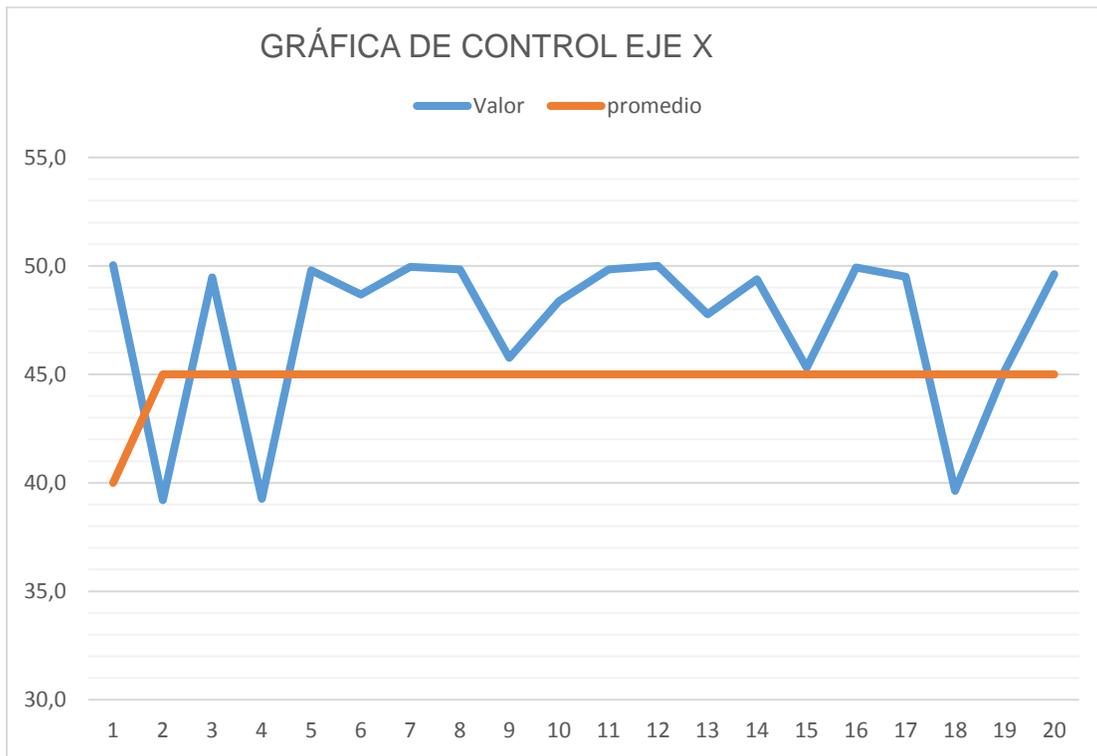


Figura 79. Diagramas de control Eje X

La gráfica de control del eje X cuando el tiempo de desbaste es alto de acuerdo a la velocidad de avance de los actuadores tienen una efectividad del 100 %, caso diferente con el tiempo más corto, la medida de corte meta es de 50 mm donde 12 desbastes cumplen con lo requerido con un total de 20 muestras, con ello se puede determinar que la plataforma móvil omnidireccional accionado en el eje X cumplen su función de operatividad bajo un intervalo de tiempo normal.

b) Control de corte Eje Y.

La prueba de corte se realizará con los mismos parámetros que el enunciado anterior, pero con una longitud máxima de 30 mm.



Figura 80. Prueba de desbaste Eje Y

Tabla 30.

Valores de medida para el control del eje Y

Muestras	M1 mm	M2 mm	M3 mm
1	28.2	29	30
2	25	25.6	25.3
3	25	25.2	25.02
4	34	35	35.2
5	30	30	30
6	30	30	30
7	30	30	30
8	30	30	30
9	30	30	30
10	30	29.9	29
11	28	28.4	28,6
12	30	29.8	29.92
13	30	30	30
14	25	26.8	28.8
15	28	29	30
16	30	30	30

Tabla 31.

Valores para el cálculo control del eje Y

Valor	promedio	LSC	LIC
29.1	25	26.6879282	23.3120718
25.3	25	26.6879282	23.3120718
25.1	25	26.6879282	23.3120718
28.2	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718
29.6	25	26.6879282	23.3120718
28.2	25	26.6879282	23.3120718
29.9	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718
26.9	25	26.6879282	23.3120718
29.0	25	26.6879282	23.3120718
30.0	25	26.6879282	23.3120718

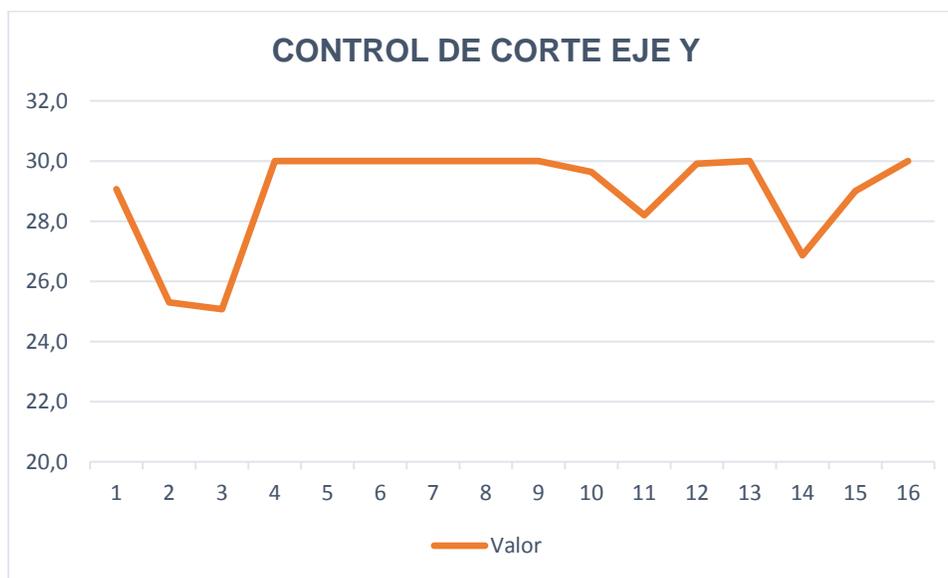


Figura 81. Diagramas de control Eje Y

De acuerdo a varios ajuste en la velocidad de corte, numero de pulsos de cada actuador mecánico y el desplazamiento lineal de la rueda a partir del diámetro permite

mejorar el acabado de cada diseño a desbastar, el factor importante a cumplir por el prototipo es su nivel de precisión ya que en las gráficas de control “X” y “Y” se puede observar muestras que no sobrepasan el rango límite de medida, existe una diferencia de $\pm 0.05mm$.

5.2 POSICIONAMIENTO AL CORTE

En esta ocasión se considera el posicionamiento parámetros de configuración inicial como determinación del cero pieza, velocidad de avance, envió del modo home de los ejes coordenados en los dos prototipos. Como se puede observar en la figura 82 a se muestra el posicionamiento del cero pieza de un router CNC industrial para lo cual se demoró 25 segundos antes del tallado. Se debe referir un tiempo para asegurar el material a cortar sobre la bancada del router, este tiempo no se lo considerará ya que servirá para cortar detalles sobre la misma plancha de 2.20 x 1.50 metros a relación del prototipo portable que fue colocado dentro del área de corte permisible listo para iniciar las pruebas de tallado con un tiempo de diez segundos previo ya conectado mediante la comunicación serial, el posicionamiento del cero pieza se lo realiza por el script de mano y control.



a. Router CNC industrial

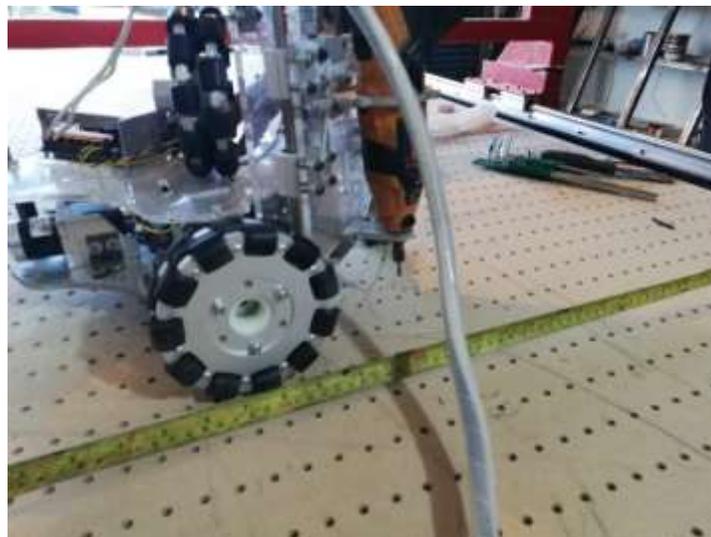


b. Router CNC portable

Figura 82. **Parámetros de configuración inicial**

5.3 CONFIGURACIÓN DE MEDIDA

Como se puede observar en la figura 83 con ayuda de un sistema de referencia se puede determinar el avance correcto de la plataforma móvil mediante la utilización de una técnica de sincronización similar a los router convencionales es decir si la cantidad de pulsos enviados a los actuadores mecánicos es la correcta el desplazamiento enviado será el mismo desde un punto de referencia.

Figura 83.- **Pruebas de calibración Eje X.**

Esta práctica de calibración se pudo realizar al prototipo portable en esta ocasión los números de pulsos eran 50 pulsos/mm y una velocidad de avance de 80 mm/min para verificar la efectividad de la trayectoria solicitada se utilizó un metro y como punto de referencia la herramienta de corte o fresa. Ver Figura 83.

5.4 PERPECTIVA Y PORTABILIDAD.

En función de los lineamientos descritos como router con control numérico computarizado portable el desarrollo de la plataforma robótica móvil acoplada a un eje Z tiene mayor realce en cuanto al espacio de un router comercial y de tipo de industrial para lo cual de acuerdo a la figura 84 se puede observar el área que ocupa el prototipo diseñado sobre un router de grandes dimensiones.

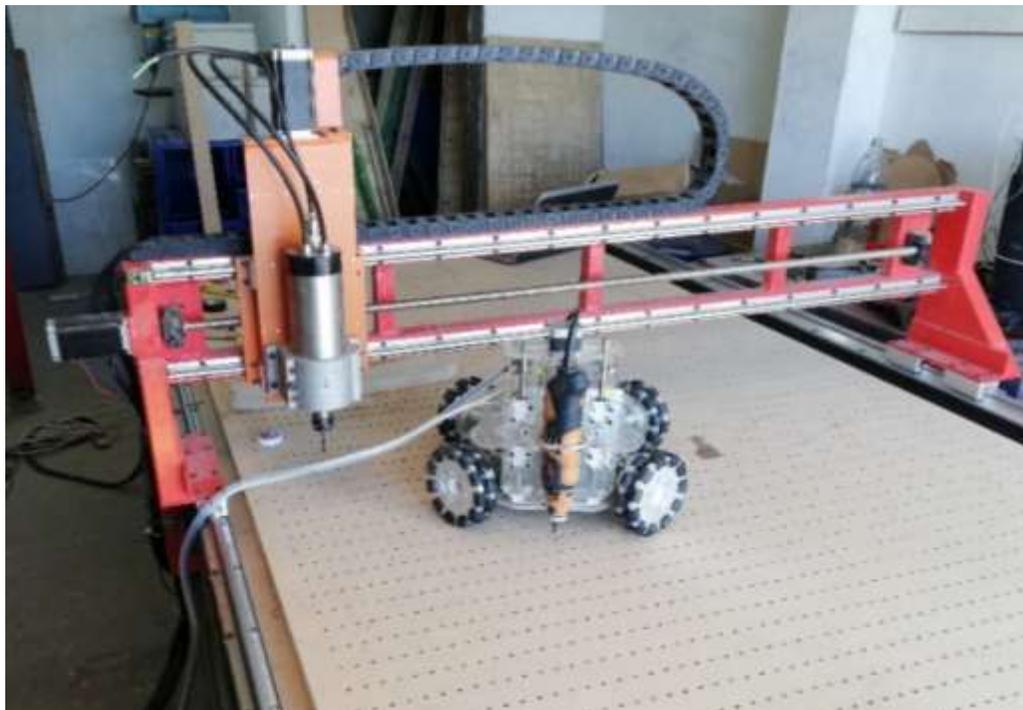


Figura 84- Perspectiva de áreas

5.5 CORTES DE DISEÑOS PERSONALIZADO.

✓ Diseños vectorizados sin escalamiento.

Para este análisis se considera tres diseños pequeños sin realizar el escalamiento de acuerdo a la Figura 85, se puede observar los diseños ruteados con el prototipo desarrollado donde se considera imágenes con vértices rectos y líneas curvas, la prueba consistirá en medir el tiempo de desbaste entre el prototipo Router CNC portable y un Router CNC convencional y verificar su nivel de tallado.



a) Estrella 50x50 cm



b) Circulo 60 cm de diámetro



c) Conejo 80 x90 cm

Figura 85 Corte de diseños con vértices rectos y líneas curvas

Tabla 32.*Figuras de prueba*

PARÁMETROS		R1 (seg)	R2 (seg)
D1	ESTRELLA	129	300
D2	CONEJO	240	360
D3	CUADRADO	180	240

Donde:

D1 = Diseño número 1

R1= Router número 1.

Tabla 33.*Resultados de las pruebas*

SEGUNDOS							
	D1	D2	D3	PROMEDIO	META	DESVIACIÓN	%MEJORA
Router CNC	300	360	240	300	240	60	25%
Convencional							
Router CNC	129	240	180	183.00	240	55.56077753	23.15%
portable							

Las dos máquinas referidos como Router CNC realizaron el desbaste de tres diseños con el código G obtenido mediante la vectorización de la imagen seleccionada, hubo diferencias notables en cuanto a principios de trabajo , encerado de la máquina, selección del código máquina, verificación y edición del código aspectos similares donde marcaron el tiempo obtenido en la tabla 33 estos valores oscila entre los tres a seis minutos en tal

virtud se propone como valor meta de corte de cuatro min, estos mencionados cortes no excedan los 90 cm, la velocidad de corte y desplazamiento del router convencional no se consideró ya que el desplazamiento de la plataforma tiene un avance lento por lo cual solo se midió el tiempo de corte de los dos diseños, como resultado de interés el Router CNC portable obtiene un porcentaje de 23.13% más lento que un Router CNC estático, para esta prueba se consideró el desbaste único de un diseño propuesto sobre una superficie de trabajo y se derogo parámetros : como área específica, número de pasadas y cero pieza.

Es por ello que en esta prueba se puede notar una diferencia mínima de 1.85% entre los dos prototipos, los diseños utilizados para esta prueba fueron categorizados como simple y de corta duración, pero se puede observar que existe una notable diferencia de tiempo entre los dos prototipos a prueba.

5.6 Diseños vectorizados con escalamiento.

En esta ocasión para la prueba de diseño número tres se utilizará un diseño con escalamiento en medida de 850x 800 cm donde se realizará la conversión digital de la imagen seleccionada a código máquina en esta ocasión se asume las condiciones normales del prototipo es decir el desplazamiento lineal de acuerdo a la figura 85 a velocidad normal de los ejes coordenados en el router industrial no tiene problema desplazarse es rápido y continuo.

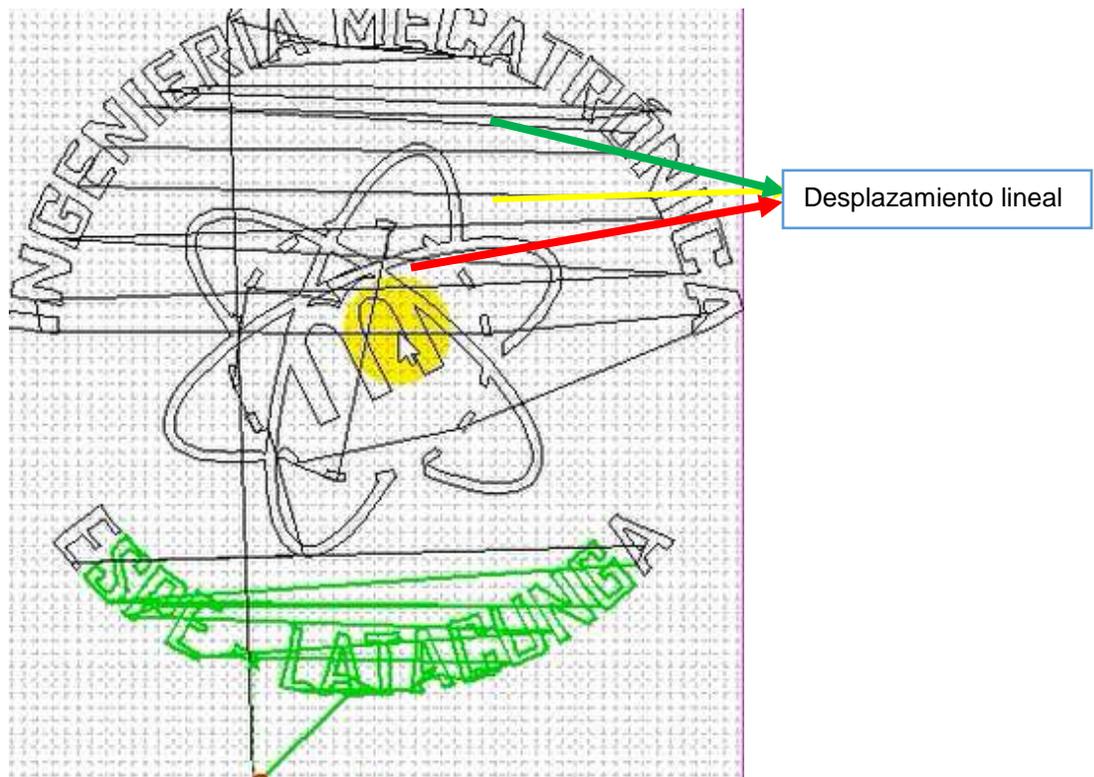


Figura 86 . Desplazamientos lineales

A relación del prototipo portable no se considera el tiempo que toma el prototipo en realizar los desplazamientos lineales mostrados en la figura 86 debido al tiempo que demora en completar una trayectoria lineal para realizar el siguiente corte se demora ocho y medio minutos en desplazarse y llegar al siguiente punto, este retardo puede mejorar aumentando la velocidad pero por la utilización de las cajas planetarias incorporadas a los actuadores mecánicos que brinda el torque necesario para mover la plataforma tiene la desventaja de perder pulsos y por ende afecta al ruteado del diseño propuesto.

En esta prueba se detallará la efectividad al realizar cortes en grandes dimensiones, y el tiempo de tallado entre los dos prototipos.

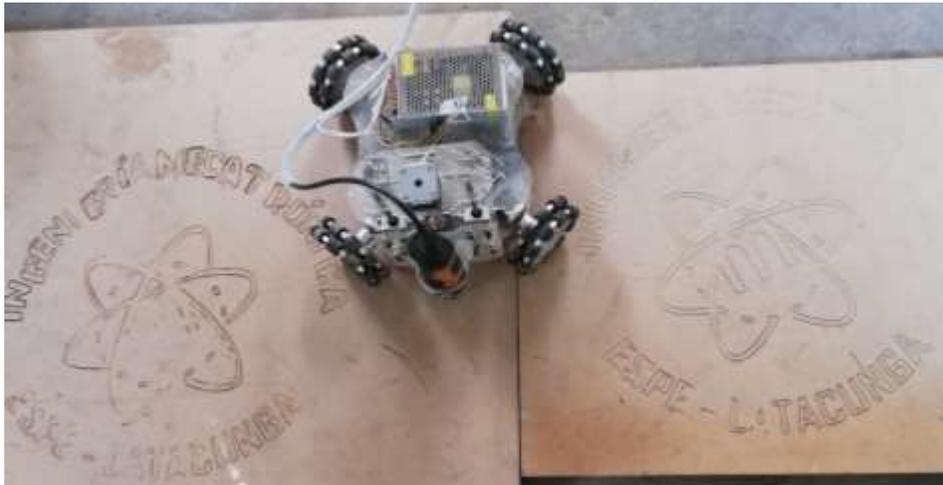


Figura 87.- Resultados de corte a escala

De acuerdo a la figura 86 se muestra los dos resultados obtenidos luego de haber terminado el corte los dos prototipos donde se puede observar las siguientes acotaciones un diseño a escala similar ya que se utilizó el mismo código de vectorización de la imagen pero con los cambios respectivos de los avances, es de gran notoriedad ue un router industrial tiene un acabado casi perfecto y un error al inicio de corte porque no estuvo asegurado la herramienta y se rompió por lo demás en tiempo de tallado se demoró 15 minutos con sesenta segundos, en el código se realizó cambios de velocidad de avance a 1500 mm /min en cambio en el prototipo portable tenía un avance de 80 mm/min, el corte lo realizo en 75 minutos sin incluir el tiempo los desplazamientos lineales.

5.7 COSTO DEL PROYECTO.

En la tabla 34 se hace un breve detalle de los implementos utilizados para el desarrollo del prototipo, se adjunta además el precio de las tecnologías utilizadas para el corte d piezas tanto para acrílico como aluminio con un espesor de seis mm,

Tabla 34.
Costos del prototipo.

Cantidad	Descripción	Precio valor Unitario (\$)	Precio total (\$)
4	12V, 1.7A, 667oz-in Motor NEMA-17 Bipolar con caja planetaria	45	180
4	Acoples para motor y ruedas de 8a 5 mm	9.40	37.6
4	Ruedas omnidireccionales dobles de 127 mm	45.90	183.6
1	Plancha de aluminio 40 x 40y 6 mm de espesor	15	15
1	Corte por chorro de agua de la base, piezas de soporte para motores	12	12
1	Corte por chorro de agua de bridas de sujeción y perfiles	8	8
1	Corte por láser eje de corte incluido el material acrílico de 6 mm	15	15
1	Arduino Mega	11	11
1	Módulo CNC SHIELD	9.5	9.5
1	Módulo Bluetooth	7	7

CONTINUA



1	Drill Moto tool A2	50	50
2	Fresas de 3/8 2 filos de corte	2.90	5.80
1	Gastos por envió y recargos en Aduana	300	300
4	Guías lineales chumacera de 8mm.	12	48
1	Tornillo sin fin m8x1.25	4	4
1	Gastos varios	25	25
			\$ 911.50

6 Validación de Hipótesis

Con ayuda del método de validación T-student descrita por William S. Gosset en 1908 (Tovar, 2018) para probar una hipótesis mediante la utilización de muestras pequeñas, cabe señalar que este método señala un rango de aceptación 0.05 para proyectos de investigación. El valor obtenido para la prueba de tiempos señalados en la tabla 53 y con ayuda de un software estadístico se obtiene un valor de $t_{critico} = 2.35336343$

Hipótesis

El Diseño e implementación de un prototipo de Router CNC portable permitirá mecanizar piezas de madera en 2D, mediante el uso de software libre para el laboratorio de Mecatrónica.

Propuesta de dos alternativas

Hipótesis Nula H_0 = permite mecanizar piezas de madera en 2D.

Hipótesis Alternativa H_i = permite el desbaste en madera de diseños personalizados en 2D.

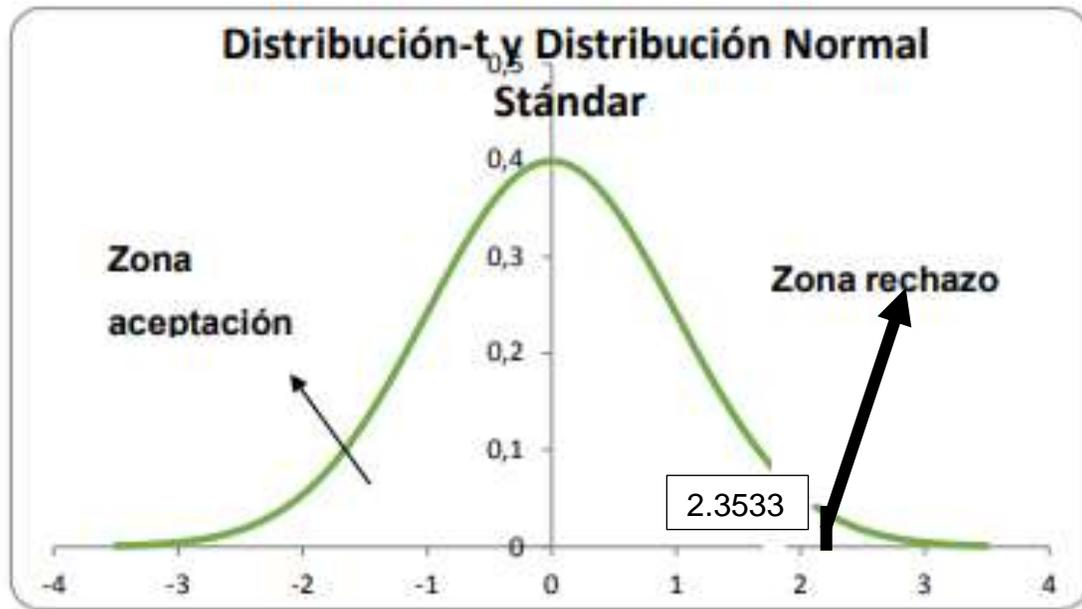


Figura 88. Grafica de la normal en t 2.3533

Tabla 35.

Análisis estadístico de t crítico con 0.05 de significancia

	Variable 1	Variable 2
Media	300	183
Varianza	2400	2058
Observaciones	4	4
Coefficiente de correlación de Pearson	0.53994925	
Diferencia hipotética de las medias	0	

CONTINUA →

Grados de libertad	3
Estadístico t	5.15814056
P(T<=t) una cola	0.00706499
Valor crítico de t (una cola)	2.35336343
P(T<=t) dos colas	0.01412998
Valor crítico de t (dos colas)	3.18244631

- **Análisis de hipótesis con el método T-student calculado.**

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{x_1} s_{x_2} * \sqrt{\frac{1}{n_1} * \frac{1}{n_2}}}$$

Donde

X1= promedio de la primera muestra

X2= promedio de la segunda muestra

N1= tamaño de la primera muestra

N2= tamaño de la segunda muestra

$$s_{x_1} s_{x_2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_{x_1}^2 + (n_2 - 1)s_{x_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde

s_{x_1} = Deviación estándar muestra 1

s_{x_2} = Deviación estándar muestra 2

Reemplazando datos **ROUTER CNC CONVENCIONAL**

$$s_{x_1} s_{x_2} = \sqrt{\frac{(3 - 1)60^2 + (3 - 1)55^2}{3 + 3 - 2}}$$

$$s_{x_1}s_{x_2} = \sqrt{\frac{(2)60^2 + (2)55^2}{4}}$$

$$s_{x_1}s_{x_2} = \sqrt{\frac{(2)60^2 + (2)55^2}{4}}$$

$$s_{x_1}s_{x_2} = \sqrt{\frac{7200 + 6050}{4}}$$

$$s_{x_1}s_{x_2} = 57.55$$

$$t = \frac{60 - 55.6}{57.55 * \sqrt{\frac{1}{3} * \frac{1}{3}}}$$

$$t_1 = \frac{4.4}{19.183} = 0.229$$

Por lo tanto, el valor de t_1 es menor que el nivel de significancia t crítico por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ya que el valor calculado se encuentra en la zona de aceptación.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ Mediante la sinergia correcta de sistemas Mecatrónicos se logró realizar un Router CNC móvil y portable mediante la combinación de una plataforma robótica con locomoción omnidireccional y un eje de corte acoplada a una máquina-herramienta referida como Drill obteniendo cortes de diseños personalizados en ciclos continuos y con una medida de preferencia mayor a 55 cm.
- ✓ El prototipo puede realizar cortes lineales con una semejanza del 60% de la imagen vectorizada cuando son diseños menores a 55 cm, estos cortes pueden ser estrellas, cuadrados o rectángulos, pero no círculos ya que se pierde por el desplazamiento lineal a causa del diámetro de ruedas de 127mm.
- ✓ Se determinó que la configuración de cuatro ruedas con tipo de locomoción omnidireccional permitió al prototipo desarrollado el desplazamiento sobre una superficie de corte permitiendo así crear una brecha de mejora para reemplazar la idea de un Router de grandes dimensiones y espacio físico a un robot móvil que realice cortes.
- ✓ Se llega a confirmar que el funcionamiento idóneo del GRBL lo hace posible por el Algoritmo de Bresenham ya que después de la vectorización de una imagen en mapa de bits el firmware de control analiza, interpreta y envía el numero de pulsos de acuerdo a la trayectoria vectorizada, dicha trayectoria trabaja bajo el

mismo principio del algoritmo el cual analiza la cercanía de dos pixeles o mapa de bits y permite crear una línea recta en forma simultánea ideal para obtener diseños de cualquier forma y tamaño en un prototipo CNC.

- ✓ Se logra concluir que la utilización de software de conversión digital llamada INKSCAPE trabaja de forma oportuna para obtener el código G de cualquier diseño mediante la extensión Unicorm Gcode tool, se debe realizar ciertas correcciones de tratamiento de la imagen previo a la vectorización en mapa de bits para el desarrollo del prototipo router C.N.C portable permitiendo obtener códigos G con notables número de líneas de programación y sin errores.
- ✓ La utilización de actuadores mecánicos acopladas a cajas planetarias brinda mayor torque para vencer la inercia y la fuerza de corte requerida para realizar tallados sobre materiales blandos como madera, pero tiene como desventaja la perdida de pasos cuando se necesita mayor velocidad del eje rotacional.

6.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Mejorar el sistema de maniobrabilidad con tracción omnidireccional cambiando el tipo de control para que pueda realizar movimientos rotacionales toda la plataforma.
- ✓ Se puede incorporar sensores para determinar la posición del corte cuando se realice los movimientos lineales.
- ✓ Implementar un sistema de aspiración ya que durante el desbaste de los diseños existe residuos que pueden afectar a la vida útil de la herramienta

- ✓ Como es un prototipo de un Router CNC portable se recomienda en carácter particular cambiar la herramienta de corte ya que es un limitante en cuanto se refiere al rango de operatividad y diseño estas máquinas puede trabajar a ciclo continuo de 30 min.
- ✓ El software de control bCNC puede adaptar mayor grado de automatización y prestaciones no solo para el proceso de fresado sino más bien para edición y desarrollo de diseños CAD en alto relieve.

6.3 FUTUROS TRABAJOS

- ✓ Se sugiere mejorar el control de la plataforma robótica móvil mediante el acoplamiento de un sensor enconder óptico con el fin de optimizar la movilidad independiente de cada actuador mecánico.
- ✓ El prototipo puede ser utilizado para aprender en forma practica la programación inicial del código G mediante la interfaz de control BCNC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- G. d. (09 de 10 de 2017). *Las cartas de control*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de <http://gestiondelaproduccionindustrial.blogspot.com/p/las-cartas-de-control.html>
- Arévalo, N. B. (11 de Septiembre de 2011). *Algoritmos para dibujos de líneas*. Recuperado el 15 de 01 de 2019, de https://ldc.usb.ve/~vtheok/cursos/ci4321/sd11/trabajo1/DibujoLineasDDA_Blanco-Arevalo.pdf
- AUTOMATIZACIÓN, C. (10 de 10 de 2017). *Smart Router Thermwood modelo 43 de tres ejes*. Recuperado el 10 de 08 de 2018, de <http://www.camautomatizacion.com/producto.php?producto=179>
- BAMBINO, I. (12 de 01 de 2017). *Una Introducción a los Robots Móviles*. Recuperado el 26 de Octubre de 2018, de http://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf
- Bengler. (23 de 01 de 2017). *Control de movimientos para maquinas ue hacen las cosas*. Recuperado el 15 de 12 de 2018, de <http://bengler.no/grbl>
- Blandon, C. M. (2015). *Control CNC con Arduino*. Mexico: S/R. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018
- Cifuentes Molano, M. &. (2015). *Diseño de un sistema de Manufactura Automatico para Circuitos Impresos*. Pereira: Universidad Tecnologica dde Pereira.
- Computacional, S. d. (2016). *Desarrollo Mauinaria de ontrol Numerico por Computador*. Chile: Universidad de Chile .
- Cristian, C. E. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINAS ROUTER CNC DE 4 EJES PARA EL TALLADO DE MODELOS EN 3D EN MADERA*. SANGOLQUÍ : ESPE.
- Electronics, P. R. (12 de 08 de 2017). *A4988 Stepper Motor Driver Carrier*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de <https://www.pololu.com/product/1182>
- Electronics, P. R. (27 de 05 de 2017). *A4988 Stepper Motor Driver Carrier*. Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de <https://www.pololu.com/product/1182>
- FPIInnovation. (2016). *Understanding CNC Routers*. En A. Albert. Canada: FORINTEK.
- Gonzalez, R. (11 de Agosto de 2016). *Algoritmo Bresenham y DDA*. Recuperado el 10 de 01 de 2019, de <http://graficacion2016b.blogspot.com/2016/08/deltax-deltay-m-algoritmo-de-bresenham.html>
- Grainger. (04 de 07 de 2017). *Rebajadora, 1.6HP, 120 V, 1000 a 3000 RPM*. Recuperado el 23 de enero de 2018, de <https://www.grainger.com.mx/Todas-las->

Categor%C3%ADas-de-productos/Herramientas-El%C3%A9ctricas/Rebajadoras/Rebajadoras/Rebajadora,1-6-HP,120V,10000-a-30000-rpm/p/41ZT40

Herramientas, D. M. (07 de 07 de 2017). *Introducción al Router o Tupi*. Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/router-o-tupi>

Herramientas, D. M. (04 de 07 de 2017). *Introducción al Router o Tupi*. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/router-o-tupi>

Ioan Doroftei, V. G. (s.f.). *Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation*. Romania: “Gh. Asachi” Technical University of Iasi .

Jimenez, R. (15 de 05 de 2015). *Control Nùmerico por Computadora (C.N.C.)*. Recuperado el 18 de 12 de 2018, de <http://materias.fi.uba.ar/7565/U4-control-numerico-por-computadora.pdf>

JOSE, B. (2017). *Motor Paso a Paso Máuinas e instalaciones eléctricas*. Colombia.

Laser, P. (10 de 08 de 2017). *Máquina cortadora plasma CNC con brazo voladizo*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de <http://cnclasermachine.es/3-3-cantilever-plasma-cutting-machine.html>

LINEAR, P. (29 de 08 de 2017). *Nema 17 Stepper Motor*. USA: Pacific Bearing.

Lletí, F. B. (2015). *“Comunicación Bluetooth entre Arduino UNO y Android aplicado a un detector de mentiras”*. Gandia: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

Lozano, M. O. (14 de 07 de 2017). *EL USO DEL SOFTWARE LIBRE EN LA TERORIA Y PRACTICA ARTISTICA*. Obtenido de http://softwarelibrebellasartes.blogspot.com/p/uso-de-maquinaria-cnc-para-dibujo_8.html

Maldonado Galarza, F. A. (2015). *Diseño de una Máquina Fresadora CNC para Mecanizado de prototipos de barcos en madera*. Guayaquil : ESPOL.

Development Holonomic,MIT. (03 de 08 de 2017). *Grbl v1.1*. Recuperado el 18 de MAYO de 2018, de <https://github.com/grbl/grbl>

Oscar, G. D. (12 de 09 de 2017). *Algoritmo de Bresenham para trazar circunferencias*. Recuperado el 13 de 01 de 2019, de Algoritmo de Bresenham para trazar circunferencias: http://garciaoscar10110795.blogspot.com/p/algoritmo-de-bresenham-para-trazar_13.html

PARRA, Á. L. (2016). *Diseño de una fresadora Router CNc* . Guayaquil: ESPOL.

Parra., Á. L. (31 de 10 de 2017). *Diseño de una Fresadora Router CNC*. Recuperado el 06 de Junio de 2018, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96884/D-CD88459.pdf>

- Pegatinas, R. y. (12 de 07 de 2016). *FORMATOS VECTORIALES*. Recuperado el 14 de 01 de 2019, de <http://rotulosypegatinas.com/formatos-vectoriales.html>
- PHD, Pedro. Osmari. (2016). *Cinematica de Robots Móviles ICRA*. UTEC.
- Platform, R. (17 de 11 de 2017). *Wheel Control Theory*. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/wheel_control_theory.html
- Plinnio, L. Á. (15 de 07 de 2016). *Diseño de una Fresadora Router CNC*. GUAYAQUIL-ECUADOR: ESPOL. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/>
- Rioja Gonzalo, S. A. (2008). *Manual de Maquina industrial Tomo IV*. Madrid-España: Cultural,S.A.
- Ríos, I. H. (2012). *Diseño Mecánico de la Estructura para un Router CNC*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodas, M. A. (2016). *CARTAS DE CONTROL X Y R*. Ecuador: S/A.
- SANDVIK. (20 de 08 de 2017). *Fórmulas y definiciones de fresado*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>
- Santiago Martinez, R. S. (2009). *Control y Comportamiento de Robots Omnidireccionales*. Montevideo-Uruguay: Universidad de la Republica de Uruguay.
- Shapeoko. (12 de 08 de 2017). *bcn*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de <https://github.com/vlachoudis/bCNC>
- shop, R. (28 de 08 de 2017). *12V, 1.7A, 667oz-in NEMA-17 Bipolar Stepper Motor*. Recuperado el 07 de Junio de 2018, de <https://www.robotshop.com/en/12v-17a-667oz-in-nema-17-bipolar-stepper-motor.html>
- Social, I. E. (08 de 04 de 2017). *DECRETO EJECUTIVO 2392 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*. Obtenido de <http://www.utm.edu.ec/unidadriesgos/documentos/decreto2393.pdf>
- SOSA, A. (2015). *Diseño y construcción de una máquina industrial de control cnc tipo router para la empresa metal-mecanica gutTI C.A*. SANGOLQUÍ: ESPE.
- SOURCE, O. (20 de 08 de 2015). *Grbl Controller 3.0*. Recuperado el 23 de Agosto de 2018, de <https://zapmaker.org/projects/grbl-controller-3-0/>
- SUCAR, E. (2016). *Introducción a la robótica*. Mexico: instituto nacional de astrofisica , optica y electronica.

- TEXOLAB. (04 de 03 de 2017). *bcNC Software para control de tu CNC con GRBL + arduino*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de <http://texolab.net/2017/12/10/bcnc-software-libre-control-cnc-grbl-arduino/>
- Thomas, R. (2011). *Omni-Directional Mobile Platform for the transportation of heavy objects*. NEW ZELAND : Massey University.
- Tovar, J. G. (09 de 06 de 2018). *Distribución "T" de Student*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de <https://estadisticaeninvestigacion.wordpress.com/distribucion-t-de-student/>
- U.N.A.M. (13 de 04 de 2017). *ESTÁNDAR IEEE 802.15.1*. (E. UNAM, Ed.) Recuperado el 12 de 12 de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/229/A5.pdf?sequence=5>
- Ulrich & Eppinger. (2013). *Diseño y Desarrollo de productos*. Mc Graw hill.
- VARGAS-Manuel†, C.-G. S.-J.-A. (Septiembre 2015). *Arduino una Herramienta Accesible para el Aprendizaje de Programación*. Bolivia: ECORFAN-Revista de Tecnología e Innovación.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por el señor **CORRALES DELGADO, JAIME EDUARDO**.

En la ciudad de Latacunga , 07 de Diciembre del 2018.

.....
ING. GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO Msc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

.....
ING. VICENTE HALLO CARRASCO Msc.
DIRECTOR DE CARRERA

.....
DR. JAIME RODRIGO VACA CORRALES
SECRETARIO ACADÉMICO