



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC PARA EL  
MECANIZADO DE PLACAS DE ALUMINIO DE LA EMPRESA  
PERFILES CNC - CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniera WMecatrónica

**AUTORES:** MÓNICA TAMARA CABRERA CARPIO  
GABRIELA ALEJANDRA GARCÍA ALLAICO  
**TUTOR:** ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, M.SC.

Cuenca – Ecuador

2023

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Mónica Tamara Cabrera Carpio con documento de identificación N° 0105488092 y Gabriela Alejandra García Allaico con documento de identificación N° 0302476882; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Ciudad, 24 de julio de 2023

Atentamente,



Mónica Tamara Cabrera Carpio  
0105488002



Gabriela Alejandra García Allaico  
0302476882

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Mónica Tamara Cabrera Carpio con documento de identificación N° 0105488092 y Gabriela Alejandra García Allaico con documento de identificación N° 0302476882, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Rediseño y construcción de una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 24 de julio del año 2023

Atentamente,



Mónica Tamara Cabrera Carpio  
0105488002



Gabriela Alejandra García Allaico  
0302476882

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Marco Esteban Amaya Pinos con documento de identificación N° 0102263480, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC PARA EL MECANIZADO DE PLACAS DE ALUMINIO DE LA EMPRESA PERFILES CNC - CUENCA, realizado por Mónica Tamara Cabrera Carpio con documento de identificación N° 0105488092 y Gabriela Alejandra García Allaico con documento de identificación N° 0302476882, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 24 de julio del año 2023

Atentamente,



Ing. Marco Esteban Amaya Pinos, M.Sc.  
0102263480

# Dedicatoria

## *Tamara*

Por creer en mí y mi capacidad, el presente trabajo de titulación va dedicado, en primer lugar, a mis padres, Mónica y Fabián, ya que han sido un pilar fundamental lleno de cariño, paciencia y apoyo para lograr todas mis metas planteadas a lo largo de este camino.

A mis hermanos, Daniela y Andrés, quienes también me han enseñado que las metas se cumplen con perseverancia, esfuerzo y dedicación.

A mi familia, ya que han sido símbolo de responsabilidad y sabiduría para crear mi propio camino.

## *Gabriela Alejandra*

Con profundo cariño y gratitud, dedico este trabajo de titulación:

A mi familia, en especial a mis padres, Marco y Doris, quienes han sido mi sostén inquebrantable a lo largo de este proceso. Su amor y comprensión incondicional han sido la base de mi fortaleza y determinación para alcanzar este objetivo.

A mis amigos, quienes compartieron conmigo risas, alegrías y así como también momentos de presión durante esta etapa académica. Su compañía ha hecho que este viaje sea más significativo y enriquecedor.

Finalmente, dedico a todas las personas que, de una forma u otra, contribuyeron en este trabajo de titulación, brindando su tiempo y conocimientos.

# Agradecimientos

## *Tamara*

Realizar este trabajo y culminar una etapa más en mi vida no solo me ha enseñado que las metas se cumplen con amor, dedicación, paciencia y responsabilidad, también me ha enseñado que la gratitud es un valor importante en el desarrollo de nuevos caminos. En este sentido, quiero iniciar agradeciendo a mis padres, Mónica y Fabián, pues su cuidado, tiempo y esfuerzo han logrado hacer de mi una persona llena de valores y ánimos para siempre luchar hasta conseguir lo que me proponga. Ustedes son mi mayor modelo a seguir y en cada paso que doy, siempre estarán presentes. Gracias por ser los mejores padres. A su vez, quiero agradecer a mis hermanos por la ayuda brindada en cualquier situación que se pudo presentar, su preocupación y servicio siempre ha llenado mi espíritu.

Gracias a mis abuelitos, Miguel, Ruth, Magdalena y Luis por siempre estar en cada paso que doy, sus consejos y buenos deseos han logrado que este camino sea forjado con confianza en mi persona; su cariño es el más sincero que puedo encontrar en la vida. Así mismo, quiero agradecer a mis tíos por el apoyo entregado cuando lo he requerido. Todos los logros a lo largo de mi vida tampoco hubiesen podido cumplirse sin la mano de ustedes.

Gracias a mis amigos de la universidad, hemos formado una hermosa amistad no solo dentro de las aulas sino también fuera de ellas, pudimos cumplir varios metas juntos, por lo que espero que la amistad prevalezca y contemos siempre uno del otro. Adicionalmente, quiero agradecer a Mateo por su compañía y también por el apoyo que me ha brindado en los momentos que me he sentido vulnerable.

Gracias a todos mis profesores, principalmente al Ing. Marco pues supo brindar la ayuda necesaria para culminar este proceso con éxito. A su vez a los ingenieros Diego, Eugenio y Luis que, a más de enseñarnos la teoría de las materias asignadas, también aportaron con consejos útiles para ser buenos profesionales.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a la empresa Perfiles CNC por darnos la oportunidad de demostrar nuestro conocimiento encargándonos este gran proyecto.

## ***Gabriela Alejandra***

Agradezco a mis padres, Marco y Doris, cuyo amor, comprensión y sacrificio me impulsaron a lograr cada uno de mis sueños. Su constante apoyo moral y emocional fue un motor fundamental para alcanzar este logro. Por otro lado, agradezco a Dios por haberme brindado salud y fuerza a lo largo de este proceso.

Agradezco a mi tutor, Ing. Marco Amaya, por su guía experta, paciencia y valiosos comentarios a lo largo de este proceso. Su orientación fue esencial para llevar a cabo este trabajo de manera exitosa.

Así como también mi sincero agradecimiento al Ing. Eugenio Cárdenas, Ing. Mónica Romero, Ing. Iván Escandón y a todas las personas que contribuyeron y apoyaron de manera invaluable en la realización de este trabajo de titulación

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X



# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>1</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	1
2.2. Descripción del problema . . . . .	2
2.3. Importancia y alcances . . . . .	2
2.4. Delimitación . . . . .	3
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	3
2.4.2. Temporal . . . . .	3
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	3
2.5. Problema General . . . . .	4
2.6. Problemas Específicos . . . . .	4
<b>3. Objetivos</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	4
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>4. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
4.1. Máquinas CNC . . . . .	5
4.1.1. Control Numérico Computarizado (CNC) . . . . .	5
4.1.2. Ventajas de máquinas CNC . . . . .	6

4.1.3. Componentes de una máquina CNC . . . . .	6
4.2. Herramientas de corte . . . . .	8
4.3. Protocolo de comunicación serial . . . . .	9
<b>5. Marco metodológico</b>	<b>9</b>
5.1. Características y componentes de la máquina CNC actual . . . . .	9
5.2. Nuevas características y componentes que requiere la máquina CNC . . . . .	17
5.2.1. Diseño del sistema mecánico . . . . .	17
5.2.2. Diseño del sistema de control y eléctrico . . . . .	30
5.3. Análisis del comportamiento estructural . . . . .	34
5.3.1. Planteamiento analítico del comportamiento del motor y el eje del husillo	34
5.3.2. Planteamiento analítico de los esfuerzos generados en los componentes de sujeción . . . . .	36
5.3.3. Planteamiento analítico de la deformación del eje Z . . . . .	38
5.3.4. Factores de mallado . . . . .	41
5.4. Presupuesto . . . . .	42
5.5. Construcción y prueba de funcionamiento . . . . .	43
5.5.1. Construcción del sistema mecánico . . . . .	44
5.5.2. Construcción del sistema eléctrico . . . . .	47
5.5.3. Pruebas de funcionamiento . . . . .	51
<b>6. Resultados</b>	<b>53</b>
6.1. Análisis por el Método de Elementos Finitos . . . . .	53
6.1.1. Análisis del motor y eje del husillo . . . . .	53
6.1.2. Análisis de los componentes de sujeción . . . . .	56
6.1.3. Análisis de las sujeciones del spindle . . . . .	57
6.1.4. Análisis del eje Z . . . . .	59
6.2. Máquina CNC . . . . .	61
<b>7. Conclusiones</b>	<b>65</b>
<b>8. Recomendaciones</b>	<b>66</b>
<b>Referencias</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>69</b>

# Lista de Tablas

- 1. Características principales de la máquina CNC actual . . . . . 11
- 2. Componentes eléctricos y de control actuales. . . . . 11
- 3. Componentes mecánicos actuales. . . . . 14
- 4. Avance de la fresa por diente . . . . . 18
- 5. Máximo volumen de viruta admisible en el fresado por unidad de potencia y de tiempo . . . . . 19
- 6. Placas de sujeción. . . . . 23
- 7. Propiedades mecánicas del Nylon. . . . . 26
- 8. Propiedades cuantitativas del ABS . . . . . 28
- 9. Presupuesto máquina CNC. . . . . 43
- 10. Matriz de consistencia . . . . . 70
- 11. Variable dependiente . . . . . 71

## Lista de Figuras

1.	Máquina CNC WorkBee . . . . .	2
2.	Ubicación Perfiles CNC . . . . .	3
3.	Componentes de una máquina CNC . . . . .	7
4.	Máquina CNC actual . . . . .	10
5.	Caja de control actual . . . . .	10
6.	Kit del spindle. . . . .	20
7.	Husillos de bolas SFU. . . . .	21
8.	Nuevo sistema de movimiento. . . . .	22
9.	Chumaceras BK y BF. . . . .	22
10.	Eje ensamblado. . . . .	25
11.	Espaciador para las rieles lineales. . . . .	25
12.	Disposición de motores (eje Z). . . . .	27
13.	Soporte de motor. . . . .	28
14.	Mesa de trabajo. . . . .	29
15.	Diseño mecánico de la máquina CNC. . . . .	29
16.	Esquema de control. . . . .	30
17.	Tarjeta de control. . . . .	32
18.	Driver para los motores. . . . .	32
19.	Fuente de alimentación. . . . .	33
20.	Sensor fin carrera. . . . .	33
21.	Variador de frecuencia. . . . .	34
22.	Fuerzas en el conjunto motor-eje husillo . . . . .	35
23.	Diagrama de fuerzas del motor y el husillo. . . . .	35
24.	Diagrama de fuerzas en los componentes de sujeción. . . . .	36
25.	Fuerzas en el conjunto sujeción eje Y-eje Z. . . . .	37
26.	Fuerzas en el conjunto sujeción eje Z-sujeción spindle-spindle. . . . .	38
27.	Fuerzas aplicadas en el eje Z . . . . .	39
28.	Segundo planteamiento para el análisis del eje Z . . . . .	40
29.	Momentos generados en el eje Z . . . . .	41
30.	Ensamble del sistema mecánico. . . . .	44
31.	Primer ensamble del eje Z. . . . .	44
32.	Primer ensamble de los ejes X-Y-Z. . . . .	45
33.	Segundo ensamble de los ejes X-Y-Z. . . . .	46

34.	Ensamble de la herramienta. . . . .	46
35.	Ensamble mecánico final. . . . .	47
36.	Ensamble del sistema eléctrico. . . . .	47
37.	Gabinete externo. . . . .	48
38.	Gabinete interno. . . . .	49
39.	Cableado y etiquetado. . . . .	50
40.	Caja de control nueva. . . . .	51
41.	Procedimiento de la prueba de funcionamiento. . . . .	52
42.	Deformación total . . . . .	54
43.	Equivalente de Von Mises . . . . .	54
44.	Factor de seguridad debido a la tensión . . . . .	55
45.	Factor de seguridad debido a la fatiga . . . . .	55
46.	Deformación total del perno. . . . .	56
47.	Tensión equivalente de Von Mises del perno. . . . .	57
48.	Deformación total de las sujeciones del spindle. . . . .	58
49.	Tensión equivalente de Von Mises de las sujeciones del spindle . . . . .	58
50.	Factor de seguridad debido a la tensión de las sujeciones del spindle. . . . .	59
51.	Deformación total del eje Z. . . . .	60
52.	Tensión equivalente de Von Mises del eje Z. . . . .	60
53.	Factor de seguridad debido a la tensión del eje Z. . . . .	61
54.	Máquina CNC. . . . .	62
55.	Procedimiento de funcionamiento. . . . .	63
56.	Mecanizado 1. . . . .	64
57.	Mecanizado 2. . . . .	64
58.	Cotización 1. . . . .	72
59.	Cotización 2. . . . .	73
60.	Cotización 3. . . . .	74

## Resumen

**E**l presente Trabajo de Titulación se realiza con el objetivo de rediseñar y construir una máquina CNC (Control Numérico Computarizado) que cumpla con los nuevos requerimientos que la empresa Perfiles CNC necesita para ampliar su servicio al cliente, es decir, realizar mecanizados en placas de aluminio.

Como se sabe, actualmente la máquina CNC que dispone la empresa fue diseñada para realizar el mecanizado en piezas de madera, por lo que, tanto las condiciones de corte como los esfuerzos que soporta la máquina no son aptas para mecanizar otro tipo de material. En consecuencia, la estructura del presente documento se encuentra detallada de la siguiente manera, en primer lugar se realiza la identificación de los componentes actuales de la máquina CNC con el fin de determinar qué componentes deben ser cambiados y cuáles podrían ser útiles para el nuevo diseño.

A continuación, se realiza el diseño del sistema mecánico; el mismo que es respaldado con los cálculos para la determinación de la herramienta de corte, así como también se describen los nuevos componentes a usarse en el sistema de movimiento y los elementos diseñados para la estructura. Cabe destacar que algunos componentes fueron seleccionados según la disponibilidad del mercado de la empresa. Posteriormente, se realiza el diseño del sistema de control y eléctrico, por lo que se detalla qué tipo de lazo de control se maneja y cuáles son las conexiones eléctricas de los componentes a usarse, tales como tarjeta de control, drivers, motores, etc. Asimismo, luego de los respectivos planteamientos analíticos de los componentes a ser estudiados, en el apartado 7 se muestran los resultados numéricos del Método de Elementos finitos obtenidos en el software de simulación ANSYS. Por último, se presenta el presupuesto con el costo de los elementos y la inversión total para realizar este proyecto, a la vez que se presentan las evidencias de la construcción de la máquina CNC realizada para la empresa Perfiles CNC.

**Palabras clave:** Máquina CNC, perfiles de aluminio, guías lineales, spindle, sujeciones.

## Abstract

**T**his thesis project presents the redesign and construction of a CNC machine that accomplishes with the new requirements that the company (Perfiles CNC) requests to expand its customer service, that is, machining aluminum sheets.

As is well known, currently the CNC machine available to the company was designed for machining pieces of wood, therefore, both the cutting conditions and the stress that the machine supports are not suitable for machining other types of material. Consequently, this document is detailed as follows, firstly, the current components of the CNC machine are identified in order to determine which components need to be changed and which ones could be useful for the new design.

Subsequently, the mechanical system is designed; the same one that is supported with the calculations for the determination of the cutting tool, as well as the new components to be used in the movement system and the elements designed for the structure are described. It is noteworthy that some components were selected according to availability of stock from the company. Then, the control and electrical system is designed, so it is detailed what type of control loop is handled and what are the electrical connections of the components to be used, such as the controller, drivers, motors, etc. Likewise, after the respective analytical approaches of the components to be studied, section 7 shows the numerical results of the Finite Element Method obtained in the ANSYS simulation software.

Finally, the budget is shown with the cost of the elements and the total investment to carry out this project, while the evidence of the construction of the CNC machine made for the company Perfiles CNC is presented.

**Keywords:** CNC machine, aluminium profile, linear guides, spindle, holders.

# 1. Introducción

**E**l aluminio es un material ampliamente utilizado debido a su ligereza, resistencia y excelente capacidad de mecanizado, por lo que se pueden fabricar diferentes piezas, tanto para prototipos como para maquinaria en general, sin embargo, el mecanizado de placas de aluminio requiere de una máquina CNC capaz de cumplir con calidad y eficiencia.

En la industria del mecanizado, la tecnología de control numérico computarizado (CNC) ha revolucionado la forma en que se fabrican piezas y componentes. Las máquinas CNC permiten precisión, lo que las convierte en herramientas indispensables para diversas aplicaciones, como es el caso del mecanizado de aluminio.

Actualmente la empresa Perfiles CNC, requiere ofrecer el servicio de mecanizado de placas de aluminio, por lo que existe la necesidad de una máquina CNC capaz de realizar el mecanizado en este material. Cabe destacar que la empresa dispone actualmente de la máquina CNC WorkBee 1010, sin embargo, las características de la misma solo pueden mecanizar piezas en madera.

En este sentido, el presente proyecto pretende realizar el rediseño y la construcción de una máquina CNC para el mecanizado en placas de aluminio, basada en la máquina CNC actual y utilizando componentes disponibles principalmente en la misma empresa o en el mercado local, tomando en consideración la seguridad del usuario y la calidad de la pieza final, tanto en el acabado superficial como en las dimensiones.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

La empresa Perfiles CNC trabaja con una máquina CNC, la cual está basada en el modelo Workbee 1010, que se presenta en la figura 1, la misma puede mecanizar piezas de madera con buenos acabados y sobre todo cumpliendo con todos los requerimientos que el cliente desea en su diseño. Sin embargo, por las características del spindle y el sistema de movimiento que se encuentra montado actualmente, el uso de la máquina se limita solo a cortes en madera, por ende, la empresa también limita el servicio que puede brindar.

Tomando en cuenta estas consideraciones y que el principal objetivo de la empresa es dar un servicio personalizado, se plantea la idea de rediseñar esta máquina para que pueda realizar cortes en placas de aluminio.



## Figura 1

*Máquina CNC WorkBee*



**Nota:** Se presenta el modelo de la máquina CNC WorkBee (Carew, 2019).

## 2.2. Descripción del problema

Actualmente el diseño de la máquina CNC realiza mecanizados en piezas de madera de acuerdo con las dimensiones y especificaciones que requiere el cliente, pues tanto el spindle que se encuentra montado, como su estructura mecánica cuentan con las características necesarias para realizar un trabajo satisfactorio. Sin embargo, al momento de mecanizar piezas de aluminio, los tiempos de corte aumentan considerablemente, lo que implica una pérdida de recursos para la empresa, así como también, un aumento en el precio de la pieza final.

## 2.3. Importancia y alcances

El proyecto tiene como finalidad ampliar el servicio de mecanizado que brinda la empresa Perfiles CNC, puesto que actualmente la máquina CNC funciona de manera precisa y eficiente únicamente en piezas de madera. Por lo tanto, el beneficiario directo es la empresa portadora de este servicio y los beneficiarios indirectos serán los clientes que requieran piezas mecanizadas en placas de aluminio a menor costo.

Al finalizar el proyecto la empresa contará con una máquina CNC apropiada para realizar

el mecanizado de placas de aluminio, con diseños personalizados de cada cliente que requiera de este servicio.

## 2.4. Delimitación

### 2.4.1. Espacial o geográfica

Se realizará en el local matriz de la empresa Perfiles CNC, ubicada la avenida Hurtado de Mendoza, en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, como se muestra en la figura 2.

#### Figura 2

*Local matriz de la empresa Perfiles CNC.*



**Nota:** Ubicación de Perfiles CNC.

### 2.4.2. Temporal

Se pretende desarrollar el proyecto durante los períodos académicos 60 y 61 en las asignaturas de Trabajo de Titulación I y II, el cual comprende un total de 400 horas.

### 2.4.3. Sectorial o institucional

Se realizará junto con la empresa Perfiles CNC.

## **2.5. Problema General**

- ¿Cómo rediseñar y construir una máquina CNC para el corte de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Se podrá analizar las características principales de la máquina CNC actual de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?
- ¿Es viable rediseñar los componentes mecánicos de la máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?
- ¿Es posible diseñar el sistema de control y eléctrico para una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?
- ¿Se podrá construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?

# **3. Objetivos**

## **3.1. Objetivo General**

- Rediseñar y construir la máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.

## **3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar las características principales de la máquina CNC actual de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.
- Rediseñar los componentes mecánicos de la máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.
- Diseñar el sistema de control y eléctrico para una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.
- Construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Máquinas CNC

En primer lugar, cabe destacar que la creación de máquinas CNC se ha dado por la necesidad de las industrias de realizar procesos complejos para la mano de obra humana e incluso para las máquinas convencionales, ya que puede realizar formas tales como círculos, líneas diagonales o figuras tridimensionales con gran precisión. Es importante mencionar que estas acciones las puede realizar gracias a que la herramienta que se esté usando se puede mover por los tres ejes (X, Y, Z) al mismo tiempo. De igual importancia estas máquinas trabajan mediante computadoras que controlan la posición y velocidad de los motores que accionan sus ejes, por lo que beneficia en la creación de varias figuras (Ruiz, 2011).

#### 4.1.1. Control Numérico Computarizado (CNC)

Según Kalpakjian y Schmid (2008) es un método que controla los movimientos de los componentes de una máquina mediante la inserción de instrucciones codificadas en forma de datos numéricos. De esta forma, hay varias máquinas que se les puede implementar este método, tales como fresadoras, cortadoras láser, impresoras 3D, entre otras. Sin embargo, se clasifican según su funcionamiento, de los cuales se identifican tres:

- Máquinas de control punto a punto: solo se mecaniza los puntos iniciales y finales mas no la trayectoria entre estos puntos. Por ejemplo: taladradoras y punteadoras.
- De control paraxial: si mecanizan trayectorias y se puede programar su desplazamiento y velocidad a la que va a trabajar. Por ejemplo, tornos.
- Máquinas de control interpolar: puede mecanizar cualquier tipo de trayectoria con la ayuda de la interpolación de puntos, no solo trayectorias paralelas a sus ejes como el tipo mencionado anteriormente. (Ilbay, 2020).

Asimismo, cabe destacar que cuando hablamos de instrucciones codificadas nos referimos a un código estándar denominado código G y M, el primero se centra en comandos preparatorios de la máquina, es decir, se encarga del movimiento de los ejes; por ejemplo, movimientos rápidos, avances, pausas, entre otros. Mientras que el código M se encarga de ejecuciones auxiliares necesarias para el proceso de maquinado de las piezas, por ejemplo: arranque, paro de programa, cambio de herramienta, etc (Alonso, Gil, y Martínez, 2015).

#### **4.1.2. Ventajas de máquinas CNC**

Una de las principales ventajas que se han obtenido gracias a la incorporación de las máquinas CNC dentro de la industria es que optimiza los procesos que la empresa lo requiera, considerando siempre su factibilidad y adicionalmente, ha cubierto la creación de piezas complejas para la labor manual (Narváez, 2021). Sin embargo, se pueden rescatar otras características que menciona Ruiz (2011):

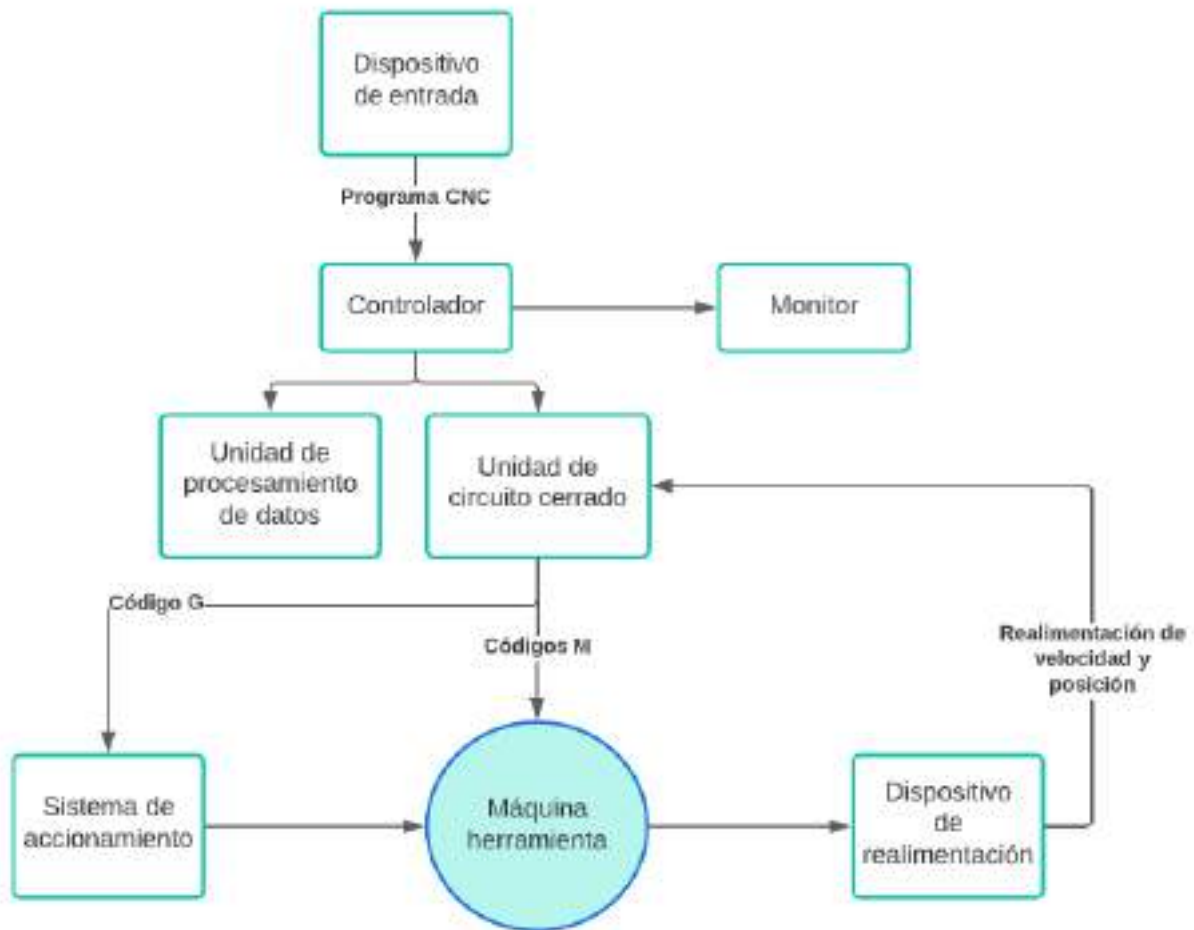
- Mejora la precisión de la pieza.
- Mejor uniformidad en la producción.
- Reducción de la fatiga del operario.
- Disminución de tiempos por máquina parada.
- Posibilidad de simulación de los procesos de corte antes del mecanizado.

#### **4.1.3. Componentes de una máquina CNC**

Los principales componentes de una máquina CNC se presentan en la figura 3

**Figura 3**

*Componentes de una máquina CNC*



**Nota:** Diagrama de flujo de los componentes principales y el funcionamiento de una máquina CNC según (González y Rodríguez, 2022).

En cuanto a los dispositivos de entrada son aquellos que envían los datos del sistema de procesamiento de datos hacia la máquina siendo interpretado por el código G. Por su parte, el controlador se encarga de interpretar las funciones que entran y salen de la CNC y además se comunica con la interfaz de software computarizado (González y Rodríguez, 2022).

Como se conoce, la máquina CNC se considera un dispositivo mecatrónico por lo que cuenta con componentes electrónicos y componentes mecánicos.

Dentro de la parte electrónica encontramos los siguientes componentes

- Drivers
- Motores
- Fuente de poder
- Variador de frecuencia
- Sensores fin carrera.

En la parte mecánica tenemos:

- Spindle
- Tornillo sin fin
- Husillos
- Correas dentadas (Armas y Chávez, 2021).

## **4.2. Herramientas de corte**

Se trata de instrumentos industriales, compuestos por un elemento de corte y un soporte, estas herramientas se requieren en los diferentes tipos de máquinas herramientas, como son el torno, fresadora, taladro, entre otras, para realizar el mecanizado de la materia prima, en este caso se trata de la eliminación del exceso del material, es decir realizar el proceso de arranque de viruta y de esta manera obtener la pieza final deseada (Schvad, 2011) (Ramirez, 2021).

El tipo y las características apropiadas que una herramienta de corte requiere para realizar un proceso de manufactura específico, va a depender de la máquina herramienta y el material a mecanizar, por ejemplo, si se trata del proceso en donde la materia prima rota para ser mecanizada se hace uso de herramientas de monofilos, mientras que se requiere herramientas multifilos cuando la herramienta es la que rota (Schvad, 2011) (Caiza, 2022), sin embargo, según Caiza (2022) todas las herramientas de corte deben poseer propiedades como son una alta resistencia al desgaste y a la rotura, así como también debe contar con una buena tenacidad y estabilidad química.

De acuerdo con Caiza (2022) el acero rápido es el material más usado para la fabricación de herramientas de corte, como por ejemplo para las fresas, las cuales generalmente se usan para realizar un trabajo de mecanizado en placas de gran espesor, ya que no pierden su filo

de corte de manera inmediata, ni sufren grandes deformaciones, sin embargo, Ramirez (2021) menciona que, si la fresa presenta desgaste en sus cuchillas, se las puede afilar haciendo uso de una afiladora universal.

### **4.3. Protocolo de comunicación serial**

Según García (2021) y Medina, Sierra, y Gómez (2011) el correcto traslado de la información entre un emisor y un receptor, es posible siempre y cuando existan protocolos o reglas, sobre todo cuando se habla de sistemas o dispositivos electrónicos integrados con diferentes arquitecturas, por esto se hace uso de la comunicación serial.

“En la comunicación en serie, los datos se transfieren bit a bit en serie en la misma línea” (García, 2021), siendo esta la principal forma de transmisión de datos en la actualidad, tanto para alcances cortos como para largas distancias, ya que cuenta con diferentes tipos dependiendo de cómo se trasladan los datos en la línea de comunicación (García, 2021).

## **5. Marco metodológico**

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación, en primera instancia, se realiza la respectiva lectura del marco teórico con la finalidad de tener los conocimientos adecuados acerca del concepto de una máquina CNC, de esta manera se tiene una idea clara y se puede plantear una propuesta de solución para la empresa Perfiles CNC.

Mediante la observación directa con un enfoque cuantitativo y cualitativo las fases para la propuesta de solución se describen a continuación.

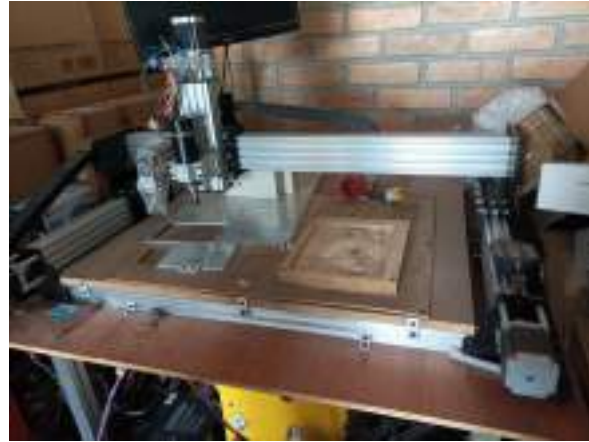
### **5.1. Características y componentes de la máquina CNC actual**

La máquina CNC que posee actualmente la empresa perfiles CNC, ver figuras 4 y 5, está basada en el modelo WorkBee CNC y es capaz de realizar el mecanizado en piezas de madera. Para lograr identificar los componentes existentes se realiza una investigación del modelo WorkBee CNC y posteriormente se desmonta la máquina actual y su caja de control, con lo cual se puede observar a detalle cada uno de los componentes, en donde las principales características se presentan en la tabla 1, así como también los componentes eléctricos y mecánicos con el respectivo modelo y características, en las tablas 2 y 3 respectivamente.



**Figura 4**

*Máquina CNC actual*



**Nota:** Se presenta la máquina CNC que se encuentra en la empresa Perfiles CNC actualmente.

**Fuente:** Autores

**Figura 5**

*Caja de control actual*



**Nota:** Caja de control con los componentes eléctricos y de control actuales.

**Fuente:** Autores



**Tabla 1***Características principales de la máquina CNC actual*

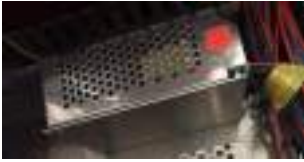



Características de la máquina CNC actual	
<b>Dimensiones</b>	910 mm x 755 mm x 245 mm
<b>Voltaje</b>	110 V





**Nota:** Se presenta las dimensiones y el voltaje de funcionamiento de la máquina CNC.

**Fuente:** Autores

**Tabla 2***Componentes eléctricos y de control actuales.*

Componentes eléctricos y de control actuales			
Item	Componente	Modelo	Características
1	Drivers 	Microstep driver DM542	Voltaje de entrada: 20 - 50 VDC. Corriente de salida: 1- 4,2 A. Frecuencia: 200 kHz.
2	Motores 	NEMA 23 57HS56-3004	Fuerza: 1,8 N Corriente: 3 A Peso: 0,7 kg

Componentes eléctricos y de control actuales			
Item	Componente	Modelo	Características
3	Fuente de poder 		Voltaje de entrada: 110/220 V, 50/60 Hz Voltaje de salida: 24 V Corriente de salida: 15 A
4	Tarjeta de control 	BOB Mach 3	Control de hasta 5 eje Compatible con LinuxCNC Dimensiones: 90X70X20 mm Salida de voltaje analógico: 0-10 V
5	Breaker 	Siemens 5SL3216-7	Automático magneto-térmico 400 V 4,5 kA, 2 polos, C, 16 A
6	Fin de carrera 	Micro switch miniatura V-163-A	16 A

Componentes eléctricos y de control actuales			
Item	Componente	Modelo	Características
7	Botón de emergencia 	Botón de emergencia	
8	Interruptor giratorio selector 2 posiciones 	Interruptor giratorio selector 2 posiciones	Diámetro: 22 mm Voltaje: 110/220 V
9	Pulsante 	Pulsador industrial NA	Color: rojo Diámetro: 22 mm Corriente: 3 A Voltaje: 110 V
10	Luz piloto 	Luz piloto	Color: naranja Diámetro: 22 mm 24/110/220 V

**Nota:** Se presenta los componentes eléctricos de la máquina CNC actual.



**Fuente:** Autores

**Tabla 3***Componentes mecánicos actuales.*

<b>Componentes mecánicos actuales</b>			
<b>Item</b>	<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>Características</b>
1	Tornillo de avance 	Tornillo de avance T8	Diámetro: 8 mm.
2	Tuerca bloque anti-backlash 	Tuerca bloque anti-backlash 8 mm	Dimensiones: 34 mm x 33 mm x 12 mm.
3	Perfil de aluminio 	Cbeam 40x80 Serie 20	Aluminio 6063 T5. Hasta 3 m de largo. Superficie: anodizada. Color: gris.
4	Acople flexible 	Acople flexible	5 mm a 5 mm

Componentes mecánicos actuales			
Item	Componente	Modelo	Características
5	Carro para estructura C extra largo 12 ruedas 	Set C5	Carga máxima directa XYZ: 120 N / 12,237 kg.
6	Spindle 	Spindle	Trabajo: 0,5 kW. 3000-12000 RPM. 100 VCD. Refrigerado por aire.
7	Tuerca rectangular 	Tuerca rectangular serie 20	Acero niquelado. Rosca interior: M5.
8	Soporte de esquina 	Soporte de esquina serie 20	Aluminio fundido sólido. Agujero interior M5.
9	Tornillos 	M5	Largo: 10mm 15mm 20mm 25mm 30mm

Componentes mecánicos actuales			
Item	Componente	Modelo	Características
10	Tuerca hexagonal 	M5	
11	Espaciadores 	Espaciador 6 mm	6 mm x 5,3 mm ID x 10 mm OD AL
12	Collar de seguridad 	Collar de seguridad	Carbon steel. Dimensiones: 14 mm x 8 mm x 7 mm.
13	Rodamiento 	Rodamiento 688ZZ	Dimensiones: 8 mm x 16 mm x 5 mm

Componentes mecánicos actuales			
Item	Componente	Modelo	Características
14	Arandela de precisión 	Arandela de precisión CNC	Acero inoxidable. Dimensiones: 8 mmx12 mm.
15	Perfil de Aluminio 	Perfil de Aluminio tipo V 20x40	Aluminio 6063 T5. Hasta 3 m de largo. Superficie: anodizada. Color: gris.
16	Soporte L 	Soporte L universal triple serie 20	Aluminio. Dimensiones: 60x20x3 mm.
17	Soporte L 	Soporte L universal simple serie 20	Aluminio. Dimensiones: 20x20x3 mm.

**Nota:** Imágenes de los componentes mecánicos.

**Fuente:** Autores.

## 5.2. Nuevas características y componentes que requiere la máquina CNC

### 5.2.1. Diseño del sistema mecánico

Una vez identificados todos los elementos, primero se selecciona la herramienta de trabajo, en este caso el motor spindle; esta selección se define mediante los principios descritos a continuación. Cabe destacar que para esto se necesita conocer la herramienta de corte que se utilizará para el maquinado, en este caso, la empresa dispone de dos tipos de fresa de carburo de tungsteno, tanto de diámetro de 5 mm como de 3 mm, con 3 y 4 flautas cada uno. Para



seleccionar la fresa adecuada se analiza el caso más crítico, es decir, una herramienta de 5 mm con 3 flautas, pues así se obtendrán resultados de la potencia máxima de la máquina CNC.

### Cálculo del avance

$$A = a \cdot z \cdot n \quad (1)$$

donde,

a: avance de la fresa por diente [mm]

Z: número de los dientes de la fresa

n: numero de revoluciones de la pieza [rpm]

El avance de la fresa por diente se obtiene de la tabla 4 y el número de revoluciones de la pieza se considera de 24000 rpm según los husillos que dispone Perfiles CNC, entonces:

**Tabla 4**

*Avance de la fresa por diente*

Material	Fresas de forma en acero rápido		Fresas de mango en acero rápido	
	Desbaste [mm]	Acabado [mm]	Desbaste [mm]	Acabado [mm]
Acero aleado extra duro	0,02	0,01	0,02	0,03
Acero duro	0,03	0,01	0,02	0,03
Acero blando	0,04	0,02	0,04	0,08
Fundición normal	0,03	0,01	0,03	0,06
Fundición dura	0,03	0,01	0,03	0,05
Bronce	0,04	0,02	0,04	0,08
Latón	0,04	0,02	0,04	0,08
Aleaciones de aluminio	0,03	0,01	0,04	0,08

**Nota:** Extracto de la tabla del avance de la fresa por diente según el material (Guanoluisa y Sánchez, 2013).

$$A = 0.04mm \cdot 3 \cdot 24000rpm = 2880mm/min \quad (2)$$

### Cálculo de la capacidad de trabajo de una fresadora: Potencia

$$N = \frac{Q}{Q'} \quad (3)$$

donde,

N: potencia de la máquina [CV].

Q: cantidad de viruta arrancada durante un minuto de trabajo  $[\frac{cm^3}{min}]$ .

Q': máximo volumen de viruta admisible en el fresado por unidad de potencia y de tiempo  $[\frac{cm^3}{CV \cdot min}]$ . El valor de Q' se obtiene en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Máximo volumen de viruta admisible en el fresado por unidad de potencia y de tiempo*

Material	Fresa cilíndrica (Q') $\frac{cm^3}{CV \cdot min}$	Fresa cilíndrica frontal (Q') $\frac{cm^3}{CV \cdot min}$
Acero común (R=3060 kg/mm <sup>2</sup> )	9	11
Acero aleado (R=6080 kg/mm <sup>2</sup> )	7,5	9
Acero aleado (R=80100 kg/mm <sup>2</sup> )	6	7,5
Fundición de dureza media	16	20
Latón y bronce	22	30
Aleaciones de aluminio	44	55

**Nota:** Máximo volumen de viruta admisible en el fresado por unidad de potencia y de tiempo (Guanoluisa y Sánchez, 2013).

Y para la cantidad de viruta arrancada durante un minuto de trabajo (Q):

$$Q = \frac{P \cdot I \cdot A}{1000} \left[ \frac{cm^3}{min} \right] \quad (4)$$

donde,

P: profundidad de pasada [mm]

I: ancho de fresado [mm]

A:avance [mm/min]

Por lo tanto, se reemplaza en la ecuación 3 y se obtiene:

$$N = \frac{P \cdot I \cdot A}{1000 \cdot Q'} \quad (5)$$

Se reemplazan con los valores adecuados y:

$$N = \frac{1mm \cdot 5mm \cdot 2880mm/min}{1000 \cdot 44} = 0,32727CV \quad (6)$$

$$N = 0,244KW \quad (7)$$

De esta forma, con los resultados de los cálculos de la potencia, el nuevo husillo requiere de un mínimo de 0,244 kW, sin embargo, en el mercado local se cuenta únicamente con husillos de 0,8 kW y 1,2 kW. En consecuencia, se implementa un spindle de 0,8 kW, el mismo que cuenta con un kit compuesto por el husillo, variador de frecuencia, bracket (sujeción), cables y 2 collets como se muestra en la figura 6. Las características principales del motor son las siguientes:

- Refrigeración por aire.
- 0,8 kW.
- 24000 rpm.
- 220 V.
- 400 Hz.
- 5 A.
- 2 polos.

### Figura 6

*Kit del spindle.*



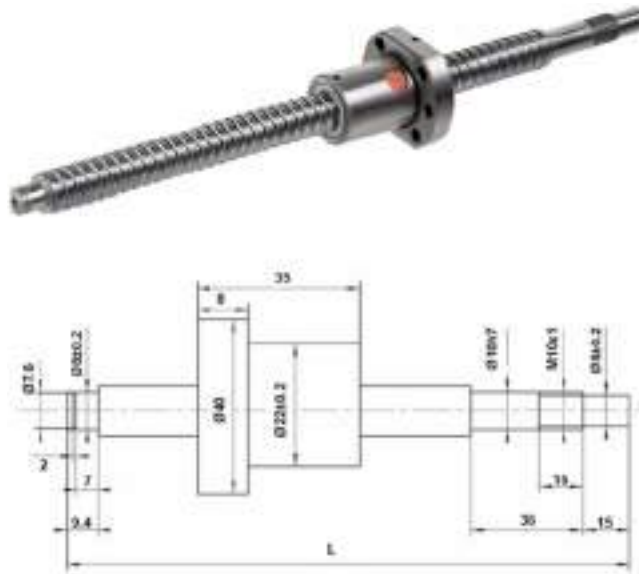
**Nota:** Kit de spindle a implementar en el nuevo diseño (PerfilesCNC, 2023).

El trabajo de un husillo implica que se generen cambios en el sistema dinámico de los ejes de trabajo, debido a las vibraciones que se produce durante el mecanizado, lo cual provoca errores de posicionamiento que afectan a la calidad de la pieza final. Por lo tanto, se requiere implementar un nuevo sistema de movimiento, así como también el incorporar materiales que sean capaces de absorber las vibraciones y de esta manera evitar estos errores.

Para mejorar el posicionamiento, se hace uso de husillos de bolas SFU, ver figura 7; así como también de guías lineales HIWIN, las cuales constan de rieles y bloques, ver figura 8. Estas rieles HGR15 poseen un bajo coeficiente de fricción, así como también pueden soportar las cargas tanto radiales como laterales existentes, por otro lado, los bloques HGW15CA poseen diferentes accesorios como por ejemplo un sello inferior que ayudan a mantener la precisión y vida útil de las guías, ya que evita la creación de estrías por polvo y virutas producidas durante el trabajo de la máquina herramienta (HIWIN, 2022). La dimensión de las guías van a depender del tamaño “L”, ver figura 7, de los husillos de bolas, por ejemplo, el eje X cuenta con un husillo de bolas SFU1605 de 1000 mm, mientras que el del eje Y es de 750 mm, por último, en el eje Z se cuenta con un SFU1204 de 350 mm, este último husillo de bolas es de menor diámetro debido a que las cargas que soporta son menores.

### Figura 7

*Husillos de bolas SFU.*



**Nota:** Husillo de bolas SFU, donde L representa el largo del mismo (PerfilesCNC, 2023).

## Figura 8

*Nuevo sistema de movimiento.*



**Nota:** Sistema de movimiento utilizado en la máquina CNC (PerfilesCNC, 2023).

A fin de obtener mayor soporte y estabilidad en el nuevo sistema de movimiento, se agrega soportes de husillo (chumaceras) de tipo BK y BF de Acero SAE1045, ver figura 9, estos soportes absorben las cargas radiales y axiales producidas en el husillo. En el caso de los ejes X-Y se usan los soportes BK y BF 12, mientras que en el Z son los soportes BK y BF 10, esta selección del tipo de soporte depende del husillo que se usa.

## Figura 9

*Chumaceras BK y BF.*



**Nota:** Soportes BK y BF para el nuevo diseño, PerfilesCNC (2023).







Debido a la incorporación de los nuevos componentes mecánicos, se diseñan placas de sujeción para acoplar el perfil tipo C y las chumaceras, tomando en consideración la altura de las rieles lineales y el correcto desplazamiento de la tuerca del husillo, ensamblado con su





montaje de tuerca, a través del perfil tipo C. Sin embargo, dependiendo del eje se toma en consideración otros componentes para su diseño.

En la tabla 6 se presentan las placas de sujeción que se encuentran actualmente en la máquina CNC y el nuevo diseño de las mismas. Cabe recalcar que las nuevas placas de sujeción serán realizadas en la empresa INGMATRICOM CIA. LTDA. en aluminio de 9 mm de espesor, mediante corte por chorro de agua.

**Tabla 6**

*Placas de sujeción.*

Placas de sujeción		
Nombre	Actuales	Nuevas
Sujeción Lateral 1		
Sujeción Horizontal		
Sujeción Horizontal 2		

Nombre	Actuales	Nuevas
Sujeción Lateral Z		
Sujeción Y		
Sujeción Horizontal Z		

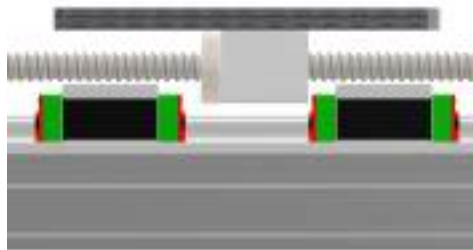
**Nota:** Placas de sujeción actuales y nuevas.

**Fuente:** Autores.

Al ensamblar los componentes antes mencionados, los bloques lineales no se acoplan adecuadamente a la placa de sujeción debido a la diferencia de altura de los componentes, como se puede observar en la figura 10, en consecuencia para compensar esta diferencia de altura y se transmita correctamente el movimiento desde el husillo de bolas hacia estos bloques, se realiza el diseño de unos espaciadores, ver figura 11, los cuales son impresos en 3D en Nylon, debido a sus propiedades mecánicas presentadas en la tabla 7.

### Figura 10

*Eje ensamblado.*



**Nota:** Eje ensamblado con el sistema de movimiento, placa de sujeción y perfil.

**Fuente:** Autores.

### Figura 11

*Espaciador para las rieles lineales.*



**Nota:** Espaciador para las rieles lineales a ser prototipado en impresión 3D.

**Fuente:** Autores.



## Tabla 7

*Propiedades mecánicas del Nylon.*

<b>Propiedades mecánicas del Nylon.</b>	
Módulo de elasticidad (E)	930 - 1000 MPa
Tensión máxima ( $\sigma$ )	42 - 45 MPa

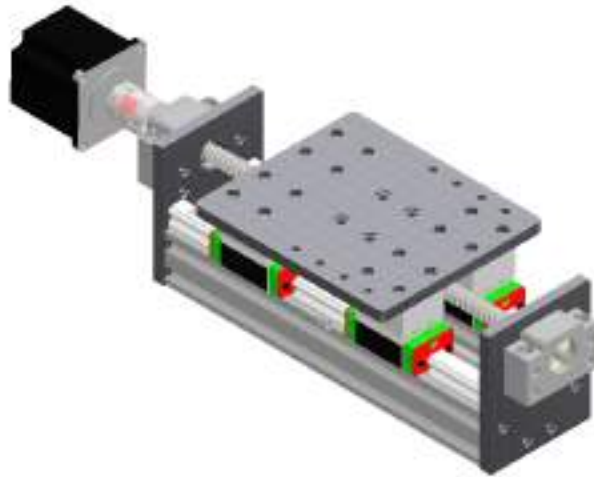
**Nota:** Propiedades mecánicas del nylon según Perez, Ferrás, Pérez, y Fernández (2014).

Por otro lado, la máquina actual trabaja con motores NEMA 23 los cuales tienen un torque de 2 Nm y una corriente de 2,8 A siendo estos parámetros adecuados para el funcionamiento del nuevo diseño de la maquina CNC. La disposición se puede observar en la figura 12, en donde se visualiza que el motor es sujetado únicamente por el acople flexible, por lo que es fundamental asegurarlos con unos soportes. Para realizar el diseño de estos soportes se toman en consideración los siguientes aspectos:

- Geometría del motor.
- Geometría de la chumacera BK.
- Acople flexible.
- Distancia entre motor y chumacera BK.

## Figura 12

*Disposición de motores (eje Z).*



**Nota:** Disposición de motores (eje Z).

**Fuente:** Autores.

Seguido de ello, dicho soporte, ver figura 13, se realiza en impresión 3D, específicamente en ABS, debido a que el material es capaz de soportar las cargas que se generan gracias a sus propiedades mecánicas, ver tabla 8. Adicionalmente, es fundamental considerar que los motores tienden a calentarse a causa de su constante funcionamiento; la temperatura de operación va desde los 0°C hasta los 40°C, sin embargo, puede llegar a alcanzar una temperatura de 100°C a 120°C. Otra característica fundamental del ABS es la temperatura máxima que resiste, ya que puede llegar hasta los 105°C sin sufrir deformaciones a causa de la temperatura (Systemes, s/a).

### Figura 13

*Soporte de motor.*



**Nota:** Soporte de motor a ser prototipado en impresión 3D.

**Fuente:** Autores.

### Tabla 8

*Propiedades cuantitativas del ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).*

Propiedades	Método ASTM	Unidad	Grados de ABS		
			Alto impacto	Impacto medio	Bajo impacto
Resistencia al impacto, prueba Izod	D2546	J/m	375 - 640	215 - 375	105 - 215
Resistencia a la tracción	D638	Kg/mm <sup>2</sup>	3,3 - 4,2	4,2 - 4,9	4,2 - 5,3
Elongación	D638	%	15 - 70	10 - 50	5 - 30
Dureza	D785	HRC	88 - 90	95 - 105	105 -110
Peso específico	D792	gr.	1,02 - 1,04	1,04 - 1,05	1,05 - 1,07

**Nota:** Propiedades cuantitativas del ABS según Molina (2016).

Por ultimo, para montar y posicionar el aluminio se incorpora mesa de trabajo, en este caso una "mesa de sacrificio", en donde el material es sujetado mediante tornillos. Se trata de una plancha de MDF de 710 mm X 624 mm X 18 mm, la cual se acopla a una estructura de perfiles, ver figura 14.

## Figura 14

*Mesa de trabajo*



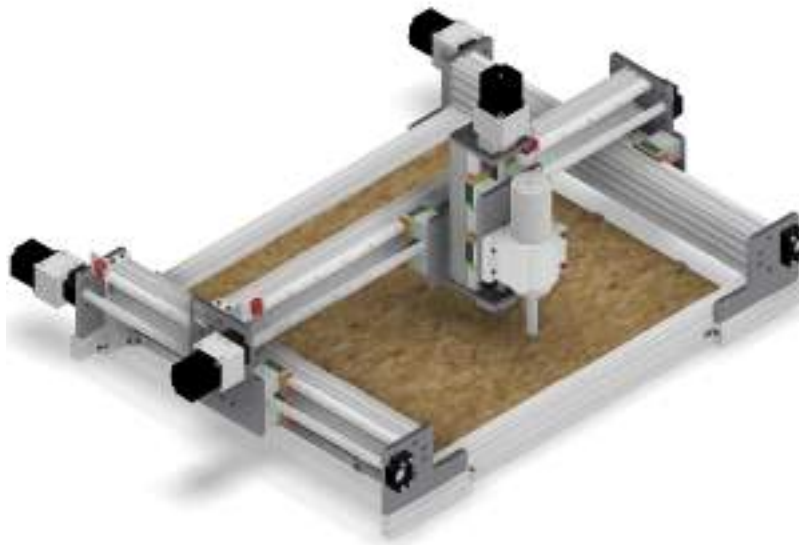
**Nota:** Estructura de la mesa de trabajo.

**Fuente:** Autores.

En la figura 15, se presenta el diseño mecánico final de la máquina CNC.

## Figura 15

*Diseño mecánico de la máquina CNC.*



**Nota:** Se presenta la máquina CNC incorporados todos los elementos.

**Fuente:** Autores.

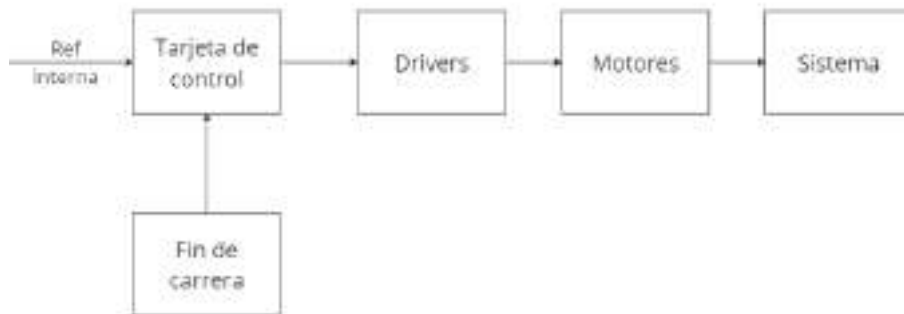
### 5.2.2. Diseño del sistema de control y eléctrico

El lazo de control que define el funcionamiento de este sistema es un lazo abierto. En este sentido, la señal de referencia actúa sobre el controlador y este a su vez comanda al actuador para producir el valor o efecto deseado en la señal de salida del sistema. Cabe destacar que este tipo de sistemas no corrigen las perturbaciones y son simplemente comandados por la entrada (Nise, 2006).

Como se puede observar en la figura 16, la referencia del sistema es enviada hacia la tarjeta de control, la misma que comanda los motores, sin embargo, por la diferencia de corriente entre la tarjeta de control (señal de baja corriente) y los motores (señal de alta corriente) es necesario intercalar amplificadores de corriente (conocidos como drivers), luego, la señal es enviada hacia el sistema o planta controlada logrando así el movimiento de cada uno de los ejes de la máquina CNC. Cabe destacar que se tiene una señal limitadora del desplazamiento de cada uno de los ejes la misma que es generada por dispositivos instalados en los extremos de la estructura (interruptores de fin de carrera NC) lo que quiere decir que mientras estos no se encuentran accionados el sistema podrá funcionar normalmente hasta que uno de ellos sea accionado y corte la señal de entrada, en otras palabras, la máquina detenga su movimiento. Debido a que se tiene un lazo abierto no es necesario el modelo matemático para el análisis de la estabilidad en función de las constantes físicas y de control del sistema.

**Figura 16**

*Esquema de control.*



**Nota:** Esquema de control que se implementa en la máquina CNC.

**Fuente:** Autores.

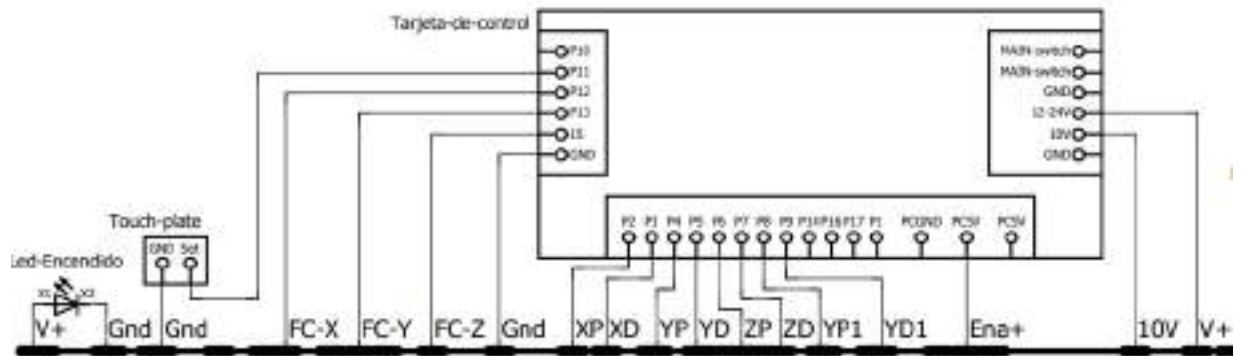
Con base a este principio, se considera el voltaje y el tipo de conexión que posee la empresa para seleccionar las protecciones y los elementos nuevos que son necesarios, tanto para la seguridad del usuario, como para la vida útil y el correcto funcionamiento de la máquina, por ejemplo, el uso de breakers, relés diferenciales, switch ON/OFF y sensores fin carrera. Así como también se tiene en cuenta los elementos que previamente se encontraban instalados y serán usados en la nueva máquina, como son la tarjeta de control, los drivers de los motores y la fuente de poder. Por lo tanto, en este caso se cuenta con una conexión de 220 V bifásica, por lo que todos los componentes antes mencionados deben cumplir con el voltaje y tener mínimo 2 polos.

Para realizar las conexiones en la tarjeta de control, drivers de motores, motores, fuente de poder, sensores fin carrera, variador de frecuencia y husillo, se usan los esquemas presentados en la figuras 17, 18, 19, 20 y 21 respectivamente, sabiendo que:

- V+ : voltaje de la fuente de poder.
- Gnd : tierra.
- FC-X : fin carrera para el eje X.
- FC-Y : fin carrera para el eje Y.
- FC-Z : fin carrera para el eje Z.
- XP/YP/ZP/YP1 : PULL- para los ejes X/Y/Z/YP1 respectivamente.
- XD/YD/ZD/YD1 : DIR- para los ejes X/Y/Z/YP1 respectivamente.
- Ena+ : PULL+, DIR+ y ENA+.
- 10V : VI del variador de frecuencia.
- L1 : línea 1 de la conexión 200V bifásica.
- L2 : línea 2 de la conexión 200V bifásica.
- N : neutro de la conexión 200V bifásica.

**Figura 17**

*Tarjeta de control.*

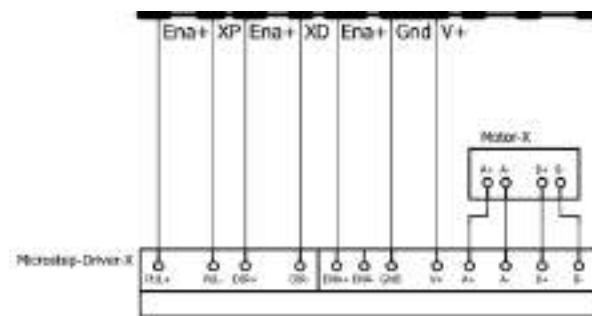


**Nota:** Esquema eléctrico de la tarjeta de control Bob Mach.

**Fuente:** Autores.

**Figura 18**

*Driver para los motores.*

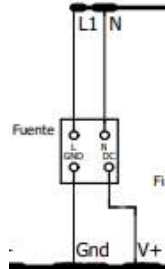


**Nota:** Esquema eléctrico del driver para los motores DM542.

**Fuente:** Autores.

### Figura 19

*Fuente de alimentación.*

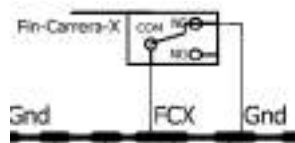


**Nota:** Esquema eléctrico de la fuente de poder.

**Fuente:** Autores.

### Figura 20

*Sensor fin carrera.*



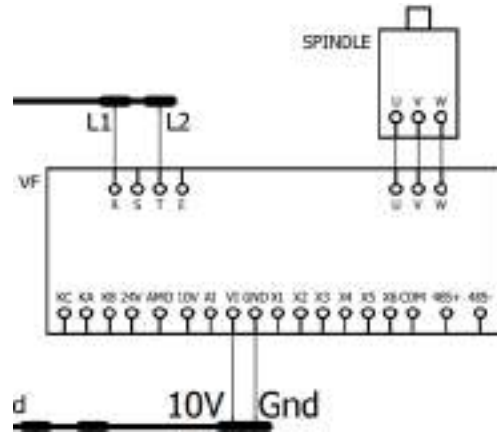
**Nota:** Esquema eléctrico del sensor fin carrera.

**Fuente:** Autores.



**Figura 21**

*Variador de frecuencia, realizado por las Autores.*



**Nota:** Esquema eléctrico del variador de frecuencia y spindle.

**Fuente:** Autores.

### 5.3. Análisis del comportamiento estructural

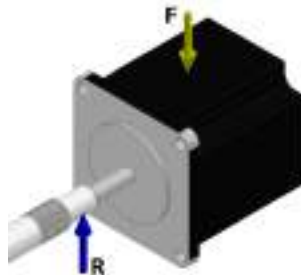
Para analizar correctamente el comportamiento de la estructura, se divide por componentes y de esta manera conocer como se comporta cada elemento ante las fuerzas que actúan sobre cada uno de ellos.

#### 5.3.1. Planteamiento analítico del comportamiento del motor y el eje del husillo

Como se puede observar en la figura 15, los motores tanto del eje X como de los ejes Y, se encuentran suspendidos en el aire, por lo que es fundamental estudiar la deformación que presentan a razón de su propio peso. Por lo tanto, el sistema se define por una fuerza ubicada en el motor y un apoyo fijo que se encuentra en el eje del husillo, como se muestra en la figura 22.

## Figura 22

*Fuerzas en el conjunto motor-eje husillo.*



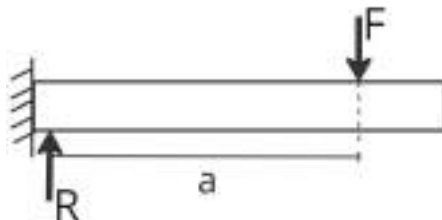
**Nota:** Se presentan las fuerzas que actúan en el conjunto motor-eje husillo.

**Fuente:** Autores.

El estudio simula un sistema de viga en voladizo por lo que el diagrama de fuerzas se representa en la figura 23.

## Figura 23

*Diagrama de fuerzas del motor y el husillo.*



**Nota:** Se presenta el esquema de fuerzas de una viga en voladizo.

**Fuente:** Autores.

Donde F es el peso del motor NEMA 23, es decir, 70 N y R es la reacción del apoyo fijo. Dado esto, la deformación se define mediante la siguiente fórmula

**Deformación total**

$$\delta = \frac{PL}{EA} \quad (8)$$

Donde:

P = Fuerza aplicada [N]

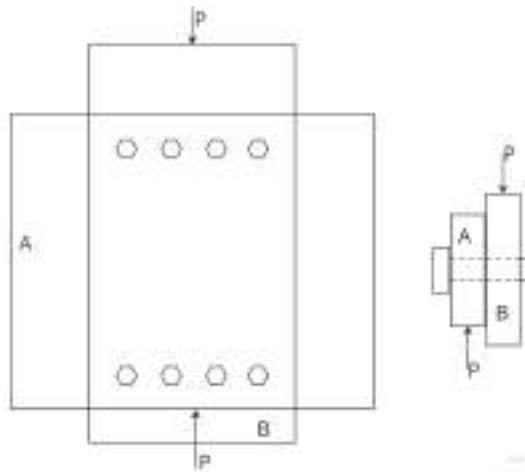
$L$  = Longitud del elemento [m]  
 $E$  = Módulo de elasticidad [Pa]  
 $A$  = Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>]

### 5.3.2. Planteamiento analítico de los esfuerzos generados en los componentes de sujeción

Para realizar el ensamble de los elementos mecánicos como son las placas de sujeción, se hace uso de pernos y tuercas. Al acoplar dos placas de sujeción con pernos, en donde se aplica una carga a una de ellas y la otra es un apoyo fijo, el perno va a estar sometido a distintas fuerzas, como se puede observar en la figura 24, lo que provoca distintos esfuerzos en el mismo, como son el esfuerzo cortante y el esfuerzo de apoyo. Es importante considerar que el resultado de los esfuerzos que se generan, ya sean obtenidos mediante las ecuaciones 9 y 10 o el método de elementos finitos, no debe ser mayor al esfuerzo cortante admisible o al esfuerzo de tensión admisible, respectivamente.

**Figura 24**

*Diagrama de fuerzas en los componentes de sujeción.*



**Nota:** Esquema de fuerzas que generan un esfuerzo cortante y de apoyo en los pernos.

**Fuente:** Autores.

**Esfuerzo cortante**

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (9)$$

Donde:

$P$  = carga sobre cada perno [N/m<sup>2</sup>]

A = área en la que actúa la fuerza [mm<sup>2</sup>]

### **Esfuerzo de apoyo o de aplastamiento**

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (10)$$

Donde:

P = carga sobre cada perno [N/m<sup>2</sup>]

A = área proyectada en la que actúa la fuerza [mm<sup>2</sup>]

En este sentido, los ensambles mas críticos en donde se aplica los análisis se presentan en las figuras 25 y 26, en el primer caso la carga aplicada es generada por el peso los componentes del eje Z, mientras que en el segundo caso la carga se presenta por el peso del spindle y su sujeción, en ambos casos el apoyo fijo se encuentra en la placa de sujeción.

### **Figura 25**

*Fuerzas en el conjunto sujeción eje Y-eje Z.*



**Nota:** Se presentan las fuerzas que actúan en los pernos de la sujeción del eje Y con el eje Z.

**Fuente:** Autores.

## Figura 26

*Fuerzas en el conjunto sujeción eje Z-sujeción spindle-spindle.*



**Nota:** Fuerzas en la sujeción del eje Z con el spindle y su sujeción.

**Fuente:** Autores.

### 5.3.3. Planteamiento analítico de la deformación del eje Z

El último análisis que se realiza en la máquina CNC es la deformación en el perfil del eje Z, a causa del peso que generan los componentes del eje, como son los rieles, bloques lineales, motor, husillo, espaciadores, spindle y bracket, como se ilustra en la figura 27.

## Figura 27

*Fuerzas aplicadas en el eje Z.*



**Nota:** Esquema de fuerzas aplicadas en el eje Z.

**Fuente:** Autores.

Por lo tanto, para obtener la deformación total del perfil se plantea como base el principio descrito en el apartado 5.3.1 (viga en voladizo), en donde, en este caso, la fuerza aplicada en el extremo de la viga indica la suma de los pesos de todos los componentes que conforman el eje Z, el cual es aproximadamente 90 N.

Sin embargo, ya que el análisis de los conjuntos se van a realizar mediante el método de elementos finitos, es decir, mediante la creación de una malla que defina con precisión la geometría de los componentes para obtener resultados fiables. No obstante, la creación de las mallas implican un gran procesamiento computacional y al presentar mayor número de elementos con formas irregulares la capacidad que se requiere aumenta. Por lo tanto, se halla una manera equivalente de resolver este problema mediante el siguiente planteamiento.

Como se puede observar en la figura 28 desde la placa de sujeción (punto A) hasta el radio del spindle (punto B) se tiene una distancia X y en el punto B se tiene la fuerza de 90 N mencionada anteriormente, lo que a su vez crea un momento alrededor del punto A, el cual se calcula de la siguiente forma.

**Par torsional**

$$\tau = \frac{P}{d} \quad (11)$$

Donde:

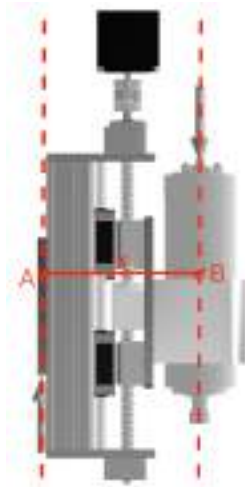
P = fuerza aplicada [N]

$d = \text{distancia [m}^2\text{]}$

En consecuencia, la deformación del eje Z se analizará mediante el par calculado que se representa en la figura 29.

**Figura 28**

*Segundo planteamiento para el análisis del eje.*



**Nota:** Segundo planteamiento para el análisis del eje Z.

**Fuente:** Autores.

## Figura 29

*Momentos generados en el eje Z*



**Nota:** Momentos generados en el eje Z.

**Fuente:** Autores.

### 5.3.4. Factores de mallado

Para los análisis del comportamiento de la estructura de la máquina CNC se utilizará el software ANSYS, en donde se requiere generar una malla y evaluar su calidad para obtener resultados precisos. ANSYS (2010) describe las siguientes métricas de mallado.

- Element Quality: se basa en la relación entre el volumen y la longitud del borde de cada elemento de un modelo, si la calidad se encuentra entre 0,8 y 1 los resultados de los análisis son considerados efectivos.
- Aspect Ratio: el cálculo se puede realizar mediante triángulos o cuadrados, ya que usa los nodos que se forman en las esquinas de los elementos del modelo. Si se obtiene un “1” indica que la forma de los elementos son triángulos equiláteros o cuadrados, cuando el valor es cercano a “20”, puede existir fallas al momento de crear la malla.
- Jacobiano Ratio: este cálculo se realiza a todos los elementos excepto a triángulos y cuadriláteros que sean lineales, es decir no contengan nodos centrales, o tengan sus nodos medios perfectamente centrados. Mientras mayor sea el resultado se incrementa la posibilidad de que se rompan los elementos.



- Warping Factor: Al tener un factor alto puede generar una falla al momento de generar la malla debido a la distorsión que puede presentar. Los elementos para este cálculo son algunos cuadriláteros y caras cuadriláteras de ladrillos y pirámides.
- Skewness: se basa en la asimetría de una cara del elemento y su proximidad a la ideal, que puede ser un triángulo equilátero o un cuadrado. La calidad de la malla depende del valor de la métrica, si el valor se encuentra entre 0 y 0,5 es considerada una malla aceptable.

#### **5.4. Presupuesto**

En la tabla 9 se detalla el costo de los elementos y la inversión total, incluido el costo de la mano de obra, sabiendo que la mayoría de los componentes se adquieren en la empresa Perfiles CNC, cabe recalcar que los componentes que requieren ser cortados como son los perfiles y las rieles se les debe sumar el 5% de su costo; a excepción de las placas de sujeción, breaker, relé diferencial, switch ON/OFF, sensores fin carrera y planchas de MDF. Las cotizaciones se presentan en los anexos 58, 59 y 60.

**Tabla 9***Presupuesto máquina CNC.*

<b>Presupuesto máquina CNC</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
4	Motor Nema 23	65,00	260,00
1	Husillo de bolas SFU1204X350mm + BK/BF10	94,50	94,50
2	Husillo de bolas SFU1605X750mm + BK/BF12	115,05	230,10
1	Husillo de bolas SFU1605X1000mm + BK/BF12	130,00	130,00
1	Montaje de tuerca SFU1204	10,21	10,21
3	Montaje de tuerca SFU1605	13,50	40,50
16	HGW15CA	26,88	430,08
1	HGR15 4 metros	67,07	67,07
2	Personal	450,00	900,00
1	Perfil de aluminio V 20X40 - 3 metros	48,00	48,00
1	Perfil de aluminio V 20X80 - 1 metro	24,00	24,00
1	Perfil de aluminio Cbeam 40X80 - 3 metros	108,30	108,30
1	Sujeciones	380,80	380,80
1	Kit spindle de 0.8kW	435,00	435,00
1	Mesa de trabajo	8,33	8,33
1	Componentes eléctricos	225,50	225,50
1	Componentes de sujeción	96,58	96,58
	<b>Total</b>		<b>3488,97</b>

**Nota:** Elaborado por los Autores.**Fuente:** Autores.

## 5.5. Construcción y prueba de funcionamiento

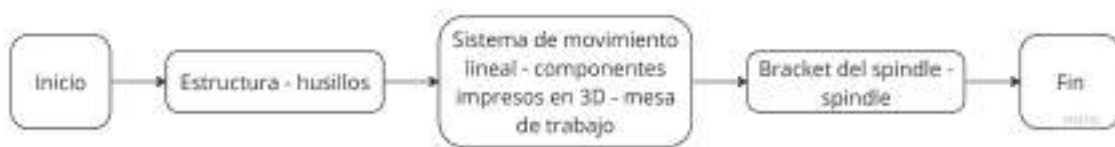
Se presenta un resumen de la construcción tanto del sistema mecánico como del sistema eléctrico, además se describe el proceso para realizar la prueba de funcionamiento.

### 5.5.1. Construcción del sistema mecánico

La construcción del componente mecánico se realiza según el diagrama de flujo de la figura 30, a continuación se describe cada uno de los pasos a seguir considerando que en todos los pasos se debe incorporar los componentes de sujeción adecuados, como los accesorios de sujeción, los pernos y las tuercas.

#### Figura 30

*Ensamble del sistema mecánico.*



**Nota:** Diagrama de flujo para realizar el ensamble del sistema mecánico.

**Fuente:** Autores.

1. De acuerdo al eje se acopla el husillo, el montaje de tuerca, las placas de sujeción, el perfil y las chumaceras; en la siguiente imagen se visualiza el ensamble del eje Z, mientras que en la figura 32 se presenta este primer ensamble en todos los ejes.

#### Figura 31

*Primer ensamble del eje Z.*



**Nota:** Ensamble de estructura-husillo del eje Z.

**Fuente:** Autores.

### **Figura 32**

*Primer ensamble de los ejes X-Y-Z.*



**Nota:** Ensamble de estructura-husillo de los ejes X-Y-Z.

**Fuente:** Autores.

2. A continuación, se incorpora el sistema de movimiento lineal, compuesto por la riel y los 4 bloques con sus espaciadores, así como también los motores con sus respectivos soportes.
3. Se colocan los sensores con los soportes en los extremos de cada eje.
4. Se coloca los perfiles para la mesa de trabajo y la mesa de trabajo (mdf), ver figura 33.

### **Figura 33**

*Segundo ensamble de los ejes X-Y-Z.*



**Nota:** Ensamble de estructura-husillo de los ejes X-Y-Z.

**Fuente:** Autores.

5. Se finaliza acoplando el bracket y el spindle al eje Z, como se muestra a continuación.

### **Figura 34**

*Ensamble de la herramienta.*



**Nota:** Ensamble del bracket y el spindle.

**Fuente:** Autores.

El sistema mecánico final de la máquina construido, se presenta en siguiente la imagen.

**Figura 35**

*Ensamble mecánico final.*



**Nota:** Ensamble mecánico de la máquina.

**Fuente:** Autores.

### 5.5.2. Construcción del sistema eléctrico

Una vez adquiridos los componentes necesarios, el proceso a seguir para realizar la construcción del sistema eléctrico se presenta en la figura 36 y posteriormente se detalla este proceso.

**Figura 36**

*Ensamble del sistema eléctrico.*



**Nota:** Diagrama de flujo para realizar el ensamble del sistema eléctrico.

**Fuente:** Autores.

1. Colocar en el exterior del gabinete de control los siguientes componentes: interruptor de paro de emergencia, interruptor ON/OFF y luz piloto, ver figura 37.

### **Figura 37**

*Gabinete externo.*



**Nota:** Se presenta los componentes que se colocan al exterior del gabinete.

**Fuente:** Autores.

2. Al interior del gabinete de control instalar la fuente de alimentación, variador de frecuencia, tarjeta de control, drivers para motores y un riel metálico, el cual se coloca el breaker, el relé diferencial y las borneras; por otro lado, para una correcta distribución del cableado se colocan canaletas ranuradas, ver figura 38.

### Figura 38

*Gabinete interno.*



**Nota:** Se presenta los componentes que se colocan al interior del gabinete.

**Fuente:** Autores.

3. Se realiza el cableado y el etiquetado tanto de los componentes internos y externos del gabinete de control, como de los elementos colocados en el sistema mecánico, motores, sensores y spindle, ver imagen 39.



### Figura 39

*Cableado y etiquetado.*



**Nota:** Se presenta la caja de control cableado y etiquetado.

**Fuente:** Autores.

En la imagen 40 se visualiza la caja de control construida con todos los componentes y las conexiones adecuadas.

## Figura 40

*Caja de control nueva.*



**Nota:** Se presenta la caja de control construida.

**Fuente:** Autores.

### 5.5.3. Pruebas de funcionamiento

A continuación en la figura 41 se presentan los pasos a seguir para realizar las pruebas de funcionamiento con la respectiva descripción del proceso:

**Figura 41**

*Procedimiento de la prueba de funcionamiento.*



**Nota:** Diagrama de flujo para realizar la prueba de funcionamiento.

**Fuente:** Autores.

- Se inicia encendiendo la máquina CNC.
- A continuación se realiza la puesta a cero de la máquina, con ayuda de los sensores fin carrera.
- Mediante la interfaz gráfica se direccionan cada uno de los ejes, de manera que se realice el mecanizado.
- Una vez que se realiza el mecanizado, se verifica las dimensiones, utilizando un calibrador.

- Para finalizar, se verifica que las dimensiones se encuentren dentro de una tolerancia de  $\pm 0,05$  mm, en el caso que no se cumpla esta condición, se procede a ajustar el valor del paso del motor en cada eje. Por el contrario, si las medidas son las deseadas se da por finalizada la prueba de funcionamiento.

## **6. Resultados**

### **6.1. Análisis por el Método de Elementos Finitos**

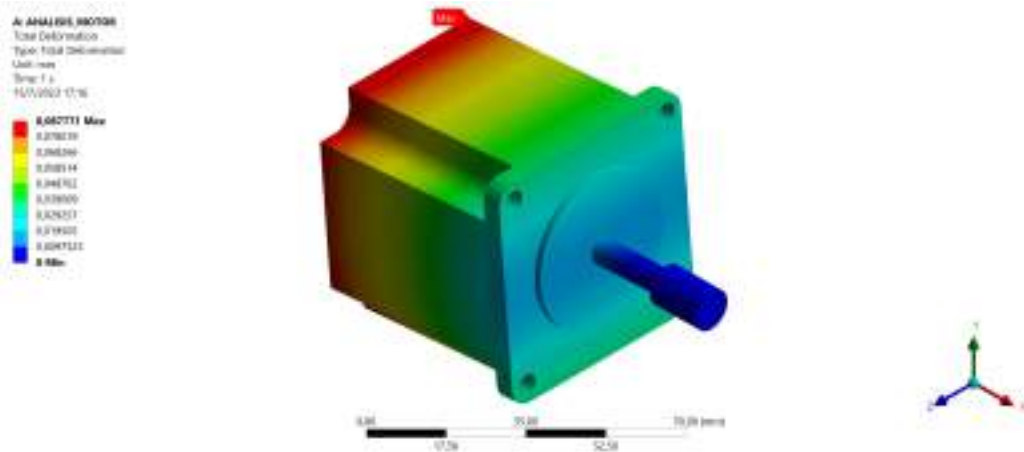
Tomando como premisa los planteamientos analíticos realizados en el apartado 5.3, en esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos debido a la complejidad de la forma de los componentes, tales como los perfiles de aluminio, bloques lineales, husillos, etc.

#### **6.1.1. Análisis del motor y eje del husillo**

En primer lugar se estudia el comportamiento del motor correspondiente al eje X con su respectivo husillo al experimentar una carga sobre el motor, ya que es necesario conocer la existencia de posibles deformaciones que afecten el correcto funcionamiento de la CNC. Para esto, se considera que el material de los componentes es acero y la fuerza aplicada es igual al peso del motor, es decir, aproximadamente 7 N y el soporte fijo es la porción del eje del husillo que se encuentra en la chumacera.

**Figura 42**

*Deformación total*

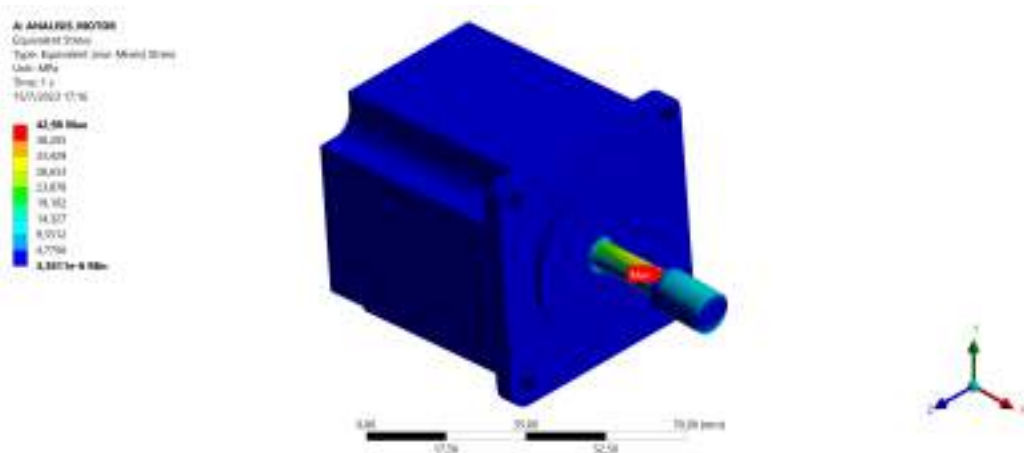


**Nota:** Deformación total del motor junto al husillo.

**Fuente:** Autores.

**Figura 43**

*Equivalente de Von Mises*

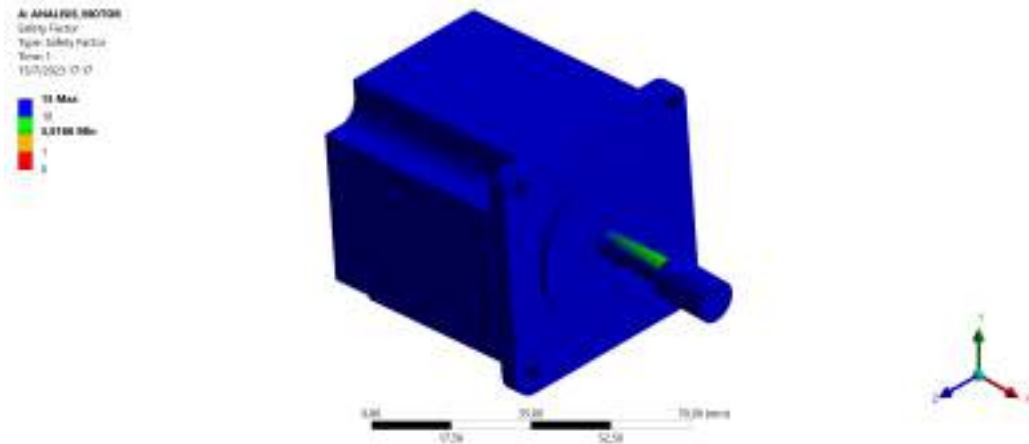


**Nota:** Equivalente de Von Mises del motor junto al husillo.

**Fuente:** Autores.

**Figura 44**

*Factor de seguridad debido a la tensión*

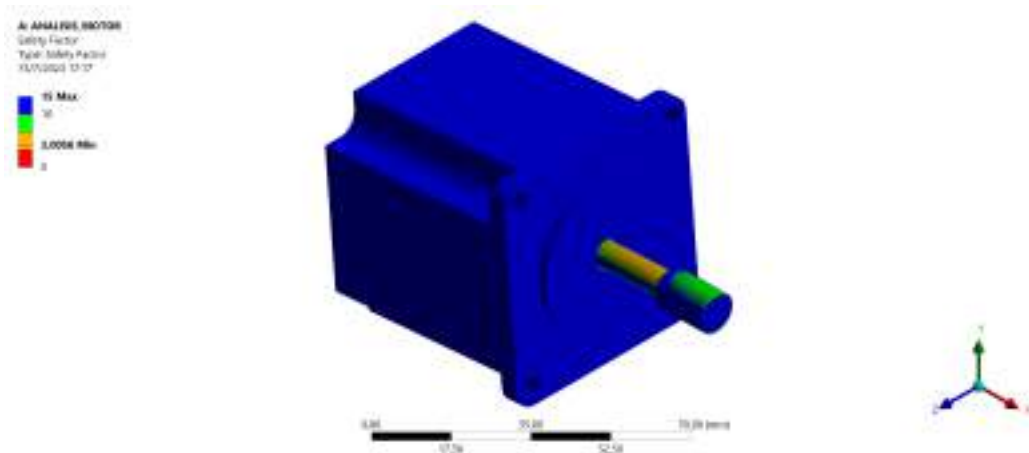


**Nota:** Factor de seguridad debido a la tensión del motor junto al husillo.

**Fuente:** Autores.

**Figura 45**

*Factor de seguridad debido a la fatiga*



**Nota:** Factor de seguridad debido a la fatiga del motor junto al husillo.

**Fuente:** Autores.

Como se observa en la figura 42 la deformación máxima total que va a experimentar el

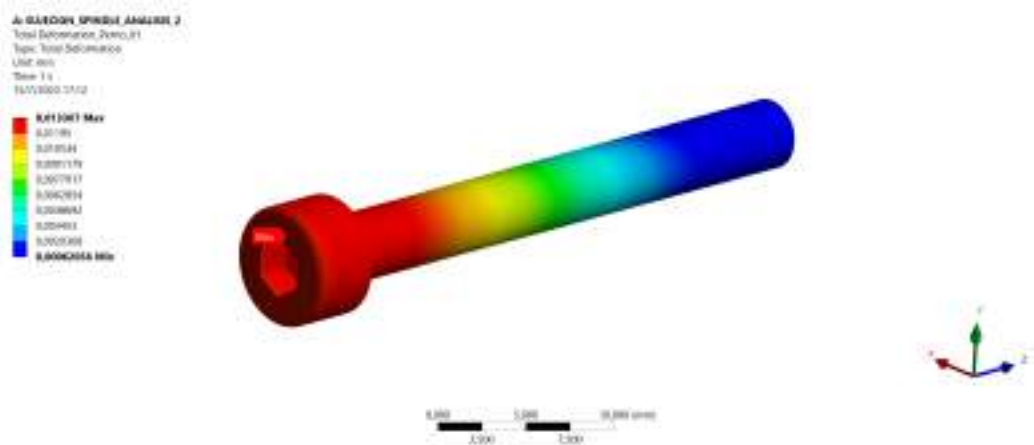
conjunto (motor y husillo) es de 0,0877 mm, lo cual no representa mayor efecto sobre los elementos estudiados. Por otro lado, según la figura 43 se alcanza un esfuerzo máximo de 42,98 MPa y considerando que los valores de esfuerzo último y admisible del material, en este caso acero, son de 460 MPa y 250 MPa, respectivamente, la fuerza aplicada es soportada sin mayor inconveniente. Por último, las figuras 44 y 45 indican que el factor de seguridad del conjunto es el adecuado, es decir que la relación entre la carga que pueden soportar los elementos y la carga máxima que realmente admite son capaces de evitar roturas en las piezas, por lo tanto, estos resultados indican que el comportamiento de este sistema es adecuado.

### 6.1.2. Análisis de los componentes de sujeción

Por otro lado, se estudia el comportamiento de los pernos en el ensamble más crítico, es decir, el bracket y la placa de sujeción, ya que además de experimentar el esfuerzo cortante debido a las tensiones paralelas al eje transversal, también existe el torque generado por el husillo. En este sentido, para el análisis se considera que el perno es de acero y la fuerza es igual a la suma de los pesos de la placa de sujeción, el bracket y el spindle, es decir, 40 N y el torque del spindle es de 0,2 Nm.

**Figura 46**

*Deformación total del perno.*

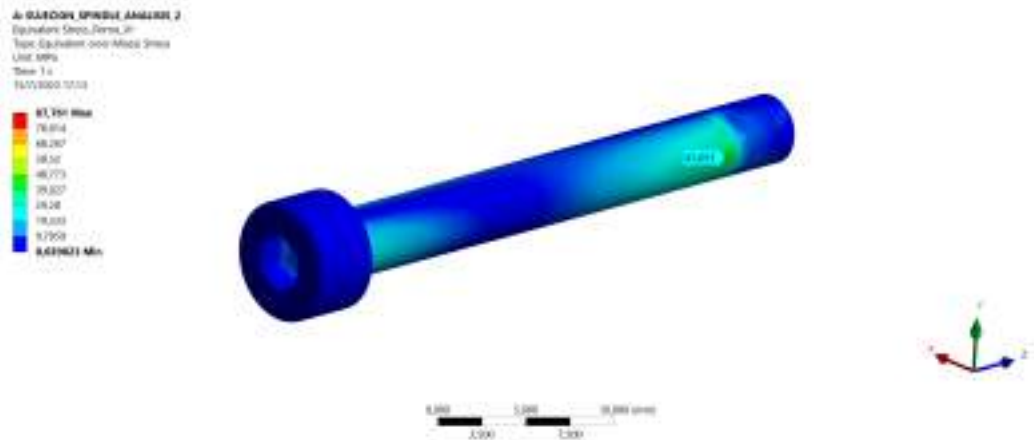


**Nota:** Deformación total del perno entre las sujeciones de los ejes.

**Fuente:** Autores.

## Figura 47

*Tensión equivalente de Von Mises del perno.*



**Nota:** Tensión equivalente de Von Mises del perno entre las sujeciones de los ejes.

**Fuente:** Autores.

Como se observa en la figura 46 la deformación máxima total que experimenta el perno bajo las cargas radiales que se generan gracias a las sujeciones de los ejes es de 0,013367 mm, lo cual no representa mayor efecto en el componente. Por otro lado, según la figura 47 se alcanza un esfuerzo máximo de 87,761 MPa y considerando que los valores de esfuerzo último y admisible del material; en este caso acero, son de 460 MPa y 250 MPa, respectivamente, la fuerza aplicada es soportada sin mayor inconveniente.

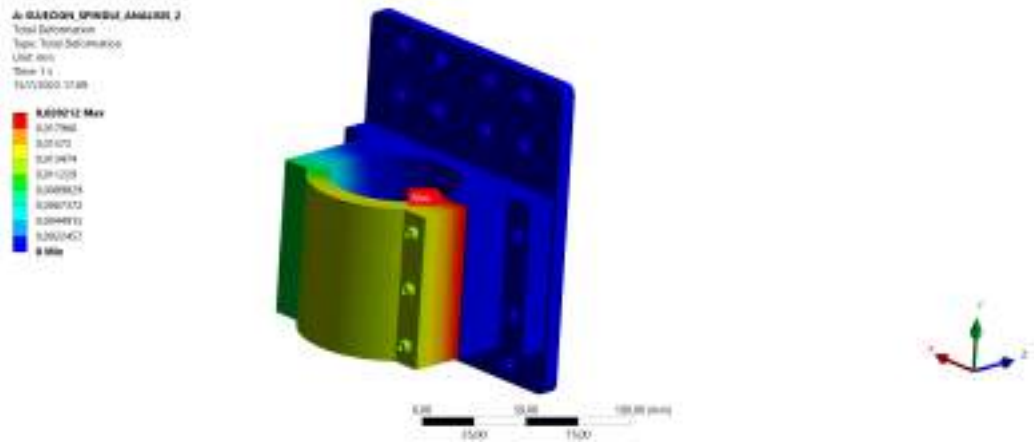
### 6.1.3. Análisis de las sujeciones del spindle

A continuación, se estudia el comportamiento del bracket y la sujeción del eje Z, debido a que es indispensable conocer las posibles deformaciones que se presentan a causa del peso de los componentes y el momento generado por el spindle. Por lo tanto, se considera a los dos componentes de aluminio, una carga de 40 N y el torque de 0,2 Nm.



**Figura 48**

*Deformación total de las sujeciones del spindle.*

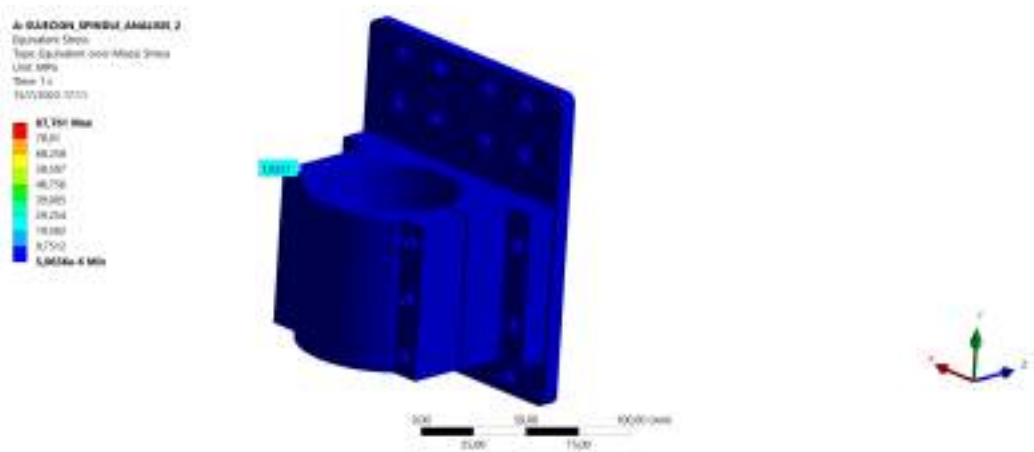


**Nota:** Deformación total de la sujeción y el bracket del spindle.

**Fuente:** Autores.

**Figura 49**

*Tensión equivalente de Von Mises de las sujeciones del spindle*

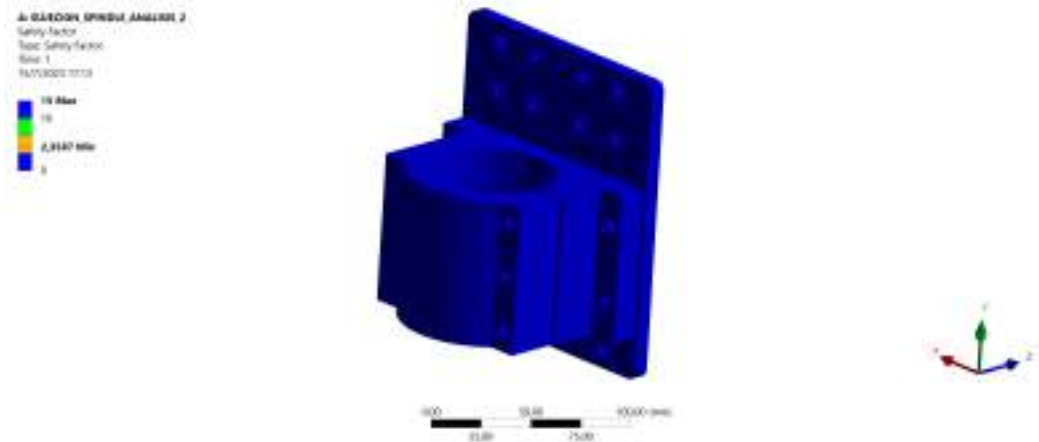


**Nota:** Tensión equivalente de Von Mises de la sujeción y el bracket del spindle.

**Fuente:** Autores.

## Figura 50

*Factor de seguridad debido a la tensión de las sujeciones del spindle.*



**Nota:** Factor de seguridad debido a la tensión de la sujeción y el bracket del spindle.

**Fuente:** Autores.

Como se observa en la figura 48 la deformación máxima total que experimenta el conjunto sujeción y bracket es de 0,020212 mm, lo cual no representa mayor efecto en los componentes. Por otro lado, según la figura 49 se alcanza un esfuerzo máximo de 87,761 MPa y considerando que los valores de esfuerzo último y admisible del material; en este caso aluminio, son de 310 MPa y 280 MPa, respectivamente, la fuerza aplicada es soportada sin mayor inconveniente.

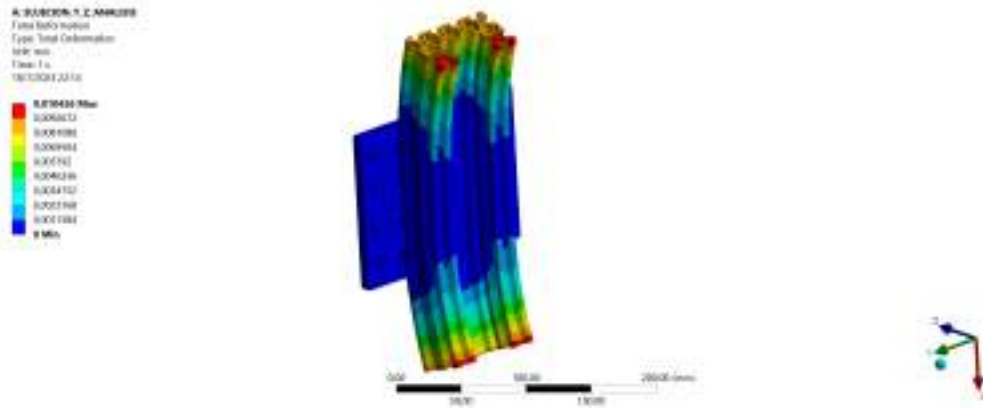
Por último, la figura 50 indica que el factor de seguridad del conjunto es el adecuado, es decir que la relación entre la carga que pueden soportar los elementos y la carga máxima que realmente admite son capaces de evitar roturas en las piezas, por lo tanto, estos resultados indican que el comportamiento de este sistema es adecuado.

### 6.1.4. Análisis del eje Z

En el caso del eje Z, se considera los pesos de todos los componentes del eje: bloques y rieles lineales, espaciadores, motor, spindle, placas de sujeción, entre otros, ya que generan una fuerza de 90 N aplicada en el perfil. Sin embargo, como se menciona en el planteamiento del apartado 5.3.3 por efectos de facilidad de análisis el torque que se produce en el conjunto es de 17 Nm y el soporte fijo se encuentra en la parte posterior de la placa de sujeción.

**Figura 51**

*Deformación total del eje Z.*

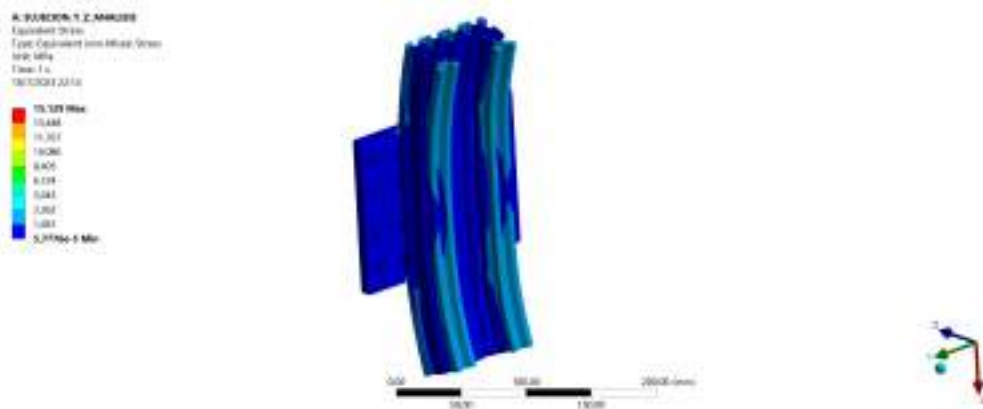


**Nota:** Deformación total de la sujeción y el eje Z, elaborado por las Autores.

**Fuente:** Autores.

**Figura 52**

*Tensión equivalente de Von Mises del eje Z.*

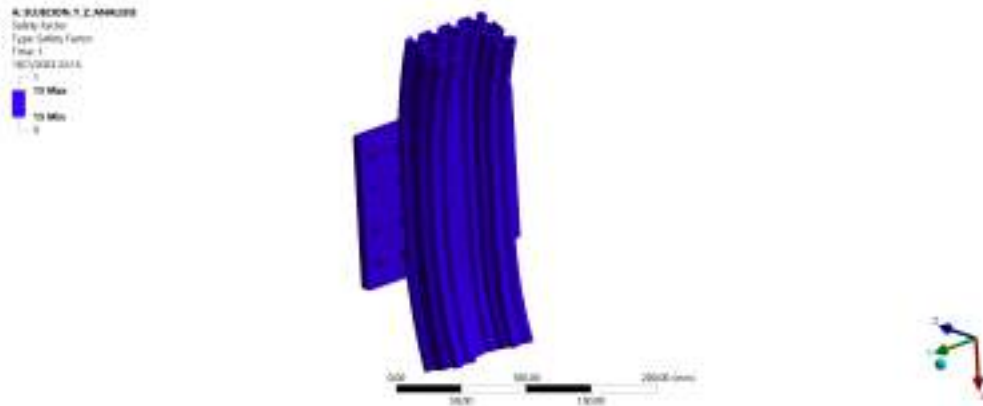


**Nota:** Tensión equivalente de Von Mises de la sujeción y el eje Z.

**Fuente:** Autores.

## Figura 53

*Factor de seguridad debido a la tensión del eje Z.*



**Nota:** Factor de seguridad debido a la tensión de la sujeción y el eje Z.

**Fuente:** Autores.

Como se presenta en la figura 51 la deformación máxima total que experimenta el eje Z es de 0,010426 mm, lo cual no representa mayor efecto en los componentes. Por otro lado, según la figura 52 se alcanza un esfuerzo máximo de 15,129 MPa y considerando que los valores de esfuerzo último y admisible del material; en este caso aluminio, son de 310 MPa y 280 MPa, respectivamente, la fuerza aplicada es soportada sin mayor inconveniente.

Por último, la figura 53 indica que el factor de seguridad del conjunto es el adecuado, es decir que la relación entre la carga que pueden soportar los elementos y la carga máxima que realmente admite son capaces de evitar roturas en las piezas, por lo tanto, estos resultados indican que el comportamiento de este sistema es adecuado.

## 6.2. Máquina CNC

En la imagen 54 se visualiza la máquina CNC construida con las conexiones adecuadas hacia la caja de control.

**Figura 54**

*Máquina CNC.*



**Nota:** Máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio final.

**Fuente:** Autores.

Cabe recalcar que para el funcionamiento normal de la máquina se lleva a cabo el procedimiento presentado en la figura 55. A diferencia de la prueba de funcionamiento, en este caso se genera y se ejecuta un código G de la pieza que se desea mecanizar, considerando que una vez realizada la prueba de funcionamiento el cero máquina ya se encuentra establecido y los parámetros de corte ya son los adecuados para que el mecanizado se encuentre dentro de la tolerancia admitida, sin embargo, en caso de que no cumpla con esta condición será necesario volver a calibrar los parámetros de corte, en especial el valor del paso, con el objetivo de corregir la tolerancia del mecanizado final, caso contrario, el diagrama de flujo o el proceso se dará por finalizado.

**Figura 55**

*Procedimiento de funcionamiento.*



**Nota:** Diagrama de flujo para el funcionamiento normal de la máquina CNC.

**Fuente:** Autores.

Por otro lado, en la imagen 56 se presenta el trabajo realizado en una placa de aluminio de 10 mm por la máquina que disponía la empresa anteriormente, mientras que en la imagen 57 se puede visualizar el mecanizado de la nueva máquina en la misma placa de aluminio.

**Figura 56**

*Mecanizado 1.*

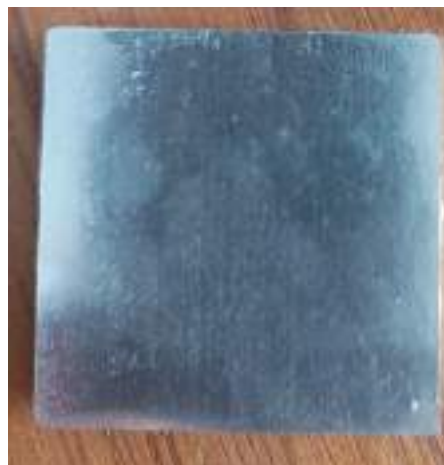


**Nota:** Se presenta el mecanizado realizado por la máquina CNC que se encontraba en la empresa.

**Fuente:** Autores.

**Figura 57**

*Mecanizado 2.*



**Nota:** Se presenta el mecanizado realizado por la nueva máquina CNC.

**Fuente:** Autores.

## 7. Conclusiones

El objetivo principal del trabajo fue rediseñar y construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio para la empresa cuencana Perfiles CNC, tomando como premisa la máquina que disponían en el lugar la cual mecanizaba piezas de madera.

Para lograr el objetivo de diseño mecánico, en primer lugar, cabe mencionar que al tratarse de un rediseño se estudiaron los componentes o sistemas que podían ser útiles para el nuevo diseño y los que debían ser modificados. En consecuencia, el sistema de movimiento y la herramienta de corte tuvieron mayor impacto en cuanto a modificaciones se refiere, ya que se usaron rieles y bloques lineales, husillos de bolas y un spindle de mayor potencia. Por otro lado, para los elementos que se diseñaron, es decir, placas de sujeción y soportes se consideraron las geometrías y dimensiones de los componentes normalizados, como son los perfiles de aluminio, chumaceras BK y BF, husillos de bola, motores, entre otros. Por último, para verificar que las características de diseño serán las correctas se utilizó el método de elementos finitos, dando como resultado que las deformaciones y esfuerzos que se generan en la máquina a causa de los pesos, el torque del spindle y el movimiento de los ejes cumplen con las mínimas exigencias para su puesta en marcha, ya que se encuentran dentro de los parámetros admisibles.

En cuanto a los diseños de control y eléctrico; se trata de un sistema en lazo abierto, debido a que no se tiene una señal de retroalimentación que corrija la señal de salida, lo que caracteriza a un sistema de lazo cerrado. Los componentes implementados en la caja eléctrica fueron los mismos que poseía la máquina original, sin embargo, se adicionaron elementos en el sistema eléctrico de control de potencia con el objetivo de que el circuito tenga las protecciones adecuadas (relé diferencial, breaker e interruptor de paro de emergencia) y de esta manera garantizar la seguridad tanto del usuario como de la máquina. Así mismo, la distribución de los componentes se realizó de tal forma que se aproveche el espacio de la caja de control y las conexiones sean fáciles de realizar si se requiere un posterior mantenimiento.

Por último, tomando en cuenta las pruebas de funcionamiento realizadas y el producto final de un corte en una placa de aluminio realizado por la máquina de control numérico computarizado, se concluye que tanto el diseño como la construcción con las especificaciones propuestas en este proyecto garantizan la elaboración de mecanizados de alta calidad, ya que cuentan con una tolerancia de  $\pm 0,05$  mm, esto es en el caso de mecanizar placas de aluminio. De esta manera, el beneficio final será para la empresa que podrá brindar un nuevo servicio para sus usuarios. Es importante mencionar que la inversión realizada para la ejecución de este proyecto fue viable, puesto que el principal proveedor de los componentes a usarse fue la empresa beneficiaria y los elementos faltantes se consiguieron fácilmente en el medio local,



lo que a su vez implica que para los respectivos mantenimientos futuros del aparato no se tendrá mayor inconveniente para obtener repuestos.

## **8. Recomendaciones**

- Si bien la máquina fue diseñada para realizar el mecanizado en aluminio, se puede considerar trabajar con otros materiales como por ejemplo acero, para lo cual se va a requerir calcular los parámetros de corte adecuados.
- En el caso de que se requiera aumentar la profundidad del mecanizado por avance, los cálculos expuestos en el apartado 5.2.1. deberán ser reformulados según las necesidades.
- Si se desea aumentar la protección en el sistema eléctrico se puede adicionar fusibles, el mismo que se caracteriza por interrumpir el paso de picos de corriente y de esta manera evitar posibles averías.

## Referencias

- Alonso, D., Gil, J., y Martínez, F. (2015). *Prototipo de máquina fresadora cnc para circuitos impresos* (Tesis de Master no publicada). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- ANSYS, I. (2010, noviembre). Ansys meshing user's guide [Manual de software informático].
- Armas, J., y Chávez, G. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de cortadora laser cnc para el grabado y corte de madera (mdf) de un espesor 4 mm para la empresa servihardmetal* (Tesis de Master no publicada). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Caiza, T. (2022). *Diseño y construcción de una afiladora de herramientas de corte rotativas* (Tesis de Master no publicada). Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva.
- Carew, M. (2019, octubre). *Cnc router*. Descargado de <https://openbuilds.com/builds/openbuilds-workbee-1010-40-x-40.7198/>
- García, H. (2021). *Implementación de protocolo de comunicación para pruebas funcionales entre sistema embebido de bajo costo y secadora convencional de ropa* (Tesis de Master no publicada). CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada.
- Ginjaume, F., y Torre, F. (2005). Ejecución de procesos de mecanizado, conformado y montaje. En (p. 2). Ediciones Paraninfo S.A.
- González, H., y Rodríguez, Y. (2022). *Rediseño de una máquina cnc con un sistema hmi para la elaboración de circuitos impresos* (Tesis de Master no publicada). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Guanoluisa, H., y Sánchez, H. (2013). *Diseño y construcción de una máquina fresadora cnc de 3 grados de libertad con un volumen de trabajo útil de 500 x 500 x 100 mm para tallar madera alto y bajo relieve* (Tesis de Master no publicada). Escuela Politécnica Nacional.
- HIWIN, T. C. (2022, marzo). Linear guideway technical information (23rd ed.) [Manual de software informático]. Descargado de [https://www.hiwin.tw/download/tech\\_doc/gw/Linear\\_Guideway-\(E\).pdf](https://www.hiwin.tw/download/tech_doc/gw/Linear_Guideway-(E).pdf)
- Ilbay, E. (2020). *Manual de funcionamiento de máquina cnc de 2,5 ejes para mecanizado de modelos para laboratorio de fundición* (Tesis de Master no publicada). Universidad Pública de Navarra.
- Kalpakjian, S., y Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Prentice Hall.
- Medina, A., Sierra, M., y Gómez, D. (2011). Usando el protocolo de comunicación serial síncrono spi en la implementación de instrumentación digital. *Revista Matices*

*Tecnológicos.*

- Molina, J. V. (2016). *Caracterización de materiales termoplásticos de abs y pla semi - rígido impresos en 3d con cinco mallados internos diferentes* (Tesis de Master no publicada). Escuela Politécnica Nacional.
- Narváez, P. (2021). *Construcción de una máquina cnc de tres ejes, para minimizar los problemas medioambientales* (Tesis de Master no publicada). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Nise, N. S. (2006). *Sistema de control para ingeniería*. Compañía Editorial Continental.
- Perez, A., Ferrás, E., Pérez, M., y Fernández, J. (2014, dec). Síntesis, caracterización y propiedades de nylons 5,m. *Revista Cubana de Química*, 26(03).
- PerfilesCNC. (2023). *Productos*. Descargado de [https://perfilescnc.com/?post\\_type=product](https://perfilescnc.com/?post_type=product)
- Ramirez, J. (2021). *Diseño de portaherramientas para mecanizado en torno cnc mediante la reutilización de fresas de tungsteno* (Tesis de Master no publicada). Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Ruiz, P. (2011). *Diseño de una máquina cnc genérica* (Tesis de Master no publicada). Universidad Politécnica de Chiapas.
- Schvad, L. (2011). *Máquinas y herramientas* (Inf. Téc.). Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET).
- Systemes, D. (s/a). *Pla vs. abs: ¿qué filamento debe utilizar?* Descargado de <https://www.3ds.com/es/make/solutions/blog/pla-vs-abs>

# **ANEXOS**

## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 10

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cómo rediseñar y construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?	Rediseñar y construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	Se diseñará y construirá una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.		Máquina CNC.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá analizar las características principales de la máquina CNC actual de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.?	Analizar las características principales de la máquina CNC actual de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	Se analizará las características principales de la máquina CNC actual de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	-VI: Máquina CNC -VD: Mecanizado	Introducción al funcionamiento y características de la máquina CNC.
¿Es viable rediseñar los componentes mecánicos de una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?	Rediseñar los componentes mecánicos de una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	Se rediseñará los componentes mecánicos de una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	-VI: Máquina CNC -VD: Mecanizado	Sistema de mecanizado de 2,5 ejes. Herramientas de corte.
¿Es posible diseñar el sistema eléctrico y de control para una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca?	Diseñar el sistema eléctrico y de control para una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	Se diseñará el sistema eléctrico y de control para una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	-VI: Máquina CNC -VD: Mecanizado	Protocolo de comunicación.
¿Se podrá construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.?	Construir una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	Se construirá una máquina CNC para el mecanizado de placas de aluminio de la empresa Perfiles CNC - Cuenca.	-VI: Máquina CNC -VD: Mecanizado	

**Nota:** La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos, además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

## Anexo B: Operacionalización de Variables

La tabla 11 presenta la operacionalización de la variable dependiente: tiempo de operación.

**Tabla 11**

*Variable dependiente.*

VARIABLE DEPENDIENTE: Mecanizado				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o Fuente
<b>Mecanizado</b>	<p><b>Definición conceptual:</b> "Operación que consiste en dar forma o acabado a una pieza mediante un proceso que implica una pérdida de material, utilizando una herramienta de corte u otros procedimientos." (Ginjaume y Torre, 2005)</p> <p><b>Definición operacional:</b> Resultado de un trabajo en una máquina CNC.</p>	Frecuencia	Hz	Variador de frecuencia

**Nota:** La tabla presenta las definiciones de las dimensiones de la variable dependiente utilizada en la investigación, aplicadas en el rediseño y construcción de una máquina CNC, cada variable puede tener diferentes dimensiones y todas ellas deben ser medibles.

## Anexo C: Cotización de las placas de sujeción

Figura 58

Cotización 1.



**INGENIERIA DE MATRICERIA COMPUTARIZADA  
INGMATRICOM CIA. LTDA.**

Cuenca, 17 de abril de 2023.

Señora,  
NATHALY MOINA,  
Ciudad.

PRO FORMA: 236417

ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	10	Corte y perforaciones en placas de aluminio espesor 3mm. Incluye material	\$33.00	\$330.00
SUBTOTAL				\$330.00
12% IVA				\$39.60
TOTAL				\$369.60

TIEMPO DE ENTREGA: 7 días laborables.  
FORMA DE PAGO: 50% al momento del contrato y el 50% contra entrega.

Acreditamos  
INGMATRICOM CIA. LTDA.  
Ing. **PRISCILLA M. REPRESENTANTE LEGAL**  
Validez de la cotización: 10 días.

**INGMATRICOM**  
CIA. LTDA.

Dirección: Cornejo Vintimilla y Octavio Chacón  
Parque Industrial Cuenca Nueva 202 / Módulo 1-07  
Teléfono: (593-7) 2607 163 - 2671573  
e-mail: ingmatricom@gmail.com  
Cuenca - Ecuador  fb.com/ingmatricom



## Anexo D: Cotización de las componentes electrónicos

Figura 59

Cotización 2.

**Gerardo Mogrovejo & Hijos**  
cia. Ltda.

GERARDO MUGROVEJO E  
PADEI DE LOS CAÑAROS W08Y + GONZALES SUAREZ  
CIENAGA - ECUADOR  
TEL: 72.885.062  
www.electromercad.com.ec

**NRD. PF2-000008858**

**PROFORMA DE VENTA - PDF**

FECHA: 04 de Mayo de 2023  
NOMBRE: CONSUMIDOR FINAL  
CORRECTOR: SR. MORRIS  
COTIZACION: 0001990002789

Tel: 2.....

Producto	Descripción	Cantidad	Precio	Desc.	Valor
11.002	INTERRUPTOR 2P ON 9/CARGADO IZA ON OFF LARGOS-32	1.00	22.0000	0.00	22.00 *
JCR13	SWITCH RIEL 20MT FALLA TIERRA NUTLE-32 2P 20A	1.00	22.0000	0.00	22.00 *
Cable 1 CUARENTA Y SEISE DOLARES CON 24/180					
Nota: NUTLE 32 20A					
					<b>SUBTOTAL: 44.00</b>
					<b>DESCTO: 0.00</b>
					<b>IVA 12.00: 5.34</b>
					<b>FLETE: 0.00</b>
					<b>TOTAL: 49.34</b>

Atentamente,  
GERARDO MUGROVEJO E HIJOS CIA. LTDA.



# Anexo E: Cotización de la madera

Figura 60

Cotización 3.

AV. LAS AMERICAS L-010 Y AV. DON BOSCO  
Teléfonos: 2886260

Pedido No. 139738 CALVAEZ  
FECHA 05/jun/2023  
CLIENTE MCINA CANDO NATHALY RUC 0105187991001  
DIRECCION HURTADO DE MENDOZA 2-42 TELEFONO 0996229121

De mi consideración:  
A continuación me es grato presentar la oferta de productos y/o servicios, solicitados por usted:

Detalle					
No.	Código	Descripción	Cant.	P.U.	P.T.
1	FI18N	MDF FIBRAPLAC 183X244X18MM	0.50	44.6400	22.32

SUMAN	22.32
DESCUENTO	0.00
NETO	22.32
IVA 12%	2.68
TOTAL	25.00