



**Implementación de una máquina Router CNC, para el grabado y corte en madera,
mediante el uso de elementos electrónicos y electromecánicos.**

Checa Araque, Juan Sebastian

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en
Electromecánica

Msc. Bustillos Escola, Diego Israel

28 de Julio del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos



Copyleaks
Plagiarism report

TESIS 2.pdf



INSTRUMENTO AUTENTICADOR POR
CÓDIGO QR

Diego Israel Bustillos Escobar
ING. BUSTILLOS E. DIEGO I.
C.I. 0503159808₄

Scan details

| | | |
|--|--------------------|-----------------------|
| Scan time: July 24th, 2023 at 16:15 UTC | Total Pages: 96 | Total Words: 23864 |
|--|--------------------|-----------------------|

Plagiarism Detection

4.9%

| Types of plagiarism | Percentage | Words |
|--|------------|-------|
| <input checked="" type="radio"/> Identical | 1.5% | 365 |
| <input checked="" type="radio"/> Minor Changes | 1% | 229 |
| <input checked="" type="radio"/> Paraphrased | 2.4% | 582 |
| <input type="radio"/> Omitted Words | 0% | 0 |

AI Content Detection

N/A

Text coverage

AI text

Human text



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Implementación de una máquina Router CNC, para el grabado y corte en madera, mediante el uso de elementos electrónicos y electromecánicos."** fue realizada por el señor **Checa Araque, Juan Sebastian**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 28 de julio 2023

Firma:

MSc. Bústillos Escola, Diego Israel

C. C. 050315980-8



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica
Responsabilidad de Autoría

Yo, **Checa Araque, Juan Sebastian**, con cédula de ciudadanía n° 055002639-7, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Implementación de una máquina Router CNC, para el grabado y corte en madera, mediante el uso de elementos electrónicos y electromecánicos.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 28 de julio 2023

Firma:

Checa Araque, Juan Sebastian

C.C.: 055002639-7



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica
Autorización de Publicación

Yo **Checa Araque, Juan Sebastian** con cédula de ciudadanía n° 055002639-7, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Implementación de una máquina Router CNC, para el grabado y corte en madera, mediante el uso de elementos electrónicos y electromecánicos.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 28 de julio 2023

Firma:

Checa Araque, Juan Sebastian

C.C.: 055002639-7

Dedicatoria

Este presente proyecto quiero dedicarlo a mi mentor Uwe Nickelsen que me ha tratado como si fuera su propio hijo, sacrificando sus recursos e impulsándome a ser una persona de bien para triunfar en la vida.

A mi madre Belén que siempre me ha dado lo mejor de ella, velando siempre por mi bienestar y brindándome todo su amor.

A mi padre Juan Leoncio por haberme apoyado con mi educación, velando por mi futuro y bienestar

A mi novia María José Yépez por haberme animado cuando más lo necesitaba y acompañándome en todos mis malos momentos, por amarme incondicionalmente.

A toda mi familia que siempre me ha brindado su amor y apoyo.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por proporcionarme todos sus recursos para que yo pueda triunfar en esta vida y haberme dado a las personas correctas.

A Uwe Nickelsen por ser mi apoyo moral y económico, por brindarme su conocimiento y experiencia.

A mi madre y mi padre por darme su amor y apoyo incondicional.

A mi novia por darme lo mejor de ella sin que lo merezca.

A mis profesores por brindarme todos sus conocimientos y teniendo paciencia en mi aprendizaje.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| Carátula | 1 |
| Reporte de verificación de contenidos | 2 |
| Certificación | 3 |
| Responsabilidad de Autoría | 4 |
| Autorización de Publicación | 5 |
| Dedicatoria..... | 6 |
| Agradecimiento..... | 7 |
| Índice de Contenido | 8 |
| Índice de Figuras | 15 |
| Índice de tablas | 21 |
| Índice de ecuaciones..... | 23 |
| Resumen | 25 |
| Abstract..... | 26 |
| Capítulo I : Tema | 27 |
| Introducción | 27 |
| Antecedentes | 27 |
| Planteamiento del problema..... | 28 |
| Justificación | 29 |
| Objetivos..... | 29 |
| <i>Objetivo general</i> | 29 |
| <i>Objetivos específicos</i> | 29 |

| | |
|---|----|
| Alcance | 30 |
| Capítulo II : Marco Teórico | 31 |
| Máquinas CNC y su rol en los procesos industriales | 31 |
| Tipos de Máquinas CNC..... | 32 |
| <i>CNC Fresadora</i> | 32 |
| <i>Torno CNC</i> | 33 |
| <i>Máquina CNC de Taladrado</i> | 34 |
| <i>Cortadores de Plasma</i> | 34 |
| Funcionamiento de las Máquinas CNC | 35 |
| <i>Funciones Específicas CNC</i> | 35 |
| Controladores de una máquina CNC..... | 35 |
| <i>Controlador Arduino + CNC Shield</i> | 35 |
| Tipos de Motores para CNC..... | 37 |
| <i>Motores Paso a Paso</i> | 37 |
| <i>Servomotores</i> | 38 |
| Controladores o drivers de los motores | 39 |
| Tipos de sensores utilizados para una máquina CNC | 39 |
| <i>Sensor Finales de Carrera</i> | 40 |
| <i>Paro de Emergencia</i> | 41 |
| Fuente de alimentación de una máquina..... | 41 |
| Capítulo III: Validación mecánica, análisis y selección de materiales | 43 |

| | |
|---|-----------|
| Selección de la estructura y guía para los ejes X, Y, Z de la máquina | 43 |
| <i>Perfil de Aluminio tipo V para la estructura y guía</i> | <i>44</i> |
| <i>Características Del perfil de aluminio tipo V</i> | <i>44</i> |
| <i>Dimensiones del perfil de aluminio tipo V</i> | <i>45</i> |
| <i>Características del material usado en los perfiles de aluminio tipo V</i> | <i>45</i> |
| <i>Especificaciones Técnicas del Aluminio 6063-T5.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Análisis Estructural del Perfil de Aluminio tipo V como estructura y guía para los ejes X, Y, Z.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Tabla de Resultados obtenidos en el Análisis estructural del perfil de Aluminio Tipo V</i> | <i>54</i> |
| Selección del material para la construcción de las placas del eje X | 55 |
| <i>Nylon Pa Tipo 6 como material para la construcción de las placas del eje x</i> | <i>55</i> |
| <i>Características del material nylon Pa Tipo 6</i> | <i>55</i> |
| <i>Especificaciones técnicas del Nylon 66.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Análisis estructural del material Nylon 66 como placa para el eje X.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Tabla de resultados alcanzados en el análisis estructural de la placa para el eje X</i> | <i>65</i> |
| Selección de las placas para el eje Z | 65 |
| <i>Kit de placas universales – Set V3 para el eje Z.....</i> | <i>66</i> |
| <i>Especificaciones técnicas del set V3 carro universal.....</i> | <i>67</i> |
| <i>Factor de seguridad de las placas set V3 Carro Universal.....</i> | <i>67</i> |
| Selección del método de Transmisión de potencia..... | 68 |

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabla comparativa de los distintos elementos de transmisión de potencia</i> | 69 |
| <i>Tornillo sin fin D8mm 4H.....</i> | 70 |
| <i>Ventajas que posee el Tornillo sin Fin 8mm 4H</i> | 70 |
| <i>Características del tornillo sin fin 8mm 4H.....</i> | 71 |
| Selección de Material para la construcción del porta herramientas, Base del motor eje Z y Base para tuerca tornillo sin fin | 71 |
| <i>Definición y composición del Aluminio 6061-T6.....</i> | 71 |
| <i>Propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6.....</i> | 72 |
| <i>Propiedades Físicas del Aluminio 6061-T6.....</i> | 73 |
| <i>Análisis estructural aplicada a la base para el motor eje Z.....</i> | 73 |
| <i>Análisis de torsión aplicada a la base para el motor eje Z.....</i> | 75 |
| <i>Análisis de torsión aplicada a la base de sujeción de la tuerca tornillo sin fin .</i> | 76 |
| <i>Análisis estructural aplicado a la base Porta herramienta – Husillo.....</i> | 78 |
| Parámetros de mecanizado | 79 |
| <i>Fresas que generalmente se utilizarán para el mecanizado.....</i> | 80 |
| <i>Parámetros de corte.....</i> | 80 |
| <i>Cálculo de Avance por diente.....</i> | 81 |
| <i>Tabla de parámetros para cálculos de mecanizado.</i> | 82 |
| <i>Cálculo de velocidad de corte</i> | 83 |
| <i>Cálculo de la velocidad de avance.....</i> | 83 |
| <i>Cálculo avance por diente.....</i> | 83 |
| <i>Cálculo de espesor medio de viruta</i> | 84 |

| | |
|--|------------|
| <i>Cálculo de fuerza de corte específica.....</i> | 84 |
| <i>Cálculo Fuerza de Corte</i> | 84 |
| <i>Cálculo de la potencia neta de corte</i> | 85 |
| <i>Cálculo par de corte.....</i> | 85 |
| <i>Tabla de parámetros obtenidos para el mecanizado.....</i> | 85 |
| Cálculo torque necesario para mover los ejes X, Y, Z..... | 86 |
| <i>Tabla de parámetros tomados en cuenta para el cálculo de torque del motor de los ejes X, Y, Z</i> | 86 |
| <i>Cálculo coeficiente de fricción Acero-Bronce.....</i> | 88 |
| <i>Cálculo torque necesario para el eje Z.....</i> | 88 |
| <i>Cálculo torque necesario para el eje X, Y</i> | 90 |
| Validación eléctrica y Selección de componentes | 92 |
| Selección de componentes eléctrico y electrónicos para el control de la máquina..... | 92 |
| <i>Selección de la Unidad de control de la máquina CNC.....</i> | 93 |
| <i>Selección de los motores para los movimientos de los ejes</i> | 96 |
| <i>Selección del motor a pasos para el eje Z</i> | 97 |
| <i>Selección del motor a pasos para el eje X, Y.....</i> | 98 |
| <i>Selección de los drivers para los motores a pasos del eje X, Y, Z.....</i> | 100 |
| <i>Selección de la herramienta para el corte y tallado en madera</i> | 101 |
| <i>Selección de la fuente de Alimentación</i> | 102 |
| <i>Selección de los sensores para la máquina CNC</i> | 103 |

| | |
|--|------------|
| Capítulo IV: Implementación de la máquina | 105 |
| Implementación mecánica de la máquina CNC | 105 |
| <i>Elementos adicionales de fijación y protección para la máquina.....</i> | <i>105</i> |
| <i>Implementación del chasis de la máquina CNC.....</i> | <i>107</i> |
| <i>Implementación del Eje Y.....</i> | <i>114</i> |
| <i>Implementación del Eje X.....</i> | <i>123</i> |
| <i>Implementación del Eje Z.....</i> | <i>129</i> |
| <i>Implementación de la mesa de corte.....</i> | <i>136</i> |
| Implementación de la parte eléctrica de la máquina CNC | 138 |
| <i>Esquema de conexión eléctrica de la máquina CNC.....</i> | <i>140</i> |
| <i>Conexión de los drivers a la tarjeta CNC</i> | <i>141</i> |
| <i>Conexión de los motores a los Drivers</i> | <i>144</i> |
| <i>Conexión de las entradas y salidas de señal</i> | <i>146</i> |
| <i>Conexión del control de la herramienta de corte.....</i> | <i>147</i> |
| <i>Conexión del paro de emergencia</i> | <i>148</i> |
| <i>Conexión de los finales de carrera.</i> | <i>149</i> |
| <i>Instalación de los elementos en la caja de revisión</i> | <i>152</i> |
| Parametrización de la máquina en el software CNC | 153 |
| <i>Habilitación de los puertos para los motores a pasos.....</i> | <i>153</i> |
| <i>Calibración de los Drivers y motores a pasos.....</i> | <i>154</i> |
| <i>Habilitación de los puertos para las señales de entrada</i> | <i>155</i> |

| | |
|--|------------|
| <i>Parametrización de los Homing Limits</i> | 156 |
| <i>Habilitación del puerto para el control de la herramienta de corte</i> | 156 |
| Capítulo V: Resultados, conclusiones y recomendaciones del proyecto | 158 |
| Resultados alcanzados en la prueba de funcionamiento | 158 |
| Conclusiones | 166 |
| Recomendaciones | 167 |
| Bibliografía | 168 |
| Anexos | 174 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>CNC Router para corte y tallado en madera</i> | 31 |
| Figura 2 <i>CNC Fresadora de Metal</i> | 32 |
| Figura 3 <i>CNC Fresando un bloque de metal</i> | 32 |
| Figura 4 <i>Torno CNC realizando un mecanizado</i> | 33 |
| Figura 5 <i>Taladro CNC para perforación de piezas</i> | 34 |
| Figura 6 <i>Cortadora de plasma CNC Huafei</i> | 34 |
| Figura 7 <i>Simbología de los movimientos que intervienen en una máquina CNC</i> | 35 |
| Figura 8 <i>Tarjeta Arduino Uno</i> | 36 |
| Figura 9 <i>CNC Shield V3</i> | 36 |
| Figura 10 <i>Tarjeta CNC Mach 3</i> | 37 |
| Figura 11 <i>Motores a paso a paso</i> | 38 |
| Figura 12 <i>Servomotores de tipo industrial</i> | 38 |
| Figura 13 <i>Esquema conexión de un driver a su controlador y a su motor</i> | 39 |
| Figura 14 <i>Tipos de sensores utilizados para las máquinas industriales</i> | 40 |
| Figura 15 <i>Diferentes tipos de finales de carrera</i> | 40 |
| Figura 16 <i>Funcionamiento de un paro de emergencia</i> | 41 |
| Figura 17 <i>Fuente de alimentación</i> | 42 |
| Figura 18 <i>Dimensiones del perfil de aluminio tipo V 20x60</i> | 45 |
| Figura 19 <i>Análisis aplicados a los rieles del perfil de aluminio tipo V 20x60</i> | 48 |
| Figura 20 <i>Resultado del factor de seguridad en los rieles del perfil</i> | 49 |
| Figura 21 <i>Análisis aplicados al lateral del perfil de aluminio tipo V 20x60</i> | 50 |
| Figura 22 <i>Resultado del factor de seguridad aplicado al lateral del perfil</i> | 51 |
| Figura 23 <i>Análisis de torsión aplicado al perfil de aluminio Tipo V</i> | 52 |
| Figura 24 <i>Resultado del factor de seguridad para la torsión del perfil</i> | 53 |
| Figura 25 <i>Análisis de tensiones para la placa eje X</i> | 57 |

| | |
|--|-----|
| Figura 26 Resultado del factor de seguridad para las placas eje x..... | 58 |
| Figura 27 Análisis de tensiones en la parte lateral placa eje X. | 59 |
| Figura 28 Resultado del factor de seguridad aplicada a la placa eje x lateral. | 60 |
| Figura 29 Análisis de torsión para la base del motor eje x. | 61 |
| Figura 30 Resultado del factor de seguridad aplicado a la base del motor eje x..... | 62 |
| Figura 31 Análisis de torsión aplicada a la base del perfil de aluminio eje X..... | 63 |
| Figura 32 Resultado del factor de seguridad para la base perfil de aluminio. | 64 |
| Figura 33 Set V3 Carro Universal..... | 66 |
| Figura 34 Tornillo sin fin 4 hilos D8mm. | 70 |
| Figura 35 Material Aluminio 6061-T6..... | 72 |
| Figura 36 Análisis de tensiones para base motor del eje Z..... | 73 |
| Figura 37 Resultado del factor de seguridad a la base del motor eje Z. | 74 |
| Figura 38 Análisis de torsión aplicado a la base motor eje Z. | 75 |
| Figura 39 Resultado del factor de seguridad aplicado a la base del motor eje Z. | 76 |
| Figura 40 Análisis de torsión aplicado a la base de sujeción tuerca Tornillo sin fin..... | 76 |
| Figura 41 Resultado factor de seguridad para la base tuerca tornillo sin fin. | 77 |
| Figura 42 Análisis de tensiones realizados a la base portaherramientas. | 78 |
| Figura 43 Resultado Factor de seguridad aplicado a la base portaherramientas..... | 79 |
| Figura 44 Fresas de carburo de tungsteno para dremel..... | 80 |
| Figura 45 Posición del Eje Z como referencia..... | 89 |
| Figura 46 Posición del Eje X, Y como referencia..... | 91 |
| Figura 47 Elementos y conexiones para la interfaz CNC. | 93 |
| Figura 48 Interfaz CNC Mach 3 para computadora. | 95 |
| Figura 49 Motor a pasos nema 17..... | 97 |
| Figura 50 Motor a pasos nema 23..... | 99 |
| Figura 51 Driver HY-DIV268N-5A control a pasos..... | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figura 52 <i>Dremel 4000 Herramientas con cable.</i> | 101 |
| Figura 53 <i>Fuentes de alimentación</i> | 103 |
| Figura 54 <i>Parada de emergencia para las máquinas.</i> | 103 |
| Figura 55 <i>Finales de carrera para la máquina CNC.</i> | 104 |
| Figura 56 <i>Tornillo Allen M5 Acero Negro.</i> | 105 |
| Figura 57 <i>Tuercas de seguridad M5.</i> | 106 |
| Figura 58 <i>Tuerca de tipo martillo para perfil de aluminio tipo V.</i> | 106 |
| Figura 59 <i>Arandelas de seguridad.</i> | 107 |
| Figura 60 <i>Loctite 222MS.</i> | 107 |
| Figura 61 <i>Placa de Unión L 5 agujeros serie 20.</i> | 108 |
| Figura 62 <i>Soporte de Esquina Serie 20.</i> | 109 |
| Figura 63 <i>Perfil de Aluminio Tipo V 20 x 60 x 1200</i> | 109 |
| Figura 64 <i>Perfil de Aluminio Tipo V 20 x 40 x 1000</i> | 110 |
| Figura 65 <i>Ensamble del chasis.</i> | 110 |
| Figura 66 <i>Fijación del perfil de Aluminio Tipo V 20x60.</i> | 111 |
| Figura 67 <i>Perfil de Aluminio Fijado por tornillos Allen M5 y Tuercas Martillo.</i> | 112 |
| Figura 68 <i>Fijación de los perfiles de Aluminio Tipo V 20x40 al chasis.</i> | 113 |
| Figura 69 <i>Implementación completa del chasis para la máquina.</i> | 113 |
| Figura 70 <i>Placa soporte del Eje X lado Izquierdo.</i> | 115 |
| Figura 71 <i>Placa soporte del Eje X lado Derecho.</i> | 116 |
| Figura 72 <i>Base soporte Tuerca Tornillo sin fin - método de transmisión.</i> | 116 |
| Figura 73 <i>Placa base tornillo sin fin para los extremos.</i> | 117 |
| Figura 74 <i>Base motor a pasos nema 23.</i> | 117 |
| Figura 75 <i>Ensamble del eje Y.</i> | 118 |
| Figura 76 <i>Placas laterales montadas sobre el perfil de Aluminio 20x60.</i> | 118 |
| Figura 77 <i>Orden para colocar las ruedas sobre la placa y el perfil de Aluminio.</i> | 119 |

| | |
|---|-----|
| Figura 78 <i>Ubicación de los espaciadores en las ruedas.</i> | 120 |
| Figura 79 <i>Ubicación de las bases para motor a pasos nema23.</i> | 120 |
| Figura 80 <i>Fijación del motor a pasos nema 23 a la placa base.</i> | 121 |
| Figura 81 <i>Fijación de la base y la tuerca tornillo sin fin.</i> | 122 |
| Figura 82 <i>Placa para el soporte del tornillo sin fin.</i> | 122 |
| Figura 83 <i>Placa Universal para perfil de Aluminio tipo V.</i> | 124 |
| Figura 84 <i>Perfil de Aluminio Tipo V 20 x 60 x 801.</i> | 124 |
| Figura 85 <i>Base soporte Tuerca Tornillo - método de transmisión para el eje X.</i> | 125 |
| Figura 86 <i>Ensamble del Eje X.</i> | 125 |
| Figura 87 <i>Machuelo M5x0.8</i> | 126 |
| Figura 88 <i>Roscado en el perfil de aluminio tipo V.</i> | 126 |
| Figura 89 <i>Fijación del motor a pasos nema 23 y perfil de Aluminio del eje X.</i> | 127 |
| Figura 90 <i>Fijación de las dos placas universales al perfil.</i> | 127 |
| Figura 91 <i>Ajuste de los espaciadores Excéntricos para las placas universales.</i> | 128 |
| Figura 92 <i>Fijación de la base soporte de la tuerca tornillo sin fin.</i> | 128 |
| Figura 93 <i>Fijación de la chumacera a la placa lateral eje X.</i> | 129 |
| Figura 94 <i>Placa universal para subir y bajar la herramienta del eje Z.</i> | 131 |
| Figura 95 <i>Perfil de Aluminio tipo V 20x60x330 para el eje Z.</i> | 132 |
| Figura 96 <i>Base nema 17 para el eje Z.</i> | 132 |
| Figura 97 <i>Base soporte tuerca tornillo sin fin para el eje Z.</i> | 133 |
| Figura 98 <i>Base Portaherramientas para el eje Z.</i> | 133 |
| Figura 99 <i>Ensamble del eje Z.</i> | 134 |
| Figura 100 <i>Fijación del perfil de Aluminio contra la placa universal.</i> | 134 |
| Figura 101 <i>Perfil fijado por medio de tornillos M5x8 para el eje Z.</i> | 135 |
| Figura 102 <i>Implementación del base motor a pasos nema 17 para el eje Z.</i> | 135 |
| Figura 103 <i>Implementación del eje Z.</i> | 136 |

| | |
|--|-----|
| Figura 104 <i>Ensamble de mesa de corte.....</i> | 137 |
| Figura 105 <i>Fijación de la mesa de corte para la máquina CNC.</i> | 138 |
| Figura 106 <i>Diagrama eléctrico completo de la máquina CNC.....</i> | 140 |
| Figura 107 <i>Diagrama de conexión de los Drivers a la tarjeta CNC.....</i> | 141 |
| Figura 108 <i>Esquema de configuración del driver HY-DIV268N-5A.....</i> | 143 |
| Figura 109 <i>Pruebas realizadas para verificar la mejor configuración de los drivers.....</i> | 143 |
| Figura 110 <i>Esquema de conexión de los drivers a los motores a pasos.</i> | 145 |
| Figura 111 <i>Comprobación de las bobinas en los motores a pasos.</i> | 146 |
| Figura 112 <i>Diagrama de conexión de las entradas y salidas de señal.</i> | 147 |
| Figura 113 <i>Esquema de conexión del relé.....</i> | 147 |
| Figura 114 <i>Fijación del paro de emergencia al perfil de aluminio tipo V 20x60.</i> | 148 |
| Figura 115 <i>Base del paro de emergencia.</i> | 149 |
| Figura 116 <i>Instalación del final de carrera para los movimientos positivos del eje Y.....</i> | 149 |
| Figura 117 <i>Instalación del final de carrera para los movimientos negativos del eje Y.</i> | 150 |
| Figura 118 <i>Instalación del final de carrera para los movimientos positivos del eje X.</i> | 150 |
| Figura 119 <i>Instalación del final de carrera para los movimientos negativos del eje X.....</i> | 151 |
| Figura 120 <i>Instalación del final de carrera para los movimientos positivos del eje Z.</i> | 151 |
| Figura 121 <i>Fijación de los elementos en la caja de revisión.</i> | 152 |
| Figura 122 <i>Instalación de los conectores de tipo aviador e interruptor.</i> | 153 |
| Figura 123 <i>Habilitación de los puertos en el software mach 3 para los motores.....</i> | 153 |
| Figura 124 <i>Calibración de los motores a pasos y drivers en Motor Tuning.....</i> | 154 |
| Figura 125 <i>Habilitación de los homing limits y finales de carrera.....</i> | 155 |
| Figura 126 <i>Configuración del paro de emergencia.....</i> | 155 |
| Figura 127 <i>Ajuste de los límites de la máquina.</i> | 156 |
| Figura 128 <i>Habilitación de los puertos para el control de la herramienta.</i> | 157 |
| Figura 129 <i>Parámetros fijados para el control del husillo.....</i> | 157 |

| | |
|---|-----|
| Figura 130 <i>Implementación completa de la máquina CNC Router.</i> | 159 |
| Figura 131 <i>Máquina CNC Router cortando distintas figuras.</i> | 159 |
| Figura 132 <i>Máquina CNC Router realizando cortes circulares.</i> | 160 |
| Figura 133 <i>Máquina CNC Router en proceso de desbaste de una tabla de MDF.</i> | 160 |
| Figura 134 <i>Proceso de planeado realizado.</i> | 161 |
| Figura 135 <i>Pieza terminada realizado por la CNC Router.</i> | 161 |
| Figura 136 <i>Proceso de creación de base de servomotores en Mach 3.</i> | 162 |
| Figura 137 <i>Medición de la longitud de la base de servomotores.</i> | 162 |
| Figura 138 <i>Medición del ancho inferior de la base de servomotores.</i> | 163 |
| Figura 139 <i>Medición del ancho Superior de la base de servomotores.</i> | 163 |
| Figura 140 <i>Medición de la longitud de la porta servomotores.</i> | 164 |
| Figura 141 <i>Base servomotores fijado en el Avión de Aeromodelismo.</i> | 164 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 <i>Tabla comparativa entre las diferentes estructuras-guías.....</i> | 43 |
| Tabla 2 <i>Propiedades físicas del aluminio 6063</i> | 46 |
| Tabla 3 <i>Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063-T5.</i> | 46 |
| Tabla 4 <i>Resultados obtenidos para el perfil de aluminio.....</i> | 54 |
| Tabla 5 <i>Propiedades mecánicas del Nylon Poliamida 6.....</i> | 56 |
| Tabla 6 <i>Resultados obtenidos de los análisis realizados a la placa eje X.....</i> | 65 |
| Tabla 7 <i>Comparativa entre los distintos métodos de transmisión.....</i> | 69 |
| Tabla 8 <i>Tabla de propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6.....</i> | 72 |
| Tabla 9 <i>Tabla de propiedades físicas del Aluminio 6061-t6.</i> | 73 |
| Tabla 10 <i>Tabla de parámetros de corte para el mecanizado en madera.....</i> | 81 |
| Tabla 11 <i>Tabla de avance por diente o carga de Viruta, en mm.</i> | 81 |
| Tabla 12 <i>Tabla de parámetros iniciales para el mecanizado.....</i> | 82 |
| Tabla 13 <i>Tabla de parámetros obtenidos para el mecanizado en madera.</i> | 85 |
| Tabla 14 <i>Tabla de datos obtenidos para el cálculo del Torque de los motores.</i> | 87 |
| Tabla 15 <i>Comparativa entre los diferentes controladores CNC.....</i> | 94 |
| Tabla 16 <i>Tabla de materiales y presupuestos para el chasis.....</i> | 108 |
| Tabla 17 <i>Tabla de materiales y presupuestos para el eje Y.....</i> | 114 |
| Tabla 18 <i>Tabla de elementos y presupuestos para el eje X.....</i> | 123 |
| Tabla 19 <i>Elementos y presupuestos utilizados para el eje Z.</i> | 129 |
| Tabla 20 <i>Tabla de elementos y presupuesto para la mesa de corte.....</i> | 137 |
| Tabla 21 <i>Tabla de elementos y presupuestos del sistema eléctrico de la máquina.</i> | 138 |
| Tabla 22 <i>Esquema de conexiones Drivers - Mach 3.....</i> | 142 |
| Tabla 23 <i>Configuración de los drivers para el control de los motores de 1.8 Nm.</i> | 144 |
| Tabla 24 <i>Configuración de los drivers para el control de los motores de 0.4 Nm.</i> | 144 |
| Tabla 25 <i>Presupuesto final de la implementación de la máquina CNC.....</i> | 158 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 26 <i>Comparación de las dimensiones de la pieza terminada</i> | 165 |
|---|-----|

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 <i>Conversión de kgf a Newtons</i> | 47 |
| Ecuación 2 <i>Factor de seguridad para los rieles del perfil de Aluminio</i> | 48 |
| Ecuación 3 <i>Conversión de kgf a N</i> | 49 |
| Ecuación 4 <i>Factor de seguridad para la parte lateral del perfil de aluminio</i> | 51 |
| Ecuación 5 <i>Conversión de kgf a N para el eje X</i> | 56 |
| Ecuación 6 <i>Factor de seguridad para placa eje X</i> | 58 |
| Ecuación 7 <i>Factor de seguridad torsión base del motor eje x.</i> | 62 |
| Ecuación 8 <i>Factor de seguridad a la base perfil de aluminio eje X.</i> | 64 |
| Ecuación 9 <i>Factor de seguridad para el set V3 Carro Universal.</i> | 68 |
| Ecuación 10 <i>Factor de seguridad para la torsión del Set V3 Carro Universal.</i> | 68 |
| Ecuación 11 <i>Factor de seguridad para las fuerzas aplicadas a la base del motor eje Z</i> | 74 |
| Ecuación 12 <i>Factor de seguridad aplicado a la torsión de la base del motor eje Z.</i> | 75 |
| Ecuación 13 <i>Factor de seguridad para la torsión de la base tuerca tornillo sin fin</i> | 77 |
| Ecuación 14 <i>Factor de seguridad aplicado a la base portaherramientas.</i> | 78 |
| Ecuación 15 <i>Parametrización de la Velocidad de Corte</i> | 83 |
| Ecuación 16 <i>Parametrización de la Velocidad de avance</i> | 83 |
| Ecuación 17 <i>Parametrización del avance por diente</i> | 83 |
| Ecuación 18 <i>Parametrización del espesor medio de viruta</i> | 84 |
| Ecuación 19 <i>Parametrización de la fuerza de corte específica</i> | 84 |
| Ecuación 20 <i>Parametrización de la fuerza de corte.</i> | 84 |
| Ecuación 21 <i>Parametrización de la potencia neta de corte.</i> | 85 |
| Ecuación 22 <i>Parametrización del par de corte.</i> | 85 |
| Ecuación 23 <i>Cálculo coeficiente de fricción Acero-Bronce.</i> | 88 |
| Ecuación 24 <i>Cálculo para determinar el torque necesario para el eje Z.</i> | 89 |
| Ecuación 25 <i>Cálculo para determinar el torque necesario para el eje X, Y</i> | 91 |

| | |
|--|-----|
| Ecuación 26 <i>Factor de seguridad para el motor a pasos del eje Z</i> | 98 |
| Ecuación 27 <i>Factor de seguridad para el motor a pasos del eje X, Y</i> | 99 |
| Ecuación 28 <i>Factor de seguridad para la herramienta de corte</i> | 102 |
| Ecuación 29 <i>Determinación de los pasos del motor</i> | 154 |

Resumen

La implementación de una máquina CNC Router para corte y grabado en madera ayuda a mejorar la creación de piezas de aeromodelismo, obteniendo mejores resultados a comparación de la mano de obra del ser humano, la máquina tiene la capacidad de cortar y tallar en tablas de triplex y balsa, posee un área efectiva de corte de 800 mm x 600mm x 80mm, la selección de los componentes mecánicos y eléctricos se realizó mediante el uso de cálculos tales como torque necesario para los motores, parámetros de mecanizado.

Se realizó la validación mecánica sometiendo a los componentes análisis de tensiones y torsión para determinar si los mismos resistirán las cargas a las que se enfrentarán.

Se realizó la validación eléctrica en relación a las características y la disponibilidad en el mercado nacional, empleando el software Mach 3 por su fácil interacción con el usuario, cuenta con un sistema de control de lazo abierto por sus motores a pasos nema 23 y 17. Posee elementos de protección como finales de carrera y paro de emergencia. La máquina tiene la opción de homing limits y se puede controlar el encendido y apagado de la herramienta de corte mediante la parametrización de la tarjeta.

Palabras clave: Máquina CNC router, aeromodelismo, área efectiva de corte, validación mecánica, validación eléctrica.

Abstract

The implementation of a CNC Router machine for wood cutting and engraving helps to improve the creation of model airplane parts, obtaining better results compared to human labor, the machine has the ability to cut and carve triplex and balsa tables, it has an effective cutting area of 800 mm x 600mm x 80mm, the selection of mechanical and electrical components was made using calculations such as necessary torque for motors, machining parameters.

The mechanical validation was carried out by submitting the components to stress and torsion analysis to determine if they will resist the loads they will face.

The electrical validation was carried out in relation to the characteristics and availability in the national market, using the Mach 3 software for its easy interaction with the user, it has an open loop control system for its nema 23 and 17 stepper motors. It has protection elements such as limit switches and emergency stop.

The machine has the option of reference limits and the turning on and off of the cutting tool can be controlled by means of the parameterization of the card.

Key words: CNC router machine, aeromodelling, effective cutting area, mechanical validation, electrical validation.

Capítulo I

Tema

Implementación de una máquina Router CNC, para el grabado y corte en madera, mediante el uso de elementos electrónicos y electromecánicos.

Introducción

Las máquinas Router CNC (Control Numérico Computarizado) realizan cortes y tallados en variedades de materiales mediante el uso de elementos eléctricos y electromecánicos, utilizando softwares de diseño como SolidWorks o Fusión 360 para su post procesamiento y conversión a códigos G, estas máquinas reducen el tiempo de fabricación de piezas y su precisión por pieza realizada es superior a la mano de obra del hombre, hoy en día existen variedades de diseños CNC con múltiples herramientas de corte y grabado que dependiendo del trabajo a realizar se selecciona los componentes y se diseña la estructura.

Los softwares utilizados en máquinas CNC transforman los códigos G en pulsos para controlar los drivers de cada uno de los motores que a su vez mueven con precisión cada uno de sus ejes X, Y, Z y guiando la herramienta de corte alrededor del material a mecanizar.

Antecedentes

Las Máquinas CNC han revolucionado la industria gracias a la fabricación de piezas de forma autónoma sin necesidad de que el ser humano intervenga en el proceso, reduciendo de una manera drástica los costes de producción y tiempo empleado, mejorando la calidad de producto y evitando la manipulación de las herramientas de corte por parte del operario (SolidServicios, 2018).

Autor: Julón Delgado Neiser

Año: 2019

Tema: "Diseño y construcción de un prototipo de máquina router CNC de 3 ejes para el mecanizado de piezas en madera modeladas en 3D"

Conclusión: las máquinas CNC de 3 ejes para el fresado en madera tiene como objetivo apoyar a los carpinteros para mejorar su competitividad nacional.

Resultados: Es posible la realización de una máquina CNC de 3 ejes para el fresado en madera con la utilización de los cálculos correspondientes y analizando los materiales disponibles en el mercado. (Delgado, 2019)

Autor: Edwin Paúl Mediavilla Guerra, Jorge Adrián Pinos Guartamber

Año: 2022

Tema: "Diseño y construcción de una mesa de control numérico computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono para la empresa Metal Imperial"

Conclusión: Es necesario la implementación de una máquina CNC para mejorar la producción industrial y así obtener mayores ganancias.

Resultados: La implementación de una máquina CNC es capaz de realizar cortes complejos y brindar un mejor servicio a las industrias para el corte de piezas creando satisfacción y cumpliendo con las expectativas de la empresa. (Medianvilla & Pinos, 2022)

Es necesario la implementación de una máquina CNC para mejorar la productividad de las empresas y obtener mayores ganancias en tiempos más reducidos.

Planteamiento del problema

El corte y tallado en madera resulta un trabajo complicado para la mano humana, en la actualidad la gente exige trabajos de calidad, precios bajos, y agilidad de tiempo por lo que es necesario buscar medios alternativos para agilizar los procesos de manufactura. Realizar piezas en madera para aviones de aeromodelismo es un trabajo sumamente demoroso ya que son piezas que necesitan ser precisas y el usuario tendría que cortar una por una, el aeromodelismo en el Ecuador está en aumento por lo que es necesario satisfacer las necesidades del consumidor, entregando piezas de aviones para aeromodelismo de calidad.

Justificación

Hoy en día los softwares CAD (Diseño Asistido por Computador) nos facilita el diseño de piezas por ordenador para posteriormente realizar un postprocesado de las mismas, transformarlas a códigos G que es el lenguaje de programación que entienden las máquinas CNC y realizar el mecanizado utilizando softwares CAM (Mecanizado Asistido por Computador).

Implementar una Máquina CNC Router para el corte y tallado en madera para piezas de aeromodelismo resulta una opción viable para sustituir el esfuerzo del ser humano y poder mecanizar las piezas en el menor tiempo posible, con mayor calidad y precisión gracias al control de la herramienta por medio de sus ejes X, Y, Z.

Las máquinas CNC Demuestran mejor eficiencia que la mano humana a la hora de ejecutar procesos complejos de mecanizado donde el ser humano necesitaría mucho tiempo de trabajo y constante energía para igualar la calidad de una CNC Router.

Objetivos

Objetivo general

Implementar una máquina Router CNC, para el grabado y corte en madera, mediante el uso de elementos electrónicos y electromecánicos.

Objetivos específicos

- Analizar proyectos similares para el entendimiento del estado del arte y plantear marco teórico con los elementos que intervienen en la implementación de la máquina.
- Seleccionar y describir las características de los elementos del sistema mecánico y el sistema de control.
- Implementar la máquina Router CNC integrando sus sistemas
- Resultados y conclusiones del proyecto

Alcance

La Implementación de la Máquina CNC Router para corte y tallado en madera realizará trabajos de mecanizado para piezas de aeromodelismo, la presente máquina contará con ejes X, Y, Z.

Tiene un software interactivo y fácil de manejar para que el operario no tenga complicaciones al momento de ejecutar una labor de mecanizado.

Posee un área Efectiva de corte en el eje X de 600 mm y en el Eje Y de 800mm y cuenta con las protecciones necesarias como finales de carrera para no sobrepasar los límites de trabajo permitidos y un paro de emergencia para ser accionado en situaciones de peligro para el usuario y la máquina.

Capítulo II

Marco teórico

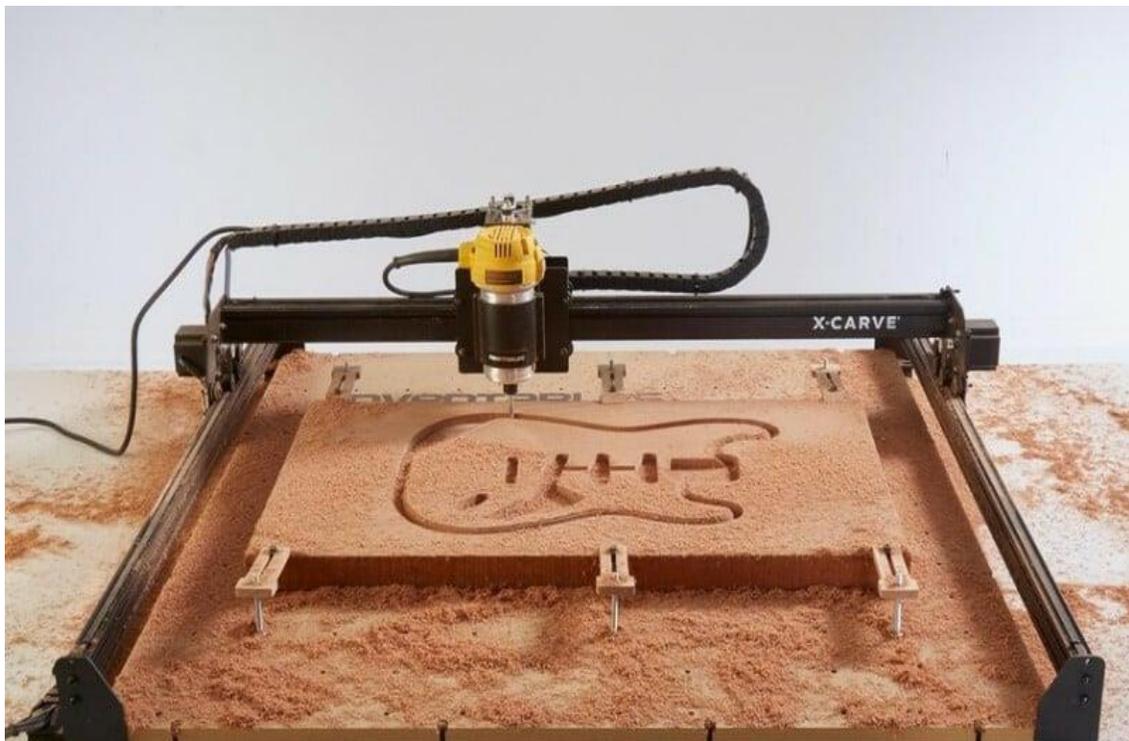
Máquinas CNC y su rol en los procesos industriales

El término CNC significa Control numérico computarizado donde la máquina es capaz de trabajar de forma autónoma con el fin de eliminar la mano de obra humana en el mecanizado de piezas, estas son controladas y monitoreadas a través de un ordenador en el cual el operador de la máquina tendrá que inspeccionar los procesos de mecanizado (Centric, 2021).

Gracias a la tecnología que brinda las máquinas CNC las industrias han podido mejorar su rendimiento creando productos de mayor calidad en el menor tiempo posible y sin necesidad de pagar a muchos operarios para los procesos (MyH, 2015).

Figura 1

CNC Router para corte y tallado en madera



Nota. CNC de marca X-carve tallando una guitarra. Tomado de (Hullete, 2022)

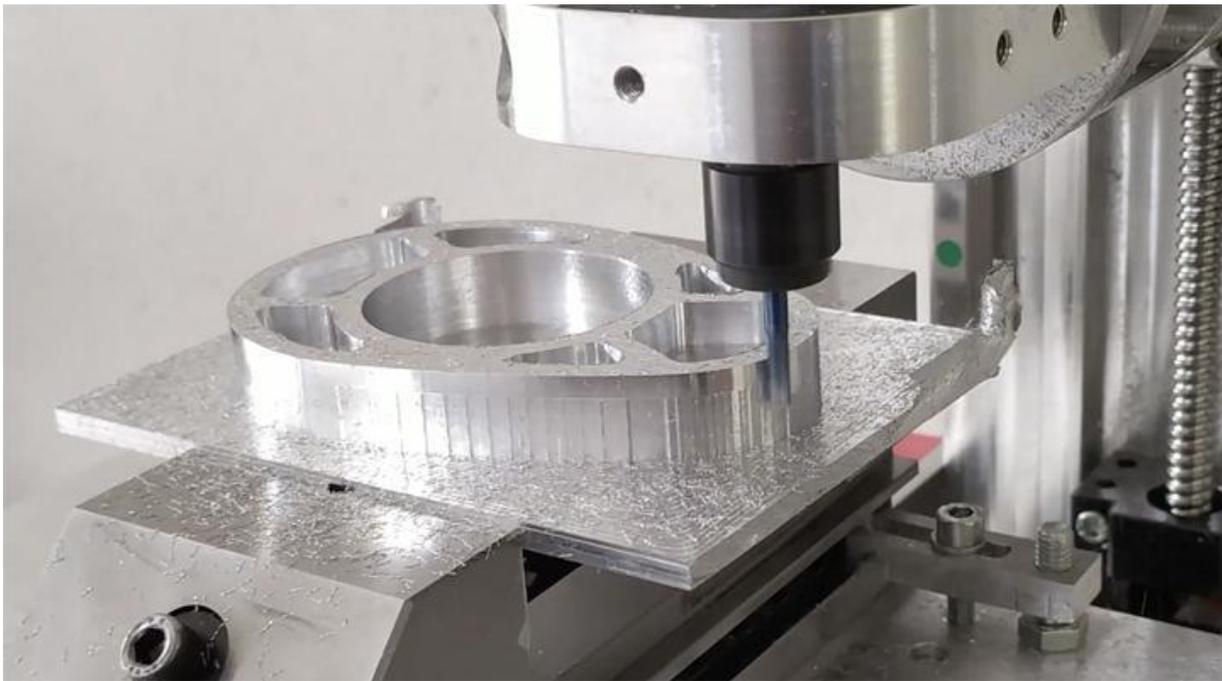
Tipos de Máquinas CNC

Las máquinas CNC son dispositivos capaces de dirigir una herramienta de corte tallado y perforado a través del material a mecanizar con el objetivo de crear piezas de gran complejidad y precisión (Autycom, 2019).

Estas máquinas han mejorado tecnológicamente con el pasar del tiempo y hoy en día se adaptan fácilmente a las necesidades de las industrias, trabajan en la mayoría de materiales y son accesibles para todas las empresas (Autycom, 2019).

Figura 2

CNC Fresadora de Metal



Nota. CNC fresadora de metales. Tomado de (Peng, 2021)

CNC Fresadora

Las máquinas CNC Fresadoras son utilizadas para el ranurado, creación de orificios y caras en el material para el mecanizado de piezas, sus herramientas son giratorias y desprenden viruta, generalmente se usan para el mecanizado de metales como el Acero, Aluminio, Hierro o madera (Arzola, 2020).

Figura 3

CNC Fresando un bloque de metal



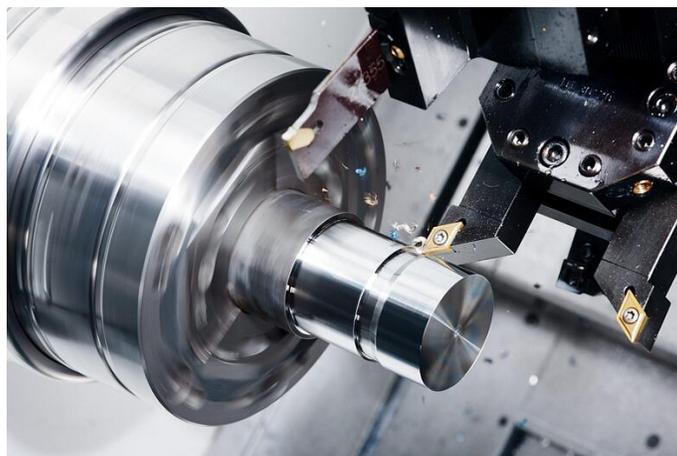
Nota. Fresadora CNC removiendo material. Tomado de (Viotto, 2022)

Torno CNC

Los Tornos CNC son máquinas que pueden mecanizar objetos en forma de cilindro y producir piezas ya terminadas o por terminar, el material a maquinar es el que gira a determinadas revoluciones para ser cortado por la herramienta que es movida a través de los ejes comúnmente X y Z (Arzola, 2020).

Figura 4

Torno CNC realizando un mecanizado



Nota. Torno CNC industrial. Tomado de (Viotto, 2022)

Máquina CNC de Taladrado

Comúnmente utilizadas para la perforación en el material de trabajo, ubica con rapidez la herramienta en el punto exacto a perforar y realiza actividades de escariado, avellanado y roscado (Arzola, 2020).

Figura 5

Taladro CNC para perforación de piezas



Nota. Taladrado CNC. Tomado de (Peng, 2021)

Cortadores de Plasma

Utilizado para el corte de metales por medio de un arco eléctrico, la antorcha es guiado por los ejes de la CNC para perforar el material (Arzola, 2020).

Figura 6

Cortadora de plasma CNC Huafei



Nota. Cortadora de plasma CNC Marca Huafei. Tomado de (Huafei, 2020)

Funcionamiento de las Máquinas CNC

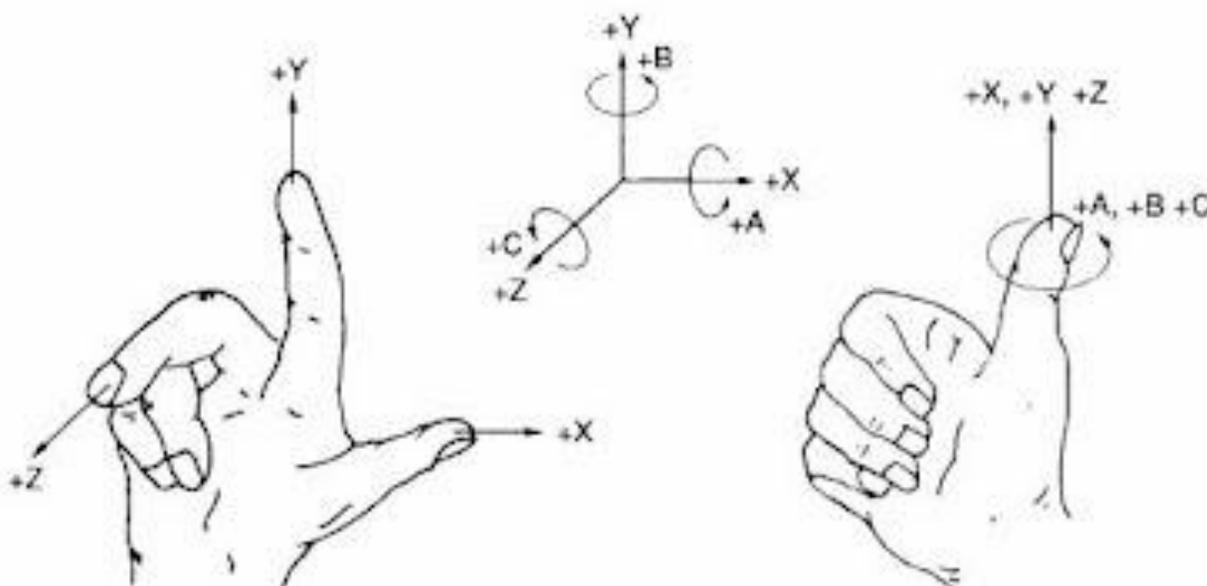
El funcionamiento de una máquina CNC consiste en recibir órdenes mediante códigos G y M por medio de un Software CAM (Mecanizado Asistido por Computador) y las convierte en pulsos eléctricos para el accionamiento de los motores que moverán la herramienta a través de sus ejes (Inter2000, 2020).

Funciones Específicas CNC

El control de movimiento se realiza a través de los ejes que comúnmente son X, Y, Z, pero existen máquinas CNC que tienen más ejes incorporados A, B y C, estos movimientos pueden ser lineales o rotativos (Inter2000, 2020).

Figura 7

Simbología de los movimientos que intervienen en una máquina CNC



Nota. Nomenclatura regla de la mano derecha CNC. Tomado de (Robaq, 2010)

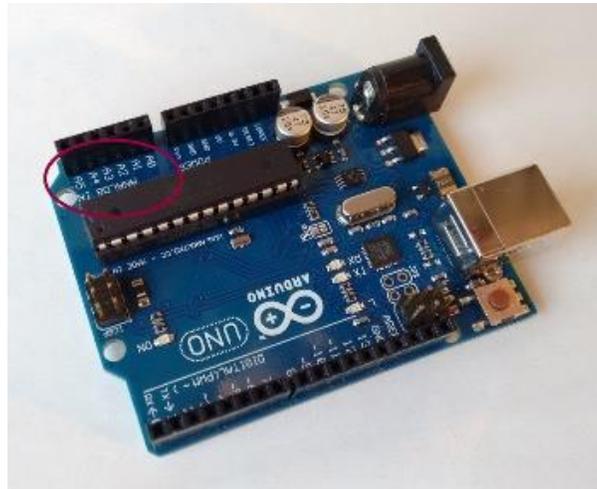
Controladores de una máquina CNC

Controlador Arduino + CNC Shield

Arduino es una tarjeta destinada a la programación de funciones, su tipo de hardware y software es abierto, significa que es libre de editarse a voluntad del usuario (Fernández, 2022).

Figura 8

Tarjeta Arduino Uno

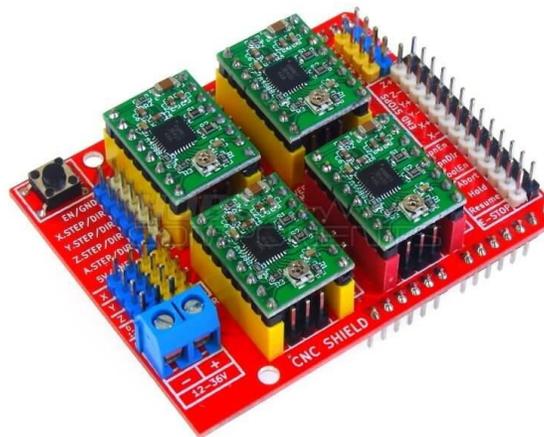


Nota. Entradas analógicas y digitales Arduino Uno. Tomado de (Perez, 2015)

La CNC Shield Es un complemento de Arduino para el control de una CNC por lo general de dimensiones menores, donde no se requiera el uso de motores muy grandes (Xukyo, 2023).

Figura 9

CNC Shield V3



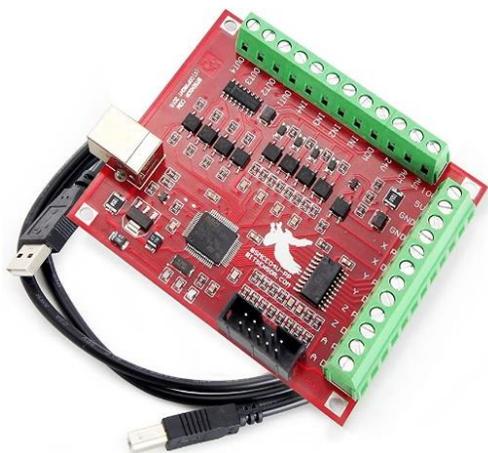
Nota. Uso de Arduino CNC Shield V3. Tomado de (Xukyo, 2023)

Controlador Mach 3. El controlador Mach 3 Es una tarjeta que controla los drivers de los motores, así como tiene pines de entrada y salida para el control del husillo, finales de carrera, para de emergencia, etc (Tecnociencia Peru, 2020).

Fue diseñada exclusivamente para el uso de CNC y dentro de la misma alberga múltiples opciones para la automatización de las máquinas (Tecnociencia Peru, 2020).

Figura 10

Tarjeta CNC Mach 3



Nota. Mach 3 USB Motion Card. Tomado de (Vancura, 2021)

Tipos de Motores para CNC

Los motores para CNC sirven para desplazar los ejes y mover la herramienta de corte y tallado a través del material, existen algunos tipos de motores para el control de la máquina, su funcionamiento consta de la conversión de pulsos eléctricos dados por su controlador o driver a energía mecánica, estos poseen diferentes características dependiendo del uso y aplicación (Seabrook, 2022).

Motores Paso a Paso

Los motores a pasos son dispositivos electromecánicos que convierten la energía eléctrica dada en pulsos en energía mecánica, su desplazamiento se da en grados y estos

dependen de un controlador que determinará cuanto moverse, existen de tipo unipolares y bipolares (Ingenieria Mecafenix, 2017).

Figura 11

Motores a paso a paso



Nota. Motor a Pasos. Tomado de (GeekFactory, 2017)

Servomotores

Los servomotores son dispositivos que actúan de manera rotativa o lineal, estos son muy precisos en aceleración y velocidad de Angulo su sistema es de lazo cerrado por lo que posee un encoder, sus motores pueden ser de AC O DC (Torres, 2023)

Figura 12

Servomotores de tipo industrial



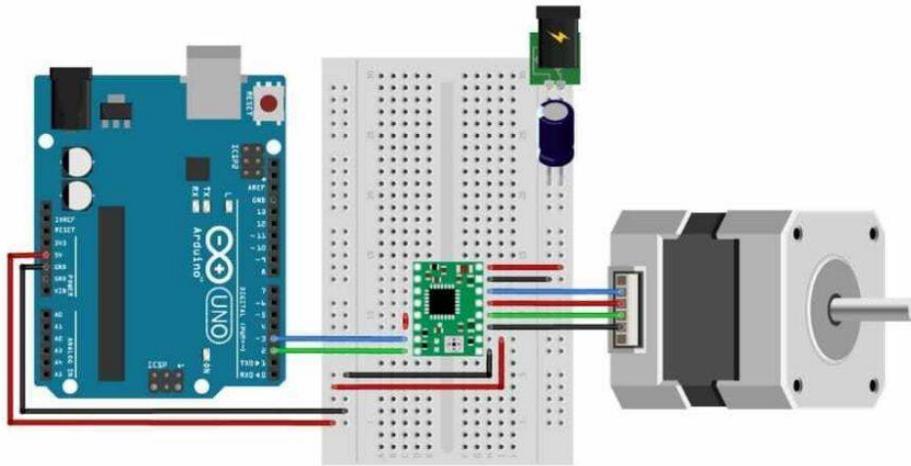
Nota. Servomotores de tipo industrial. Tomado de (Garcia, 2016)

Controladores o drivers de los motores

Los drivers son controladores para los actuadores o motores de los ejes, estos poseen dos tipos de señal, proporciona el sentido de giro del motor y la otra señal del avance en pasos, por lo general los circuitos de un driver están divididos en dos, las señales trabajan en voltajes pequeños mientras que la alimentación de los motores puede trabajar a voltajes elevados, existen de varios tipos dependiendo de los motores a utilizarse (Llamas, 2016).

Figura 13

Esquema conexión de un driver a su controlador y a su motor



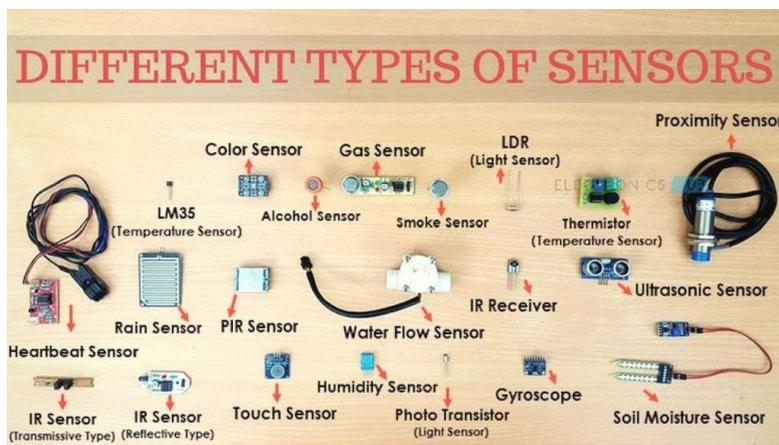
Nota. Como controlar un motor a pasos con el driver a4988 y Arduino. Tomado de (Damian, 2023).

Tipos de sensores utilizados para una máquina CNC

Los sensores son dispositivos traducen un medio físico en una señal analógica que tiene la capacidad de ser medido, luego su señal emitida es transformada a una señal digital para que pueda ser interpretado por una computadora, existen varios tipos de sensores según lo que se necesite (Smith, 2020).

Figura 14

Tipos de sensores utilizados para las máquinas industriales



Nota. Diferentes tipos de sensores. Tomado de (Smith, 2020).

Sensor Finales de Carrera

Conocido también como Limit Switch es un sensor interruptor que por lo general son colocados en lugares donde se requiere terminar el recorrido de algún objeto móvil, su objetivo es determinar en qué parte se encuentra un objeto, posee una palanca que necesita ser accionado para interrumpir el proceso (Ingenieria Mecafenix, 2021).

Figura 15

Diferentes tipos de finales de carrera



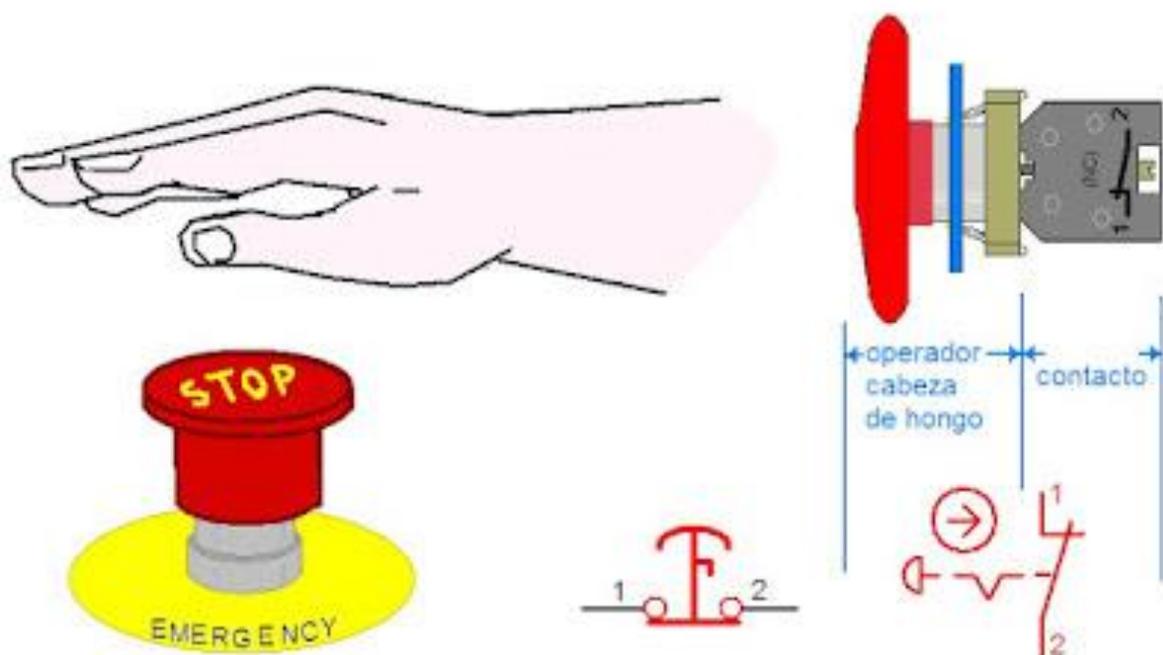
Nota. Imagen real de finales de carrera (Limit Switch). Tomado de (QBPROFE, 2021).

Paro de Emergencia

La parada de emergencia es un dispositivo que es utilizado para interrumpir inmediatamente un proceso, es accionado por el ser humano y este tiene el objetivo de prevenir accidentes o fallos en la máquina que sean detectados por el operador como un medio de seguridad (Alvarez, 2021).

Figura 16

Funcionamiento de un paro de emergencia



Nota. Botón paro de emergencia. Tomado de (Coparoman, 2015).

Fuente de alimentación de una máquina

Una fuente de alimentación es un dispositivo que se encarga de proporcionar energía eléctrica a un sistema o una máquina, transforma la energía convencional AC en energía DC para que los dispositivos electrónicos de la máquina trabajen, poseen varios voltajes de operación dependiendo del uso y aplicación (Electronic Board, 2021).

Figura 17

Fuente de alimentación



Nota. Parte interna de una fuente de alimentación. Tomado de (Alonso, 2023).

Capítulo III

Validación mecánica, análisis y selección de materiales

Selección de la estructura y guía para los ejes X, Y, Z de la máquina

Para la selección de la estructura se debe contar con una que asegure estabilidad y precisión ya que la máquina debe trabajar sin sobre esfuerzos y sin ejercer presión alguna, también debe soportar el peso de los elementos que vayan montados en estas, en el mercado existe muchas estructuras que cumplen con estas condiciones, sin embargo, se debe escoger la opción que sea más conveniente en calidad precio (García V. , 2020).

Se realizó una tabla comparativa con las guías y estructuras más utilizadas y disponibles en el mercado nacional.

Tabla 1

Tabla comparativa entre las diferentes estructuras-guías

| Especificaciones | Perfil de Aluminio tipo V 20x60 | Eje Acerado Cromado de alta frecuencia D12mm | Riel EGR SERIE EG |
|--|------------------------------------|---|----------------------|
| Disponibilidad en el mercado | X | X | |
| Bajo Precio | X | X | |
| Precisión | X | X | X |
| Guía Funcional | X | X | X |
| Estructura funcional | X | | |
| Tendencia a deformarse (Pandeo) | | X | |
| Bajo peso | X | X | X |
| Resistente a condiciones climáticas | X | | X |

| | | | |
|------------------|------------------------------------|---|----------------------|
| Especificaciones | Perfil de Aluminio tipo V 20x60 | Eje Acerado Cromado de alta frecuencia D12mm | Riel EGR SERIE EG |
| Lubricación | X | X | X |
| Maquinabilidad | X | | |





Nota. Comparación de los diferentes componentes de transmisión para la máquina CNC

El signo X significa las especificaciones que posee cada elemento a comparar.

Perfil de Aluminio tipo V para la estructura y guía

El perfil de aluminio tipo V, 20 centímetros de alto por 60 centímetros de ancho cumple con los requerimientos solicitados, puede soportar un peso considerable, posee una ventaja importante respecto a las otras y es que funciona guía para que los ejes se puedan desplazar por el mismo y también como estructura para la máquina (Cimech3D, 2020).

Características Del perfil de aluminio tipo V

Según (Cimech3D, 2020) las características del perfil de aluminio tipo V, 20x60 son las siguientes:

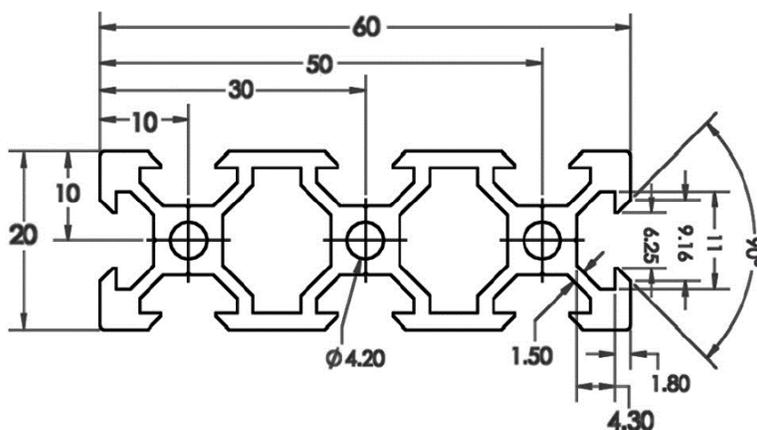
- Material: Aluminio 6063 T5
- Serie 2060 V-slot
- Superficie anodizada
- Color: Gris/Negro
- Longitud: 1.20m

Dimensiones del perfil de aluminio tipo V

Las dimensiones del perfil de aluminio tipo V son de 20 centímetros por 60 centímetros de ancho, posee orificios circulares por el cual se puede usar como sujeción y tiene 2 agujeros para disminuir el peso innecesario, en la figura 11 se puede evidenciar las dimensiones del mismo (Cimech3D, 2020).

Figura 18

Dimensiones del perfil de aluminio tipo V 20x60



Nota. Imagen de dimensionamiento del perfil de aluminio tipo V 20x60. Tomado de (PerfilesCNC, 2019)

Características del material usado en los perfiles de aluminio tipo V

La aleación de aluminio 6063-T5 es un tipo de aleación de la serie 6xxx, también es conocido como aleación de aluminio arquitectónico, es fabricado mediante un tratamiento térmico de templado, su punto de fusión es de 600 grados centígrados, los elementos usados para la aleación son: Aluminio, silicio, magnesio, es maquinable y ligero (Kefren, 2020).

Especificaciones Técnicas del Aluminio 6063-T5

En las siguientes tablas se explicará las especificaciones técnicas del material aluminio 6063-T5.

Propiedades físicas, mecánicas, etc.

Propiedades físicas del Aluminio 6063.

Tabla 2

Propiedades físicas del aluminio 6063

| Tabla de propiedades físicas del Aluminio 6063-T5 | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Densidad | Punto de Fusión | Módulo de elasticidad | Resistencia Eléctrica | Conductividad Térmica | Expansión Térmica |
| 2700 kg/m ³ | 600°C | 69.5 Gpa | 0.035x10 ⁻⁶ O.m | 200 W/m.K | 23.5 x 10 ⁻⁶ /K |

Nota. Tabla de propiedades físicas del Aluminio 3036-T5. Tomado de (Teknika4, 2018)

Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063-T5.

Tabla 3

Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063-T5

| Tabla de propiedades Mecánicas del Aluminio 6063-T5 | | | | |
|---|--------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------|
| Carga rotura | Límite elástico | Alargamiento | Resistencia de la Cizalladura | Dureza Brinell (HB) |
| Rm N/mm ² | Rp 0.2 N/mm ² | 5,65 V So | | |
| 220 | 145 | 14 | 140 | 65 |

Nota. Tabla de Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063-T5. Tomado del Software SolidWorks Versión 2022

Análisis Estructural del Perfil de Aluminio tipo V como estructura y guía para los ejes X, Y, Z

El análisis estructural del perfil tipo V se realizó en el Software SolidWorks, se tomó en cuenta las dimensiones disponibles en el mercado nacional que es de 20 centímetros por 60 centímetros y una longitud de 120 centímetros.

Se realizará los análisis con el fin de determinar si el tipo de estructura a utilizarse es confiable para soportar los ejes y los esfuerzos que ejercerá la máquina.

Los análisis son los Sigüientes:

- Análisis de Tensiones en los rieles del Perfil de Aluminio tipo V.
- Análisis de Tensiones en la parte lateral del Perfil de Aluminio tipo V.
- Análisis de Torsión del perfil de Aluminio tipo V.

Análisis de Estructural en la parte Lateral del Perfil de Aluminio Tipo V. Este análisis se realiza en los rieles del perfil de aluminio ya que los ejes se movilizarán por los mismos.

Para la realización del análisis se tomó en cuenta el peso de la estructura dada en kgf, se debe transformar a Newtons con su respectiva ecuación (Cuemath, 2021).

Se adicionó una carga de 8 Kilogramos fuerza y para SolidWorks se transformó a Newtons mediante el siguiente cálculo:

Ecuación 1

Conversión de kgf a Newtons

$$W = m \times g$$

$$W = 8\text{kgf} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 79 \text{ N}$$

W = Peso en Newtons

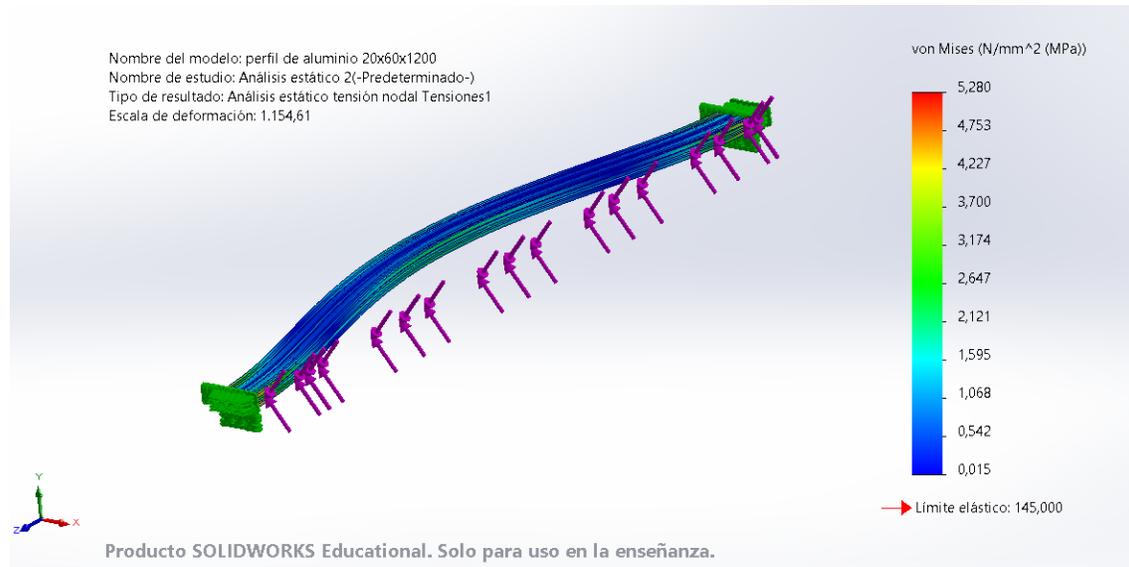
m = Masa en *kgf*

g = Gravedad ($9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Adicional al peso de 79 N se tomará en cuenta la fuerza de corte correspondiente a 86.88N, con un total de 165.88N esto con el fin de brindar una buena seguridad tomando en cuenta los posibles esfuerzos que realizará la máquina.

Figura 19

Análisis aplicados a los rieles del perfil de aluminio tipo V 20x60



Nota. Análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks 2022.

En la Figura 19 muestra el Análisis de tensiones cuando se le somete al perfil de aluminio una carga de 165.88 N, el valor crítico es de 5.280 Mpa y se encuentra dentro del límite elástico que es de 145.000 Mpa.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 2

Factor de seguridad para los rieles del perfil de Aluminio

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{145.000 \text{ MPa}}{5.280 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 27.46$$

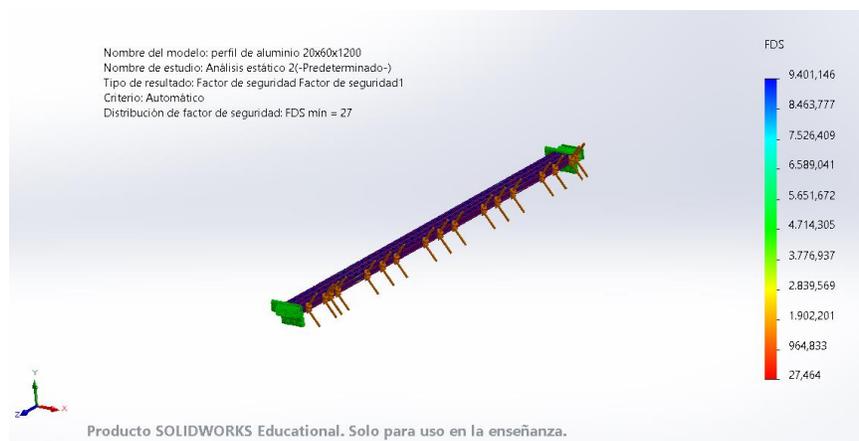
Fs = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 5.280 MPa, según el resultado final se necesita 27.46 Veces para alcanzar el límite de elasticidad por lo que el perfil es apto para tomarse en cuenta en la implementación de la máquina.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 20

Resultado del factor de seguridad en los rieles del perfil



Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 20 se muestra que el Factor de seguridad obtenido en el punto más crítico del perfil es de 27.464, el resultado de la simulación coincide con el resultado obtenido en la fórmula.

Análisis Estructural en la parte Superior del Perfil de Aluminio Tipo V. Se realizará un análisis de tensiones en la parte lateral del perfil de Aluminio tipo V con el fin de determinar que la máquina pueda soportar cualquier tipo de esfuerzo causadas por la herramienta de corte y los motores, por lo que se usó la misma carga de 8kgf (Cuemath, 2021).

Ecuación 3

Conversión de kgf a N

$$W = m \times g$$

$$W = 8\text{kgf} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 79 \text{ N}$$

W = Peso en Newtons

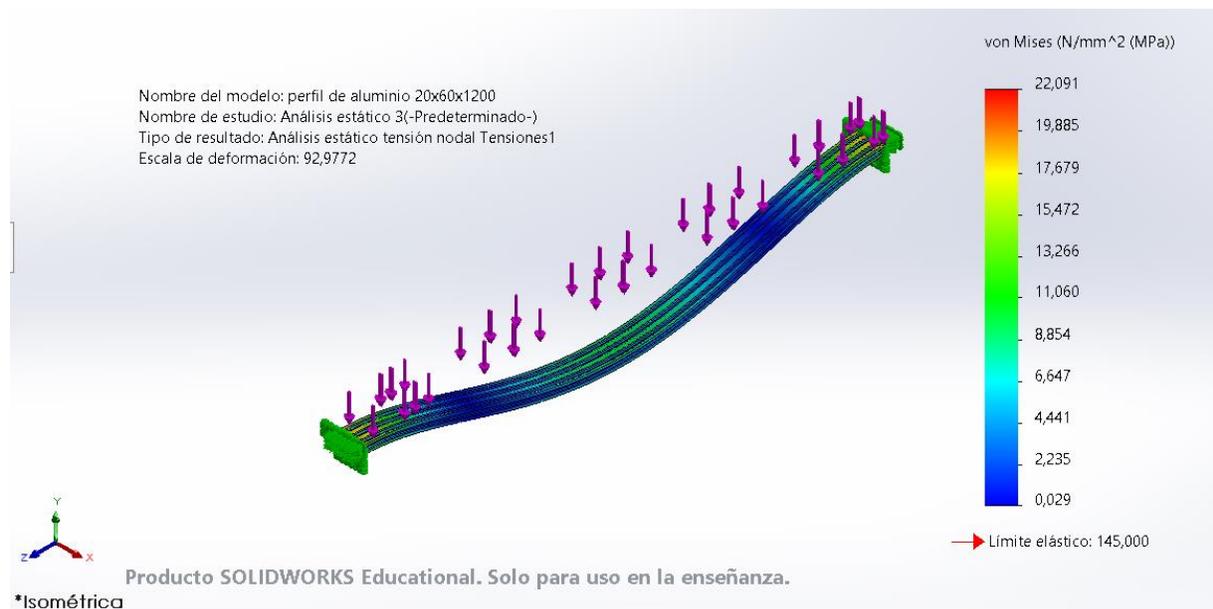
m = Masa en kgf

g = Gravedad ($9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Adicional al peso de 79 N se tomará en cuenta la fuerza de corte correspondiente a 86.88N, con un total de 165.88N esto con el fin de brindar una buena seguridad tomando en cuenta los posibles esfuerzos que realizará la máquina.

Figura 21

Análisis aplicados al lateral del perfil de aluminio tipo V 20x60



Nota. Análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks 2022.

En la Figura 21 muestra el Análisis de tensiones cuando se le somete al perfil de aluminio una carga de 165.88 N en la parte lateral, el valor crítico es de 22.091 Mpa y se encuentra dentro del límite elástico que es de 145.000 Mpa.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente fórmula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 4

Factor de seguridad para la parte lateral del perfil de aluminio

$$F_s = \frac{\text{Estrés Máximo}}{\text{Estrés de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{145.000 \text{ MPa}}{22.091 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 6.56$$

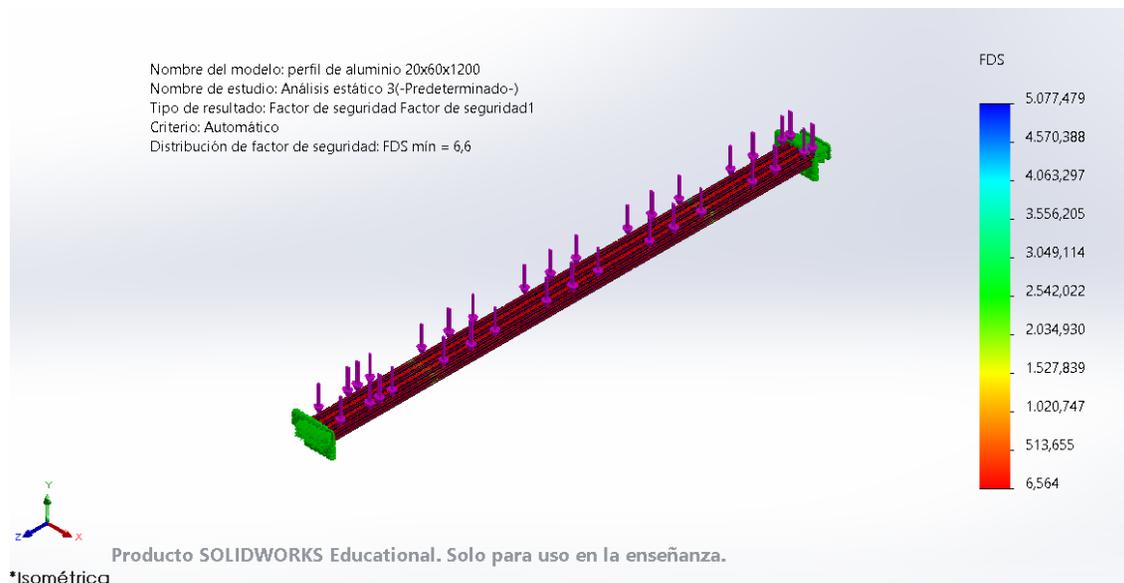
F_s = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 22.091 MPa, según el resultado final se necesita 6.56 Veces para alcanzar el límite de elasticidad.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 22

Resultado del factor de seguridad aplicado al lateral del perfil



Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

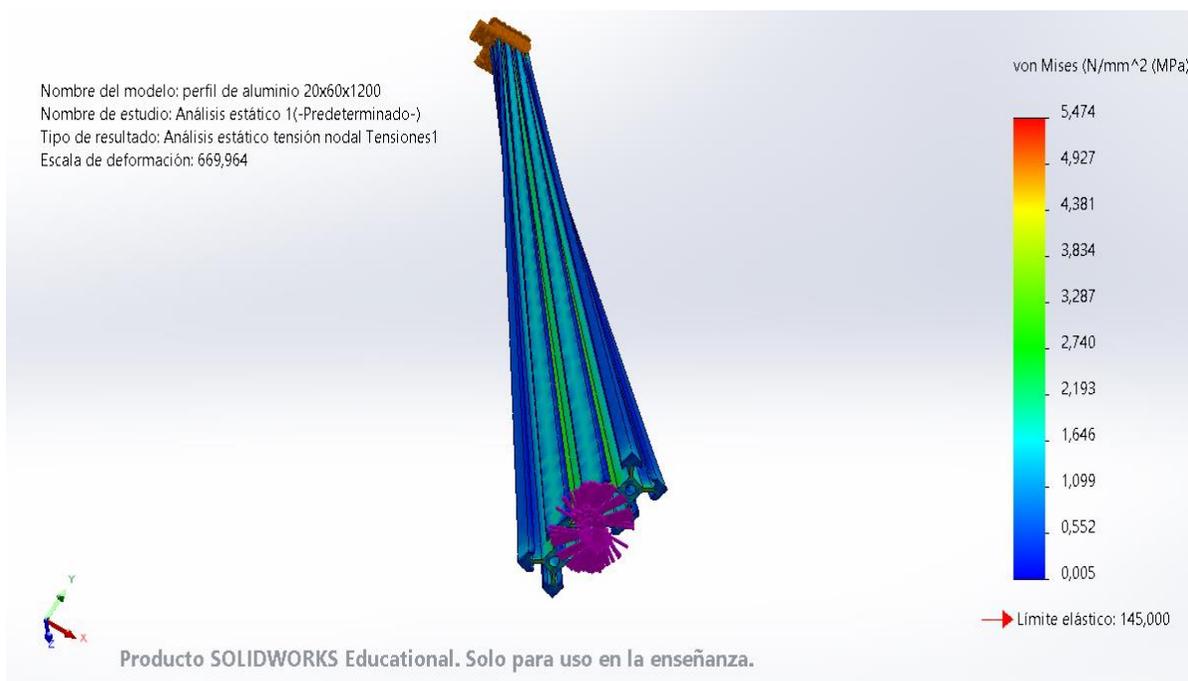
En la figura 22 se muestra que el Factor de seguridad obtenido en el punto más crítico del perfil es de 6.564, el resultado de la simulación coincide con el resultado obtenido en la fórmula.

Análisis de Torsión aplicada al perfil de aluminio tipo V. Ya que los ejes se moverán gracias a motores a pasos es necesario determinar si la estructura soportará el torque inducido.

El análisis se realizó en SolidWorks y se aplicó al perfil de aluminio tipo V un torque de 1,8 Nm.

Figura 23

Análisis de torsión aplicado al perfil de aluminio Tipo V



Nota. Análisis de torsión realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 23 se muestra el análisis de torsión aplicado al perfil de aluminio, alcanzando un valor máximo en el punto más crítico de 5.474 MPa y se encuentra dentro del límite elástico que es 145 MPa.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente fórmula según (SafetyCulture, 2023).

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{145,000 \text{ MPa}}{5,474 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 26.48$$

Fs = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 5.474 MPa, según el resultado final se necesita 26.48 Veces para alcanzar el límite de elasticidad.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 24

Resultado del factor de seguridad para la torsión del perfil



Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 24 se muestra que el Factor de seguridad obtenido en el punto más crítico del perfil es de 26.487, el resultado de la simulación coincide con el resultado obtenido en la formula.

Tabla de Resultados obtenidos en el Análisis estructural del perfil de Aluminio Tipo V

Tabla 4

Resultados obtenidos para el perfil de aluminio

| Tabla de resultados obtenidos en el Análisis estructural del perfil de Aluminio Tipo V 20x60 | | | | |
|--|---------|-----------------|---------------|---------------------|
| Tipo de Análisis | Carga | Limite Elástico | Punto Critico | Factor de Seguridad |
| (Vista dada por SolidWorks) | | | | |
| Análisis de Tensiones en los rieles | 165.88N | 145MPa | 5.280MPa | 27.46 |
| Análisis de Tensiones en la parte Superior | 165.88N | 145MPa | 22.091MPa | 6.56 |
| Análisis de Torsión | 1.8 N.m | 145MPa | 5.474 MPa | 26.48 |

Nota. Tabla de resultados obtenidos del análisis de tensiones y torsión aplicados al perfil de aluminio tipo V realizado en el software 2022.

Selección del material para la construcción de las placas del eje X

Las placas del eje x tienen que soportar el peso de la estructura del eje Z junto con la herramienta y otros elementos del eje x, por lo que es necesario seleccionar un material que sea duro, resistente, maquinable, estable y ligero, hay muchos materiales que cumplen con estas condiciones, sin embargo, muchas de estas no se consiguen fácilmente en el mercado nacional (García V. , 2020).

Nylon Pa Tipo 6 como material para la construcción de las placas del eje x

El Nylon 66 es un tipo de material que se consigue fácilmente en el mercado y cumple con las condiciones antes mencionadas por lo que se seleccionó para la construcción de las placas del eje x.

Características del material nylon Pa Tipo 6

El nylon 6,6 está constituido por monómeros, con 6 átomos de carbono cada uno, se trata de un polímero semicristalino con excelentes propiedades que lo hacen un material ideal para la construcción de placas, en la industria es muy utilizada gracias a su dureza, resistencia y alta maquinabilidad (Resinex, 2013).

Las características del Nylon 66 son las siguientes:

- Resistencia mecánica
- Alta Dureza
- Resistencia a la fatiga
- Excelente amortiguamiento
- Resistente a las condiciones climáticas
- Excelente Maquinabilidad
- Resistente a Impactos y golpes

Especificaciones técnicas del Nylon 66

Tabla 5

Propiedades mecánicas del Nylon Poliamida 6

| Tabla de propiedades mecánicas del Nylon Pa Tipo 6 | | | | | |
|--|------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Modulo Elástico | Coeficiente de Poisson | Modulo Cortante | Densidad de masa | Límite de Tracción | Limite Elástico |
| 2620 | 0.34 | 970.4 | 1120 | 90 N/mm ² | 103.64 |
| N/mm ² | | N/mm ² | Kg/m ³ | | N/mm ² |

Nota. Tabla de propiedades mecánicas del material Nylon Poliamida 6. Datos tomados del software SolidWorks 2022

Análisis estructural del material Nylon 66 como placa para el eje X

El análisis estructural del Nylon 66 como material a utilizarse para realizar las placas que sostienen el eje x, la prueba se realizó con el fin de verificar el comportamiento del material sometido a ciertas cargas, se utilizó el software SolidWorks para el análisis.

Análisis Estructural aplicadas en la placa del eje x. El análisis se hizo aplicando una fuerza en la base que sostiene al perfil con el fin de determinar si el material es apto para usarse como placa del eje x.

Se adicionó una carga de 8 Kilogramos fuerza y en SolidWorks se transformó a Newtons mediante el siguiente cálculo (Cuemath, 2021).

Ecuación 5

Conversión de kgf a N para el eje X

$$W = m \times g$$

$$W = 8\text{kgf} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 79 \text{ N}$$

W = Peso en Newtons

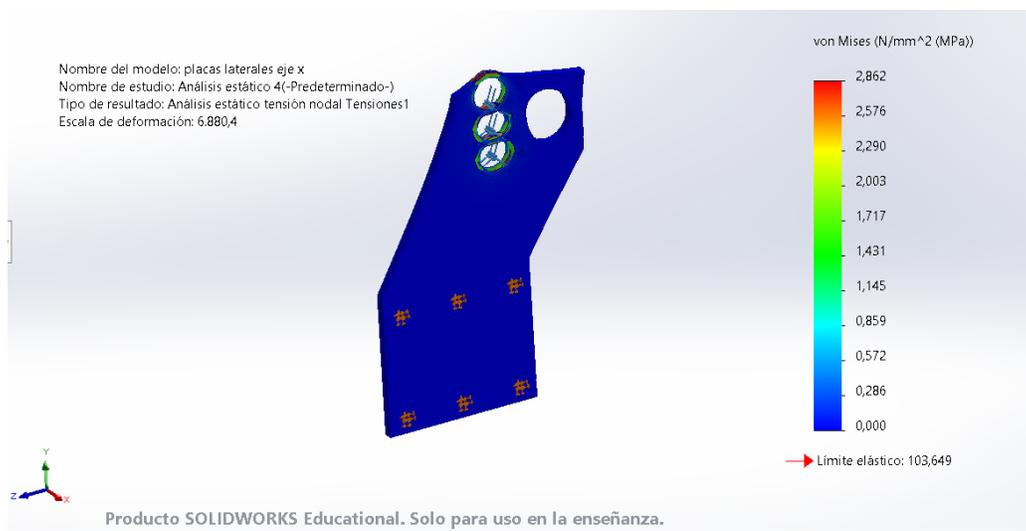
m = Masa en kgf

g = Gravedad ($9.8 \frac{m}{s^2}$)

Adicional al peso de 79 N se tomará en cuenta la fuerza de corte correspondiente a 86.88N, con un total de 165.88N esto con el fin de brindar una buena seguridad tomando en cuenta los posibles esfuerzos que realizará la máquina. A pesar de que el eje X es más liviano que el eje Y tiene que soportar de igual manera la fuerza de corte y con el fin de brindar una buena seguridad se tomó en cuenta el peso de 8kgf.

Figura 25

Análisis de tensiones para la placa eje X



Nota. Análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 25 se muestra el punto crítico de la placa, el valor máximo es de 2.862 MPa Y su límite elástico es de 103 MPa, el valor máximo se encuentra dentro límite permitido.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 6

Factor de seguridad para placa eje X

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{103,649 \text{ MPa}}{2.862 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 36.21$$

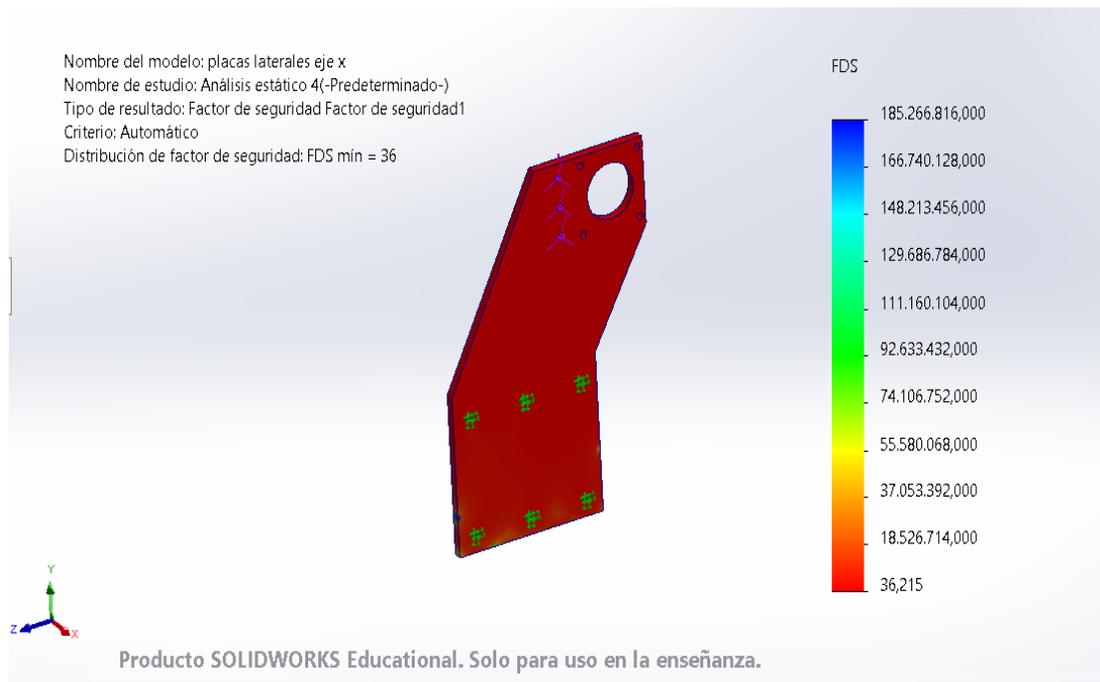
Fs = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 2.862 MPa, según el resultado final se necesita 36.21 Veces para alcanzar el límite de elasticidad.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 26

Resultado del factor de seguridad para las placas eje x

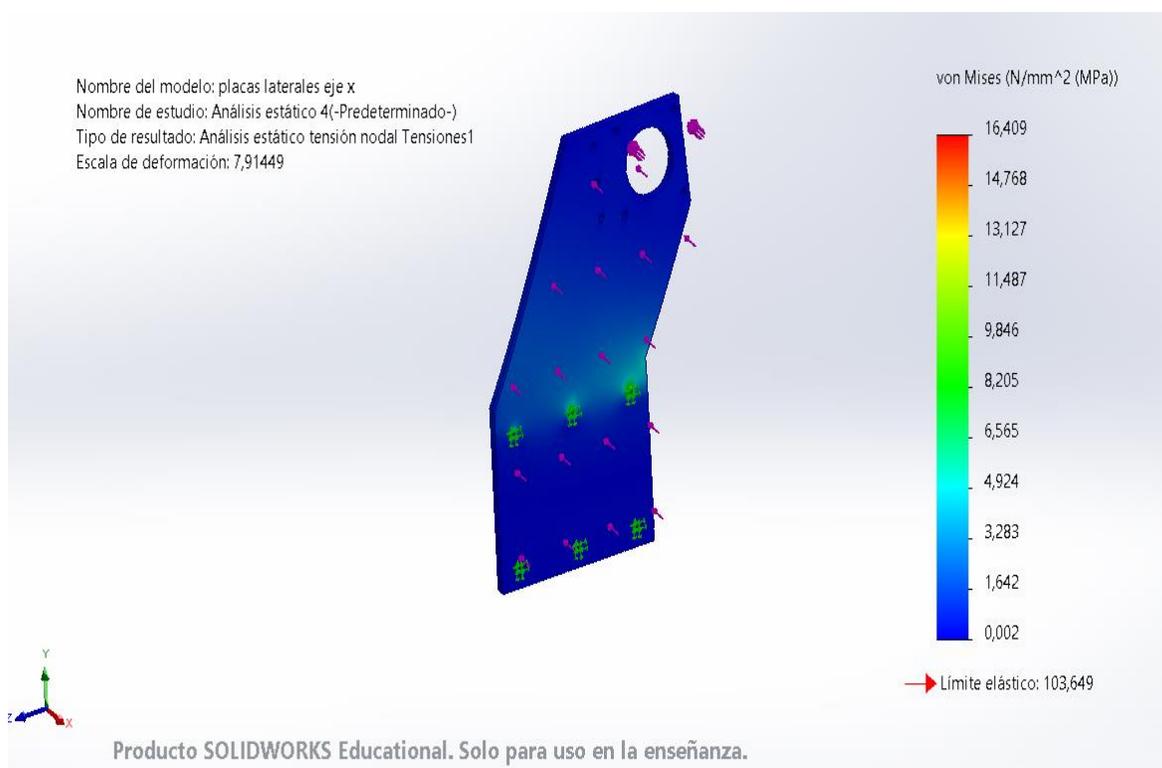


Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Análisis Estructural aplicadas en la placa del eje x parte lateral. Se realizó el análisis estructural a la placa del eje x, específicamente en la parte lateral, aplicando la fuerza de corte de 86.88 N para determinar si resiste las fuerzas que ejercerá la máquina al momento de realizar un corte.

Figura 27

Análisis de tensiones en la parte lateral placa eje X



Nota. Análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 27 muestra los resultados del análisis de tensión cuando se le aplica una fuerza de 86.88N en la parte lateral, el punto crítico máximo es de 16.409 MPa y su límite elástico es de 103,649 MPa.

El valor máximo se encuentra dentro de los límites.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{103,649 \text{ MPa}}{16.409 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 6.31$$

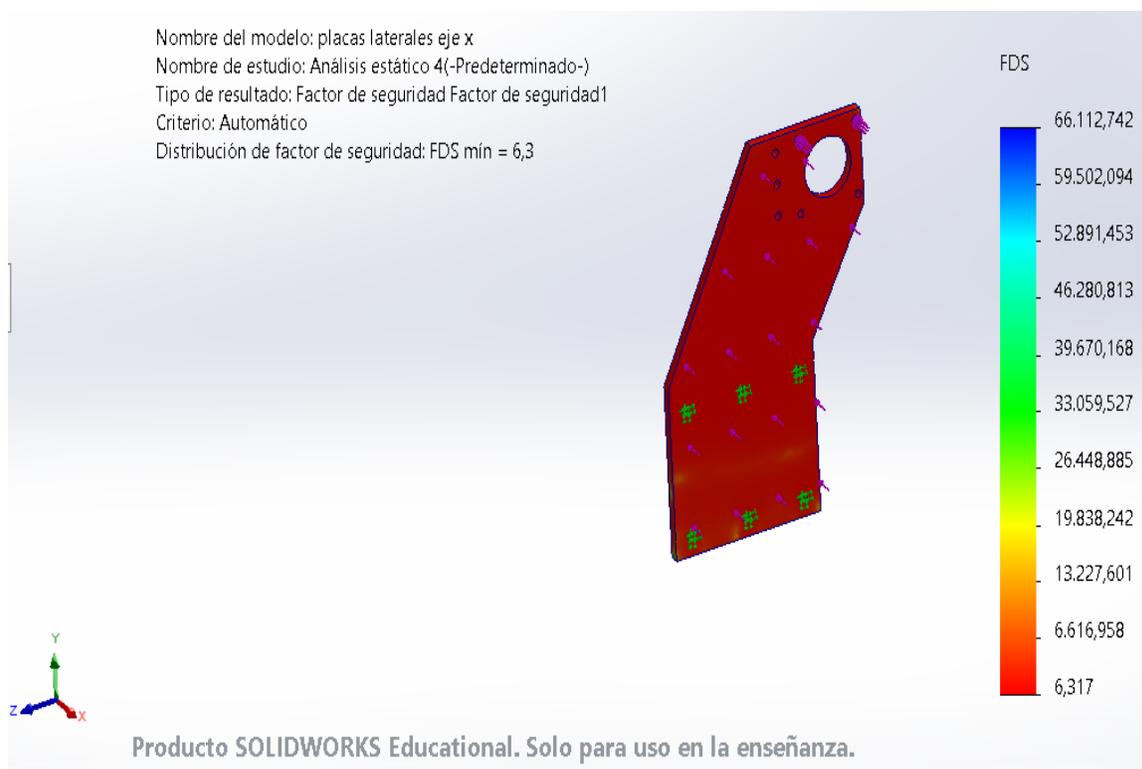
Fs = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 16.409 MPa, según el resultado final se necesita 6.31 Veces para alcanzar el límite de elasticidad.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 28

Resultado del factor de seguridad aplicada a la placa eje x lateral



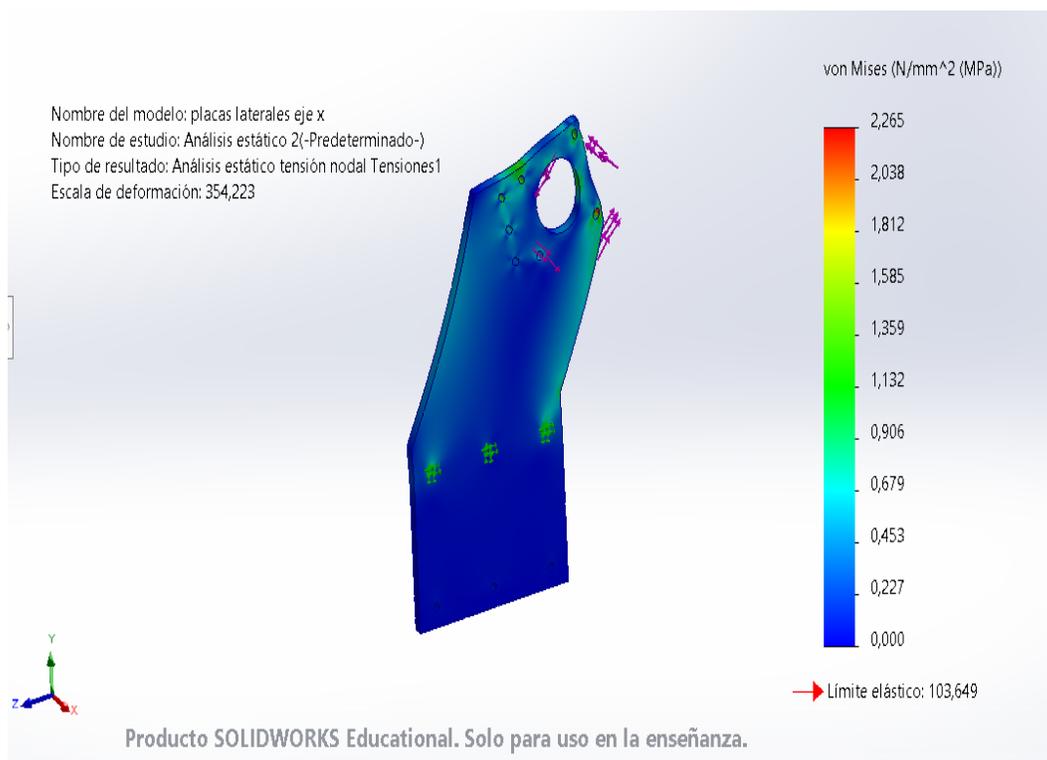
Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Análisis de torsión aplicadas a la base del motor en el eje X. Es necesario realizar un estudio de torsión aplicadas en las placas del eje x para determinar si las mismas son capaces de resistir la fuerza impuesta por los motores a pasos.

Se tomó en cuenta un motor de un torque de 1.8 Nm para el estudio de torsión.

Figura 29

Análisis de torsión para la base del motor eje x



Nota. Análisis de torsión realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 29 se muestra el análisis de torsión aplicando en la base del motor de la placa del eje x

El valor del punto crítico máximo es de 2.265 MPa y se encuentra dentro del límite elástico que es de 103.649.

Es necesario aplicar la fórmula para determinar el factor de seguridad según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 7

Factor de seguridad torsión base del motor eje x

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{103,649 \text{ MPa}}{2.265 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 45.76$$

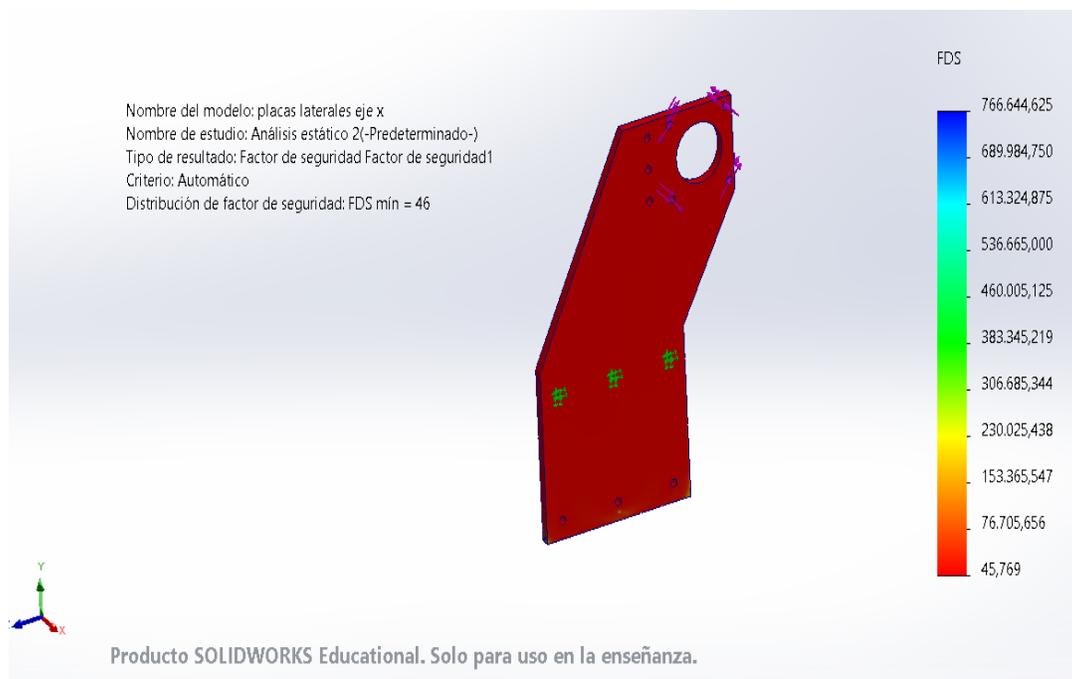
Fs = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 2.265 MPa, según el resultado final se necesita 45.76 Veces para alcanzar el límite de elasticidad.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 30

Resultado del factor de seguridad aplicado a la base del motor eje x



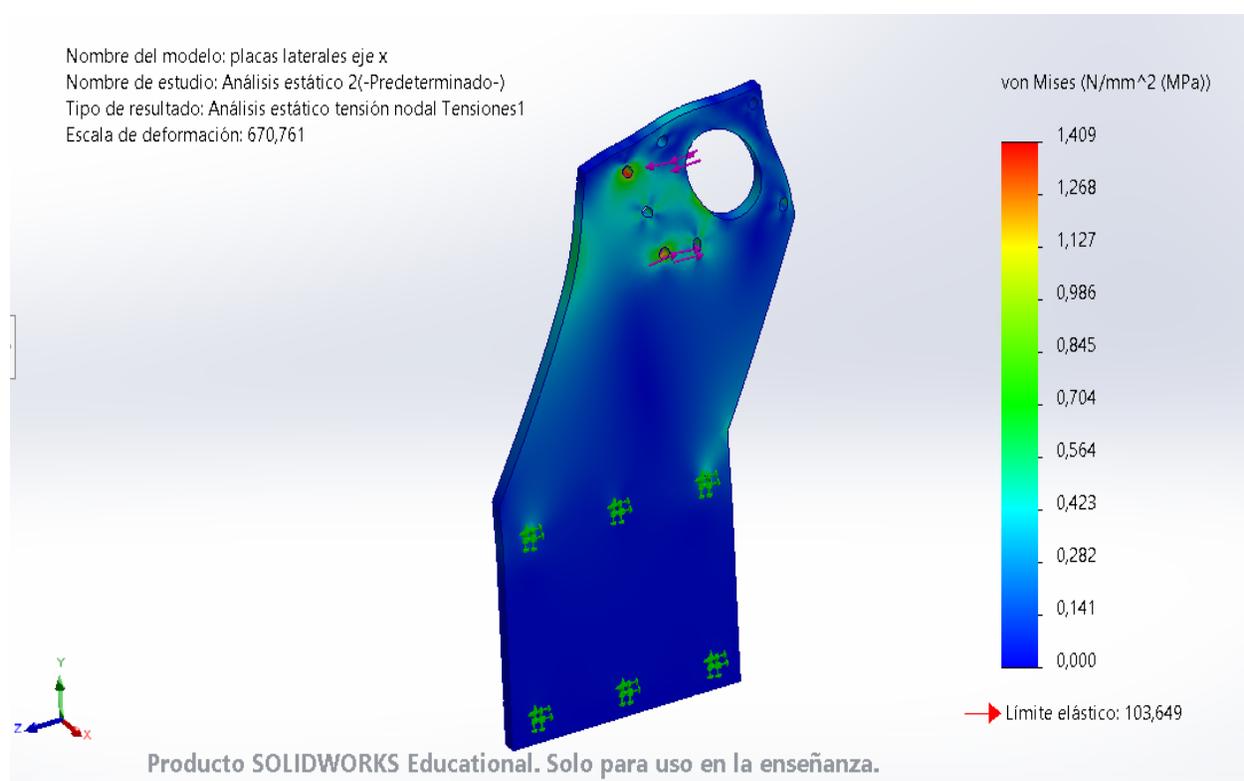
Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Análisis de torsión aplicadas a la base del perfil de la placa eje X. Así como se realizó el estudio de torsión a la base de motor del eje X también se debe aplicar el estudio a la base del perfil ya que el motor al ejercer una fuerza de torsión este también doblará el perfil de aluminio.

Por lo que se tomó en cuenta el valor de 1.8 Nm para la realización del estudio.

Figura 31

Análisis de torsión aplicada a la base del perfil de aluminio eje X



Nota. Análisis de torsión realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 31 muestra el análisis de torsión aplicado en las bases del perfil de aluminio obteniendo un valor crítico máximo de 1,409 MPa, este valor se encuentra dentro del límite elástico que es de 103,649 MPa.

Es necesario aplicar la fórmula para determinar el factor de seguridad según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 8

Factor de seguridad a la base perfil de aluminio eje X

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{103,649 \text{ MPa}}{1.409 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 73.562$$

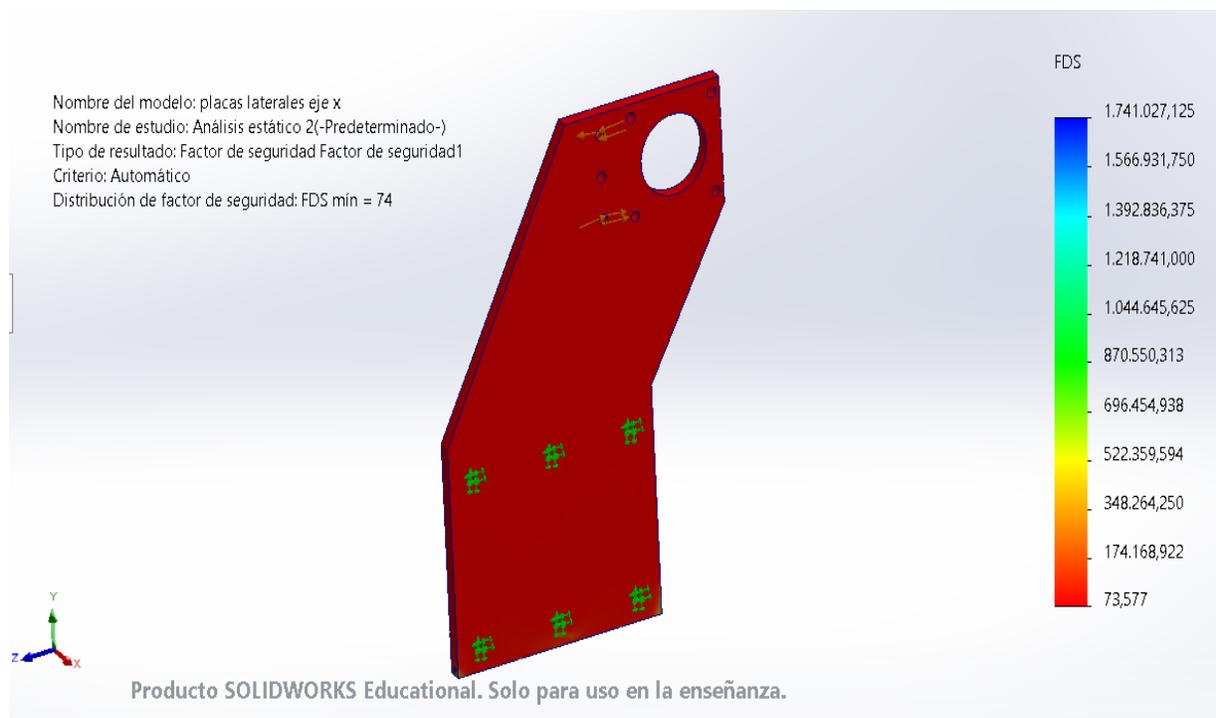
Fs = Factor de Seguridad

El punto crítico es de 1.409 MPa, según el resultado final se necesita 73.562 Veces para alcanzar el límite de elasticidad.

El resultado realizado se puede comprobar en SolidWorks Aplicando un Análisis de factor de Seguridad dentro del programa.

Figura 32

Resultado del factor de seguridad para la base perfil de aluminio



Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Tabla de resultados alcanzados en el análisis estructural de la placa para el eje X

Tabla 6

Resultados obtenidos de los análisis realizados a la placa eje X

| Tabla de resultados del análisis estructural de la placa para el eje X | | | | |
|--|-------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Tipo de Análisis (Vista dada por SolidWorks) | Carga Sometida | Limite Elástico | Punto Critico | Factor de Seguridad |
| Análisis de tensiones en la base de sujeción del perfil de aluminio | 79 N o 8kgf | 103,649 MPa | 2.862 MPa | 36.21 |
| Análisis de tensiones en la parte lateral de la placa eje X | 79 N o 8kgf | 103,649 MPa | 16.409 MPa | 6.31 |
| Análisis de torsión aplicado en la base del motor eje X | 1.8 Nm | 103,649 MPa | 2,265 MPa | 45,76 |
| Análisis de torsión, Base del perfil de aluminio tipo V | 1.8Nm | 103,649 MPa | 1,409 MPa | 73,562 |

Nota. Tabla de resultados obtenidos del análisis de tensiones y torsión aplicados a la placa eje X realizado en el software SolidWorks 2022.

Selección de las placas para el eje Z

En el mercado nacional existe muchos materiales para la construcción de las placas para la sujeción del eje Z sin embargo existe kits de placas ya fabricadas que se mueven a lo

largo de todo el perfil tipo V 20x60 por lo que no es necesario analizar distintos tipos de materiales para la construcción de las mismas.

Kit de placas universales – Set V3 para el eje Z

los kits de placas universales que están disponibles en el mercado nacional, son compatibles con el perfil de aluminio tipo V 20x60 que se usará como guía y estructura para el movimiento de los ejes X, Y, Z.

Las placas universales son capaces de desplazarse por todo el perfil y los kits constan de los siguientes elementos según (PerfilesCNC, 2019).

Set V3- carro ranura V Universal 4 ruedas

- 4 ruedas de policarbonato
- Tornillos de acero M5 x 45mm
- Espaciadores de $\frac{1}{4}$
- Espaciadores excéntricos $\frac{1}{4}$
- Arandelas
- Tuercas Hexagonales de seguridad.

Figura 33

Set V3 Carro Universal



Nota. Carro Set V3 universal disponible en el mercado. Tomado de (PerfilesCNC, 2019).

Especificaciones técnicas del set V3 carro universal

- Carga máxima directo por rueda: 3.059 kg / 30 N
- Carga máxima torsión XYZ: 20.0Nm
- Material: 6063-T6 Aluminio
- Grosor placa: 2.93mm±0.2
- Acabado: Anodizado negro
- Dimensiones de la placa: 127.01x88mm±0.2
- Peso: 163g ±5%

No es necesario la realización de un análisis estructural ya que en las especificaciones detalla la carga máxima que puede soportar (PerfilesCNC, 2019).

Factor de seguridad de las placas set V3 Carro Universal

El factor de seguridad se debe determinar de acuerdo a los parámetros a las cuales se someterá las placas.

Las placas Pueden soportar 3.059 kg por cada rueda, en total se colocará 4 ruedas así que podrá soportar una carga total de 12.236 kg o 119.99N

Para realizar el cálculo de factor de seguridad se tomará en cuenta el peso del eje Z y la fuerza de corte.

Pesos de los elementos:

- Motor a pasos nema 17: 350gr
- Perfil de Aluminio 20x60 x 30 cm: 350gr
- Placa motor eje z: 100 gr
- Porta Herramienta: 200gr
- Herramienta Dremel 4000: 660gr
- Accesorios: 320gr

El peso del Eje Z tiene un total de 1980 gr o 19.58N sumada la fuerza de corte de 86.88 N tiene un total de 106.46, la carga máxima del set V3 carro universal es de 119.99 N

Para determinar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 9

Factor de seguridad para el set V3 Carro Universal

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{119.99}{106.46}$$

$$F_s = 1.12$$

Fs = Factor de seguridad

De acuerdo con las especificaciones la placa set V3 tiene una torsión Máxima de 20Nm, asumiendo que el motor a utilizares es de 1.8 Nm el factor de seguridad es:

Ecuación 10

Factor de seguridad para la torsión del Set V3 Carro Universal

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{20}{1.8 \text{ Nm}}$$

$$F_s = 11.11$$

Fs = Factor de seguridad

Selección del método de Transmisión de potencia

Para la selección del método de transmisión de potencia se debe considerar el tipo de máquina a realizarse, y las dimensiones del mismo, en el mercado nacional existe mucha disponibilidad de elementos de transmisión de potencia por lo que es necesario realizar una tabla comparativa con los elementos disponibles.

Tabla comparativa de los distintos elementos de transmisión de potencia

Tabla 7

Comparativa entre los distintos métodos de transmisión

| Características | Transmisión por banda dentada GT2 | Tornillo Sin Fin 8mm/rev 4H | Husillo de Bolas Tuerca |
|---------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| Disponibilidad en el mercado | Alta | Alta | Media |
| Precio | Bajo | Media | Alta |
| Dureza | Media | Alta | Alta |
| Resistencia | Media | Alta | Alta |
| Tiempo de Vida | Baja | Alta | Alta |
| Precisión | Medio | Media | Alta |
| Lubricación | No | Si/no | Si |
| Espacio | Reducido | Mediando | Alta |
| Capacidad de carga | Media | Alta | Alta |
| Rijidez | Baja | Alta | Alta |



Nota. Tabla de comparación entre los distintos métodos de transmisión disponibles en el mercado.

El husillo de bolas tuerca es el mejor método de transmisión para las máquinas CNC sin embargo el precio es demasiado elevado y no justifica para una máquina de 80x60cm de área efectiva, por lo que según el análisis se escogió el medio de los dos, el tornillo sin fin es un elemento de transmisión más accesible y posee buenas características.

Tornillo sin fin D8mm 4H

El tornillo sin fin es un método de transmisión de movimiento lineal, es utilizado generalmente en máquinas CNC e Impresoras 3D, está constituido por acero inoxidable, su tuerca es de bronce y posee buena adaptabilidad (Orgone, 2016).

Figura 34

Tornillo sin fin 4 hilos D8mm



Nota. Tornillo sin fin D8mm 4 hilos de entrada. Tomado de (LozuryTech, 2017)

Ventajas que posee el Tornillo sin Fin 8mm 4H

Entre las principales ventajas del uso del tornillo sin fin destacan.

- Buena Capacidad de carga

- Movimiento Lineal Preciso
- No requiere de lubricación
- Precisión milimétrica
- Elevado tiempo de vida
- Alta resistencia

Características del tornillo sin fin 8mm 4H

- Dentro de sus características destaca según (Orgone, 2016).
- Material: Acero Inoxidable
- Rosca: Métrica
- Longitud: 1000mm
- Diámetro 8mm
- Entradas: 4
- Paso: 8mm/Rev.
- Tuerca de bronce

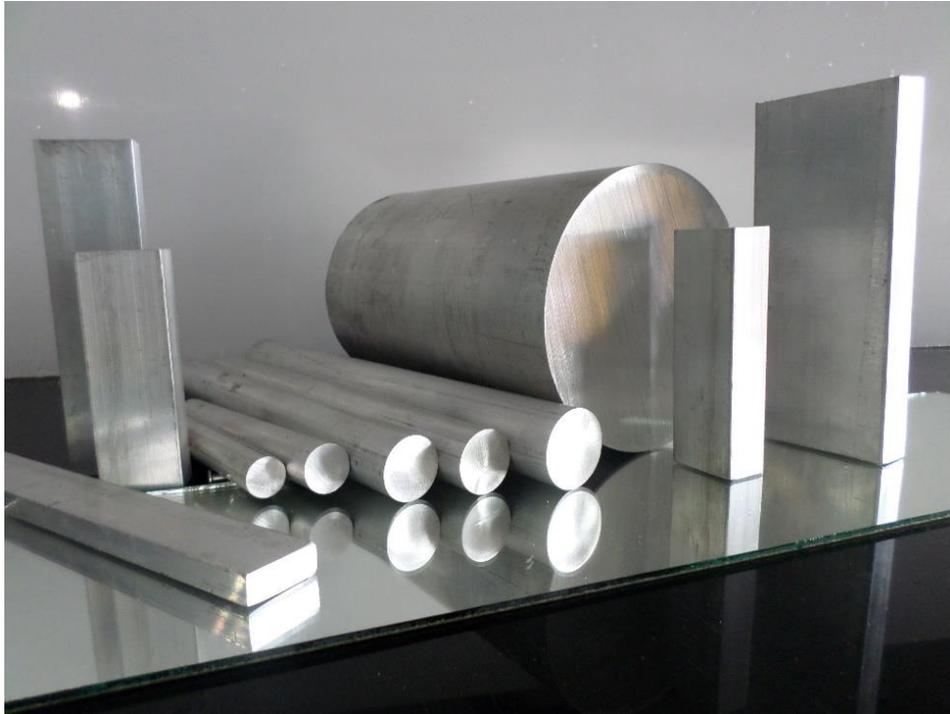
Selección de Material para la construcción del porta herramientas, Base del motor eje Z y

Base para tuerca tornillo sin fin

Para la selección de material para la construcción de la base del motor para el eje Z se tomó en consideración aspectos como dureza, maquinabilidad, resistencia, y peso, por lo que se escogió el Aluminio 6061-T6 que cumple con estas características.

Definición y composición del Aluminio 6061-T6

El aluminio 6061-T6 Es una aleación endurecida y contiene elementos como Aluminio, magnesio y silicio. Posee buenas características mecánicas, se utiliza en aplicaciones estructurales por lo que es una buena opción para la creación de las bases y piezas restantes (IIRSACERO, 2015).

Figura 35*Material Aluminio 6061-T6**Nota.* Aluminio 6061-T6. Tomado de (Vazbros, 2015)***Propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6*****Tabla 8***Tabla de propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6*

| Tabla de propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6 | | | |
|---|---------------------------|--------------|----------------|
| Limite Elástico | Resistencia a la Tracción | Estiramiento | Dureza Brinell |
| 275 MPa | 290 MPa | 8% | 100-120 HB |

Nota. Tabla de propiedades mecánicas. Tomado de (Ggdmetals, 2018).

Propiedades Físicas del Aluminio 6061-T6

Tabla 9

Tabla de propiedades físicas del Aluminio 6061-t6

| Tabla de propiedades físicas del Aluminio 6061-T6 | | | |
|---|----|-------------------|----------------------------|
| Módulo de Elasticidad | de | Módulo de rigidez | Temperatura de Fusión |
| 70 000 MPa | | 26500 MPa | 650 ° C |
| | | | de Conductividad eléctrica |
| | | | IACS = %46 |

Nota. Tabla de propiedades físicas del Aluminio 6061-T6. Tomado de (Ggdmets, 2018).

Análisis estructural aplicada a la base para el motor eje Z

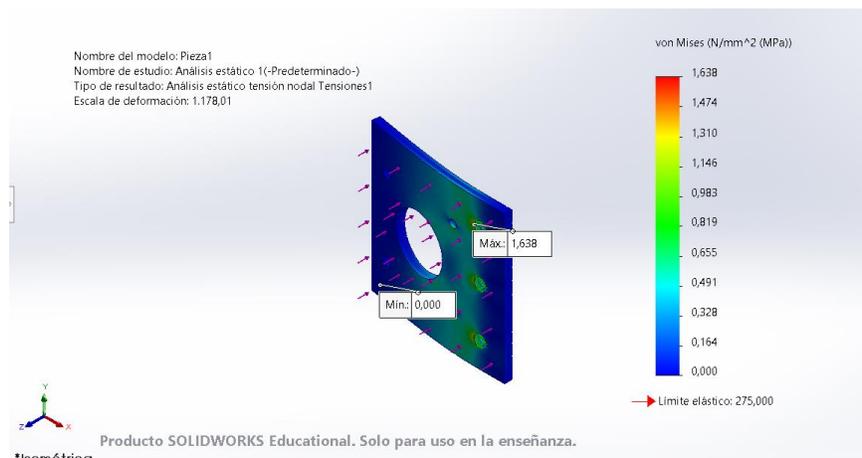
Es necesario someter a la base del motor a un análisis de tensiones y torsión ya que este debe soportar el peso del motor y el torque ejercido por el mismo

Para el análisis se tomó en cuenta el peso del motor que es 350gr o 3.43 N y el torque que es de 0.4Nm.

La base tiene un espesor de 3mm.

Figura 36

Análisis de tensiones para base motor del eje Z



Nota. Análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 36 muestra el resultado del análisis de tensiones aplicados a la base del motor obteniendo en el punto crítico máximo un valor de 1.638 MPa, está dentro del límite de elasticidad que es 275MPa.

Es necesario determinar el factor de seguridad mediante la aplicación de la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 11

Factor de seguridad para las fuerzas aplicadas a la base del motor eje Z

$$Fs = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$Fs = \frac{275 \text{ MPa}}{1.638 \text{ MPa}}$$

$$Fs = 167.88$$

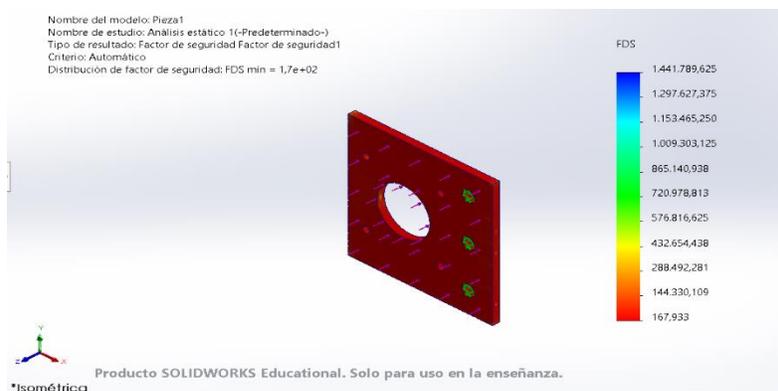
Fs = Factor de seguridad

El valor del punto crítico es de 1.638 MPa según el resultado alcanzado se necesita 152.62 veces para alcanzar el valor del límite elástico.

Este resultado se puede comprobar aplicando un análisis de factor de seguridad en el software SolidWorks.

Figura 37

Resultado del factor de seguridad a la base del motor eje Z



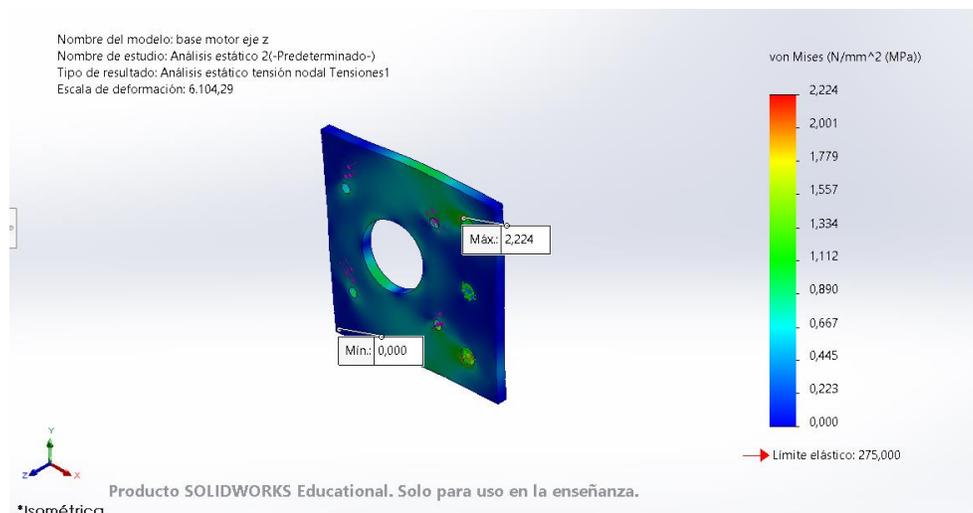
Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Análisis de torsión aplicada a la base para el motor eje Z

Para la realización del Análisis de torsión se tomó en cuenta el torque del motor que es de 0,4Nm, se le aplicó esta fuerza a la parte donde se sujeta el motor con la placa.

Figura 38

Análisis de torsión aplicado a la base motor eje Z



Nota. Análisis de torsión realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 38 muestra la torsión aplicada a la base del motor, el punto crítico máximo es de 2.224 MPa y se encuentra dentro del límite elástico que es de 275 MPa

Es necesario determinar el factor de seguridad mediante la aplicación de la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 12

Factor de seguridad aplicado a la torsión de la base del motor eje Z

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{275 \text{ MPa}}{2.224 \text{ MPa}}$$

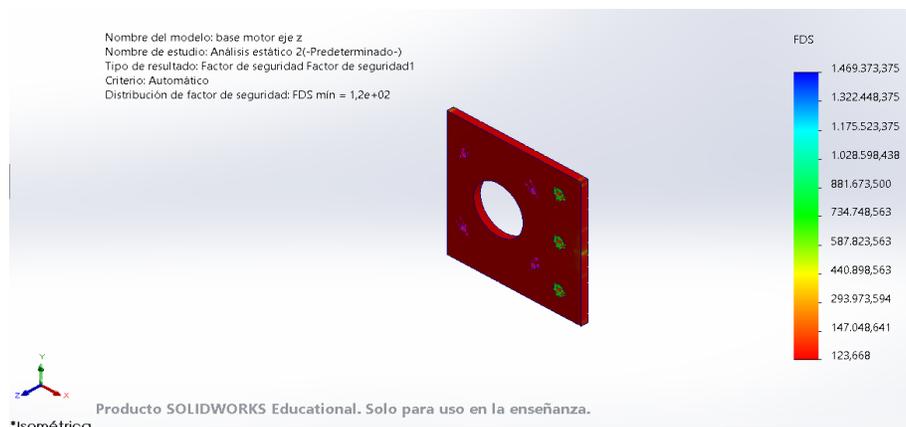
$$F_s = 123.65$$

F_s = Factor de seguridad

El valor del punto crítico es de 2.224 MPa según el resultado alcanzado se necesita 123.65 veces para alcanzar el valor del límite elástico. Este resultado se puede comprobar aplicando un análisis de factor de seguridad en el software SolidWorks.

Figura 39

Resultado del factor de seguridad aplicado a la base del motor eje Z



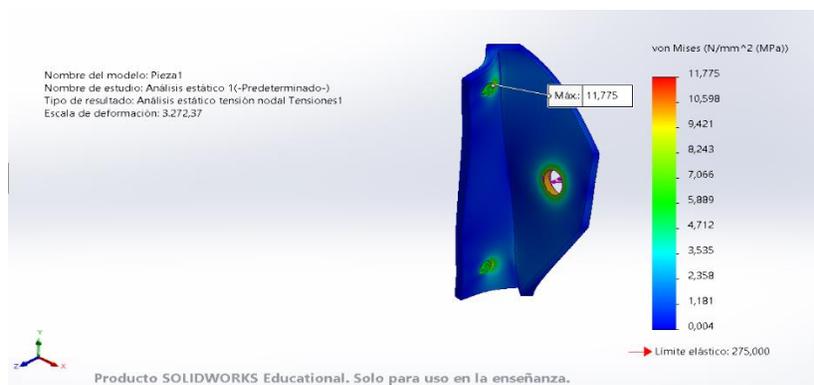
Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Análisis de torsión aplicada a la base de sujeción de la tuerca tornillo sin fin

El siguiente análisis consiste en someter a la base de sujeción de la tuerca tornillo sin fin a la torsión impuesta por el motor a pasos que posee un torque de 1.8Nm

Figura 40

Análisis de torsión aplicado a la base de sujeción tuerca Tornillo sin fin



Nota. Análisis de torsión realizado en el software SolidWorks 2022.

El resultado muestra que el punto crítico máximo es de 11.775 MPa y se encuentra dentro del límite de elasticidad que es de 275 MPa

Para comprobar el factor de seguridad es necesario el uso de la siguiente fórmula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 13

Factor de seguridad para la torsión de la base tuerca tornillo sin fin

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{275 \text{ MPa}}{11.775 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 23.35$$

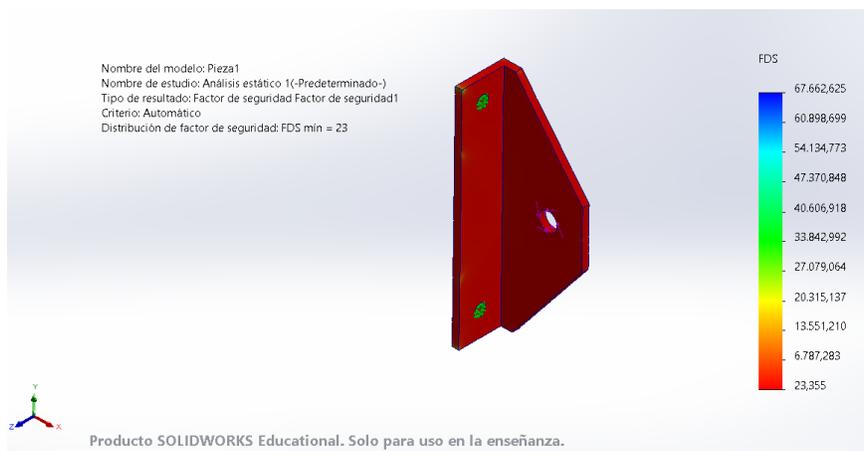
Fs = Factor de seguridad

El punto crítico es de 11.775 MPa, es decir que se necesita 23.35 veces para alcanzar el límite de elasticidad

Este resultado se puede comprobar aplicando un análisis de factor de seguridad en el software SolidWorks.

Figura 41

Resultado factor de seguridad para la base tuerca tornillo sin fin



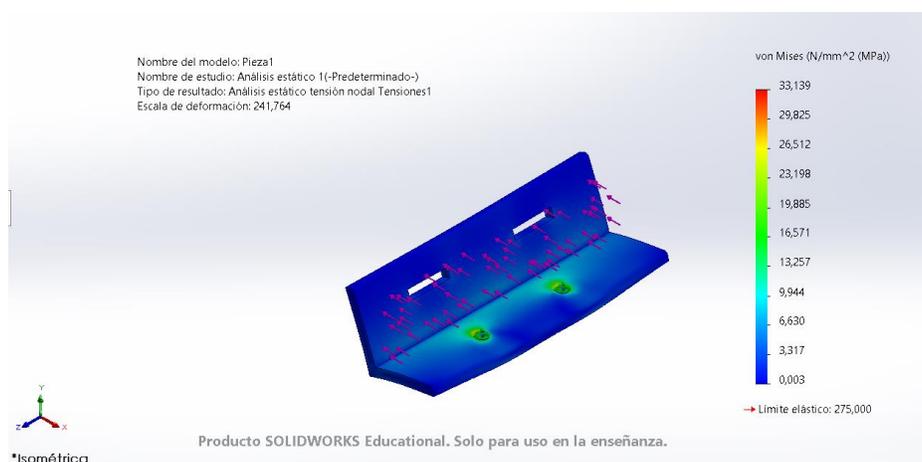
Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Análisis estructural aplicado a la base Porta herramienta – Husillo

El análisis se realizó tomando en cuenta la fuerza de corte que puede ejercer la máquina sobre el material con un total de 86.88N. Esta fuerza se aplicó en los puntos de sujeción de la herramienta. La base consta de dos piezas con puntos de sujeción, en el análisis solo se necesita el análisis de una pieza ya que ambas son idénticas.

Figura 42

Análisis de tensiones realizados a la base portaherramientas



Nota. Análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks 2022.

En la figura 42 muestra el análisis realizado a la base del portaherramientas con un punto crítico máximo de 33.139 MPa, este valor se encuentra dentro del límite elástico que es de 275 MPa.

Para comprobar el factor de seguridad es necesario el uso de la siguiente fórmula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 14

Factor de seguridad aplicado a la base portaherramientas

$$F_s = \frac{\text{Estres Maximo}}{\text{Estres de Trabajo o diseño}}$$

$$F_s = \frac{275 \text{ MPa}}{33.139 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 8.29$$

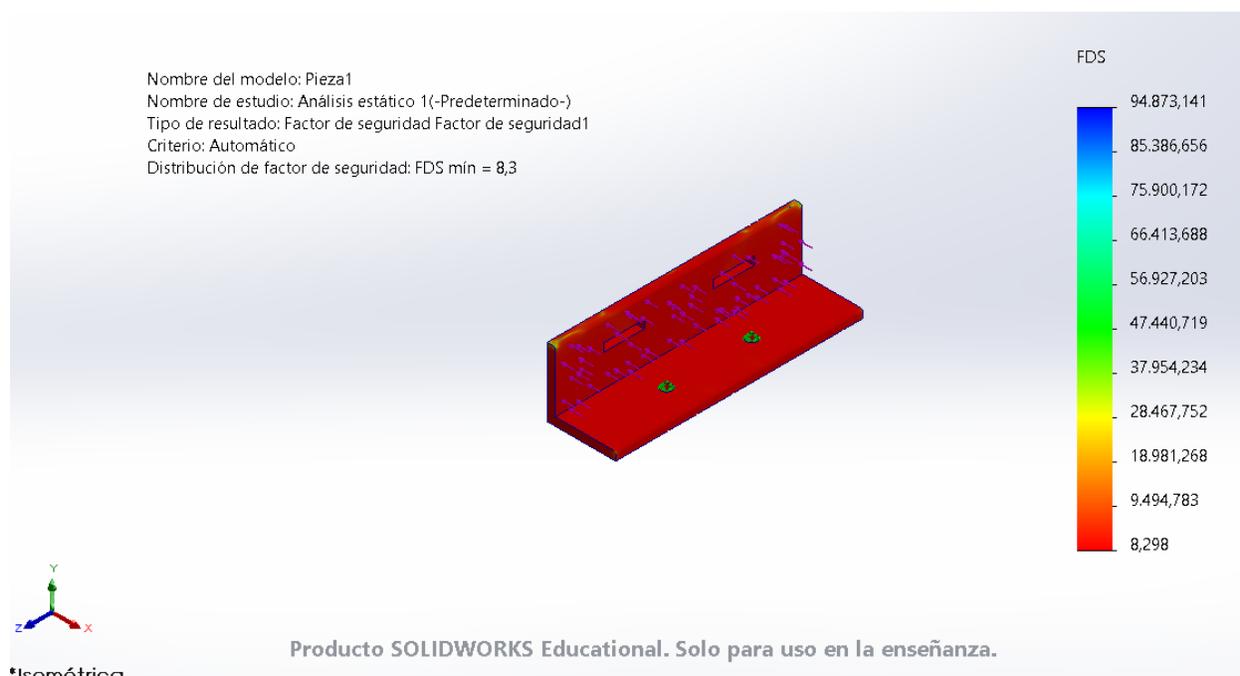
F_s = Factor de seguridad

El punto crítico es de 33.139 MPa, es decir que se necesita 8.62 veces para alcanzar el límite de elasticidad.

Este resultado se puede comprobar aplicando un análisis de factor de seguridad en el software SolidWorks.

Figura 43

Resultado Factor de seguridad aplicado a la base portaherramientas



Nota. Factor de seguridad realizado en el software SolidWorks 2022.

Parámetros de mecanizado

Los parámetros de mecanizado son muy importantes para determinar cómo trabajará la máquina, en esta sección se estipulará cálculos para que la máquina pueda trabajar en condiciones óptimas.

Fresas que generalmente se utilizarán para el mecanizado

En el mercado nacional existe un juego de fresas con medidas desde 1mm hasta los 3.175mm de diámetro, ideales para el trabajo a realizarse (fabricación de piezas de aeromodelismo), son hechas de carburo de tungsteno y son compatibles con el Dremel a utilizarse.

Figura 44

Fresas de carburo de tungsteno para Dremel



Nota. Las fresas se consiguieron en mercado libre Ec.

Parámetros de corte

En la siguiente tabla se utilizará los parámetros de fuerza específica de corte en los materiales para determinar los cálculos correspondientes, se tomó datos de termoplásticos ya que no se encontró mucha información acerca de fuerza específica de corte en madera (Delgado, 2019).

Revise el Anexo A15 para más información de los parámetros en distintos materiales

Tabla 10

Tabla de parámetros de corte para el mecanizado en madera

| | | Taladrado | Fresado | Roscado | |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|-----|
| | | K | Kc1 | Kc | |
| Aplicación de material | | Factor de material | N/mm ² | Factor de corrección | |
| | | | | N/mm ² | |
| Materiales sintéticos | Termoplásticos | 0.6 | 1400 | 0.15 | 400 |
| | Plásticos endurecidos por calor | 0.6 | 1400 | 0.20 | 600 |
| | Materiales plásticos reforzados | 1.0 | 1600 | 0.30 | 800 |

Nota. Tabla de parámetros de corte. Tomado de (Delgado, 2019).

Cálculo de Avance por diente

Para el cálculo de avance por diente se requiere ciertos aspectos como, número de dientes de la fresa, RPM del husillo y Velocidad de avance.

Se recomienda tomar en cuenta los siguientes parámetros de avance por diente como recomendación:

Tabla 11

Tabla de avance por diente o carga de Viruta, en mm

| Tablas de avance por diente o carga de viruta, en mm | | | | | |
|--|-------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------------|
| D fresa (mm) | Madera dura | Madera blanda/ Contrachapados | DM/MDF | Aglomerados/ Laminados HPL | Fenólicos duros |
| 3 | 0,06-0,13 | 0,10-0,15 | 0,09-0,18 | 0,07-0,13 | NA |
| 6 | 0,14-0,28 | 0,2-0,33 | 0,18-0,41 | 0,16-0,30 | 0,12-0,30 |
| 9 | 0,29-0,46 | 0,4-0,51 | 0,35-0,58 | 0,31-0,46 | 0,17-0,45 |
| 12 y + | 0,4-0,54 | 0,53-0,59 | 0,5-0,69 | 0,42-0,64 | 0,27-0,56 |

Nota. Tabla de avance por diente. Tomado de (Tecnocorte, 2021)

Para realizar los siguientes cálculos se tomará en cuenta un avance por diente de 0.06 mm, el rango más bajo para madera dura.

Tabla de parámetros para cálculos de mecanizado.

Se obtuvo algunos parámetros a tomar en cuenta para realizar el mecanizado, también se requiere las RPM de la herramienta de corte, se tiene un Dremel 4000 que gira a 35.000RPM, posee múltiples velocidades por lo que se escogerá 15.000 RPM como parámetro.

Tabla 12

Tabla de parámetros iniciales para el mecanizado

| Descripción | Parametrización | Valor | / unidad |
|--|------------------------|------------------------|---------------------|
| Diámetro de la fresa | Dcap | 3.175 mm | |
| Velocidad de la herramienta | <i>n</i> | 15000 RPM | |
| Dientes de la fresa | <i>zc</i> | 1 | |
| Avance por diente | Fz | 0.06mm | |
| Profundidad corte radial | ae | 3.175 | |
| Profundidad corte axial | <i>ap</i> | 1 mm | |
| Fuerza específica de corte para espesor de viruta de 1mm | kc | 1400 N/mm ² | |
| Compensación del grosor de viruta | <i>mc</i> | 0.15 | |

Nota. Parámetros obtenidos previo a la obtención de los cálculos para el mecanizado. Tomado de (Delgado, 2019).

Cálculo de velocidad de corte**Ecuación 15***Parametrización de la Velocidad de Corte*

$$vc = \frac{D_{cap} * \pi * n}{1000}$$

$$vc = \frac{3.175mm * \pi * 15.000 \text{ rpm}}{1000}$$

$$vc = 149.61 \text{ m/min}$$

Nota. Cálculo de velocidad de corte. Tomado de (Sandvik, 2013).**Cálculo de la velocidad de avance****Ecuación 16** *Parametrización de la Velocidad de avance*

$$vf = fz * n * zc$$

$$vf = 0.06mm * 15,000 \text{ rpm} * 1 = 900 \text{ mm/min}$$

Nota. Cálculo de velocidad de avance. Tomado de (Sandvik, 2013).**Cálculo avance por diente****Ecuación 17***Parametrización del avance por diente*

$$Fz = \frac{vf}{n * zc}$$

$$Fz = \frac{900 \text{ mm/min}}{15000 * 1}$$

$$Fz = 0.06mm$$

Nota. Cálculo de avance por diente. Tomado de (Sandvik, 2013).

Cálculo de espesor medio de viruta**Ecuación 18***Parametrización del espesor medio de viruta*

$$hm = \frac{360 * ae * fz}{\pi * Dcap * \arcsin\left(1 - \frac{2 * ae}{Dcap}\right)}$$

$$hm = \frac{360 * 3.175\text{mm} * 0.06\text{mm}}{\pi * 3.175\text{mm} * \arcsin\left(1 - \frac{2 * 3.175\text{mm}}{3.175\text{mm}}\right)}$$

$$hm = 0.038 \text{ mm}$$

Nota. Cálculo de espesor medio de viruta. Tomado de (Sandvik, 2013).**Cálculo de fuerza de corte específica****Ecuación 19***Parametrización de la fuerza de corte específica*

$$kc = kc1 * hm^{-mc}$$

$$kc = 1,400\text{N/mm}^2 * 0.038\text{mm}^{-0.15} = 2286.44 \text{ N/mm}^2$$

Nota. Cálculo de fuerza de corte específica. Tomado de (Sandvik, 2013).**Cálculo Fuerza de Corte****Ecuación 20***Parametrización de la fuerza de corte*

$$fc = kc * hm * ap$$

$$fc = 2286.44 \text{ N/mm}^2 * 0.038 \text{ mm} * 1 \text{ mm}$$

$$fc = 86.88 \text{ N}$$

Nota. Cálculo de fuerza de corte. Tomado de (Sandvik, 2013).

Cálculo de la potencia neta de corte

Ecuación 21

Parametrización de la potencia neta de corte

$$P_c = \frac{a_p * a_e * v_f * k_c}{60 * 10^6}$$

$$P_c = \frac{1\text{mm} * 3.175\text{mm} * 900\text{mm}/\text{min} * 2286.44 \text{ N}/\text{mm}^2}{60 * 10^6}$$

$$P_c = 0.1088\text{kW} \text{ o } 100\text{W}$$

Nota. Cálculo de velocidad de potencia neta de corte. Tomado de (Sandvik, 2013).

Cálculo par de corte

Ecuación 22

Parametrización del par de corte

$$M_c = \frac{P_c * 30 * 10^3}{\pi * n}$$

$$M_c = \frac{0.1088\text{kW} * 30 * 10^3}{\pi * n}$$

$$M_c = 0.692 \text{ Nm}$$

Nota. Cálculo de par de corte. Tomado de (Sandvik, 2013).

Tabla de parámetros obtenidos para el mecanizado

Se realizó una tabla con los parámetros obtenidos para el mecanizado ya se dependerá de estos para realizar los siguientes cálculos correspondientes.

Tabla 13

Tabla de parámetros obtenidos para el mecanizado en madera

| Cálculo | Símbolo | Resultado |
|-------------------------------|---------|-----------------------|
| Cálculo de velocidad de corte | v_c | 149.61 m/min |

| Cálculo | Símbolo | Resultado |
|---------------------------------------|---------|------------------|
| Cálculo de la velocidad de avance | vf | 900 mm/min |
| Cálculo avance por diente | Fz | 0.06mm |
| Cálculo de espesor medio de viruta | hm | 0.038 mm |
| Cálculo de fuerza de corte específica | kc | 2286.44 N/mm^2 |
| Cálculo Fuerza de Corte | fc | 86.88 N |
| Cálculo de la potencia neta de corte | Pc | 0.1088kW o 100W |
| Cálculo par de corte | Mc | 0.692 Nm |

Nota. Tabla de parámetros obtenidos de los cálculos anteriormente realizados.

Cálculo torque necesario para mover los ejes X, Y, Z

Tabla de parámetros tomados en cuenta para el cálculo de torque del motor de los ejes X, Y, Z

Se deben tomar en cuenta los pesos de las estructuras para el cálculo de torque de los motores, para el eje Z se cuenta con un peso de 14.7N, para el eje Y se cuenta con un peso de 79 N y para el eje X se realizará con el mismo peso del eje Y con el fin de adquirir los mismos motores por igual.

Tabla 14

Tabla de datos obtenidos para el cálculo del Torque de los motores

| Parametrización | Valor / unidad |
|--|-------------------|
| Fuerza de corte | 86.88 N |
| Peso de la estructura eje Z | 14.7 N |
| Peso de la estructura eje X | 79N |
| Peso de la estructura eje Y | 79N |
| pb Longitud de paso del husillo | 8mm |
| dp Diámetro de paso | 7 mm |
| μ_0 C. Fricción Acero - Bronce | 0.15 |
| μ Coeficiente de fricción superficie deslizante | 0.5 |
| I = Relación de transmisión | 1 |
| θ Angulo | 90 eje Z 0 eje XY |
| F_0 Precarga, solo para husillo | 0 |

Nota. Parámetros obtenidos para el cálculo de torque. Tomado de (Delgado, 2019)

Cálculo coeficiente de fricción Acero-Bronce

Antes de calcular el torque se debe calcular la eficiencia teórica del tornillo sin fin, se usará el coeficiente de fricción del acero- bronce, la ecuación es la siguiente según (Delgado, 2019).

Ecuación 23

Cálculo coeficiente de fricción Acero-Bronce

$$\tan(\lambda) = \frac{PB}{\pi * dp}$$

Reemplazando quedaría:

$$\lambda = \text{atan} \frac{8}{7 * \pi}$$

$$\lambda = 19.991$$

Para la eficiencia:

$$\eta = \frac{1 - \mu_0 * \tan(\lambda)}{1 + \mu_0 * \tan(\lambda)}$$

$$\eta = \frac{1 - 0.15 * \tan(19.991)}{1 + 0.15 * \cot(19.991)}$$

$$\eta = 0.669$$

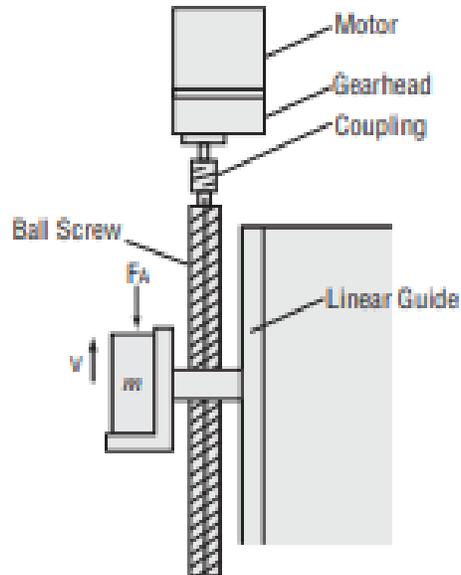
Nota. Cálculo del coeficiente de fricción Acero-Bronce. Tomado de (Delgado, 2019).

Cálculo torque necesario para el eje Z

Se debe realizar el cálculo previo a determinar el torque necesario entre la fuerza de corte con un total de 86.88 N y el peso total de la estructura del eje Z de 14.7 N. Este cálculo se realiza tomando en cuenta la inclinación a la que se encuentra el eje Z. ya que está ubicada de manera vertical posee un Angulo de 90 Grados (OrientalMotor, 2018).

Figura 45

Posición del Eje Z como referencia



Nota. Imagen de la posición del Eje Z para el cálculo del torque, posición 90 grados. Tomado de (OrientalMotor, 2018).

Para el cálculo del torque necesario se hará uso de la siguiente formula:

Ecuación 24

Cálculo para determinar el torque necesario para el eje Z

$$F = FA + m * g(\sin(\theta) + \mu * \cos(\theta))$$

$$F = 86.88\text{N} + 14.7\text{N}(\sin(90) + 0.5 * \cos(90))$$

$$F = 101.58\text{N}$$

Obtenida la fuerza se procede a calcular el torque necesario.

$$TZ = \left(\frac{F * PB}{2 * \pi * \eta} + \frac{\mu_0 * F_0 * PB}{2 * \pi} \right) \frac{1}{i}$$

$$TZ = \left(\frac{101.58 * 8\text{mm}}{2 * \pi * 0.6} + \frac{0.15 * 0 * 8\text{mm}}{2 * \pi} \right) \frac{1}{1}$$

$$TZ = 217.14 \text{ N.mm o } 0.21714 \text{ Nm}$$

Donde:

- $TZ (N. mm)$: Par motor resultante
- $F(N)$: Fuerza de avance y peso del soporte del motor
- $FA (N)$: Fuerza externa
- $PB (mm)$: Longitud de avance del husillo
- η : Eficiencia del husillo
- μ_0 : Coeficiente de fricción acero – bronce
- $F_0(N)$: Precarga (solo husillo de bolas)
- i : Relación de transmisión
- $m (Kg)$: Masa total de mesa y carga.
- $g (m/s^2)$: Aceleración de la gravedad (9.81m/s²)
- $\theta (^\circ)$: *Angulo de inclinacion del husillo.*

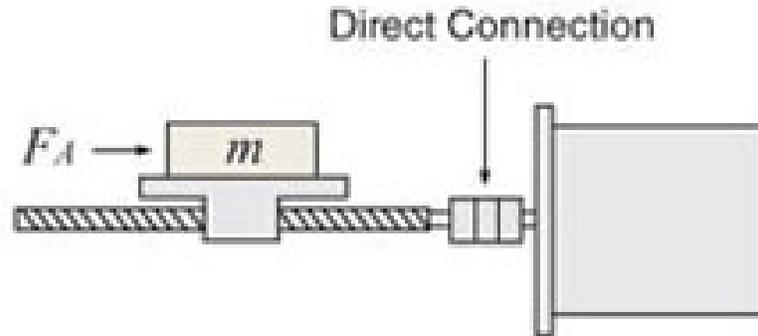
Nota. Cálculo torque necesario. Tomado de (OrientalMotor, 2018).

Cálculo torque necesario para el eje X, Y

Se debe realizar el cálculo previo a determinar el torque necesario entre la fuerza de corte con un total de 86.88 N y el peso total de la estructura del eje X, Y de 79 N. Este cálculo se realiza tomando en cuenta la inclinación a la que se encuentra el eje X, Y. ya que está ubicada de manera horizontal posee un Angulo de 0 Grados (OrientalMotor, 2018).

Figura 46

Posición del Eje X, Y como referencia



Nota. Imagen de la posición del Eje X, Y para el cálculo del torque, posición 0 grados. Tomado de (OrientalMotor, 2018).

Para el cálculo del torque necesario se hará uso de la siguiente formula:

Ecuación 25

Cálculo para determinar el torque necesario para el eje X, Y.

$$F = F_A + m * g(\sin(\theta) + \mu * \cos(\theta))$$

$$F = 86.88\text{N} + 79\text{N} (\sin(0) + 0.5 * \cos(0))$$

$$F = 126.38\text{N}$$

Obtenida la fuerza se procede a calcular el torque necesario.

$$TZ = \left(\frac{F * PB}{2 * \pi * \eta} + \frac{\mu_0 * F_0 * PB}{2 * \pi} \right) \frac{1}{i}$$

$$TZ = \left(\frac{126.38 * 8\text{mm}}{2 * \pi * 0.6} + \frac{0.15 * 0 * 8\text{mm}}{2 * \pi} \right) \frac{1}{1}$$

$$TZ = 268.18 \text{ N.mm o } 0.26818 \text{ Nm}$$

Donde:

- TZ (N. mm) : Par motor resultante
- $F(N)$: Fuerza de avance y peso del soporte del motor

- $FA (N)$: Fuerza externa
- $PB (mm)$: Longitud de avance del husillo
- η : Eficiencia del husillo
- μ_0 : Coeficiente de fricción acero – bronce
- $F_0(N)$: Precarga (solo husillo de bolas)
- i : Relación de transmisión
- $m (Kg)$: Masa total de mesa y carga.
- $g (m/s^2)$: Aceleración de la gravedad (9.81m/s²)
- $\theta (^\circ)$: *Angulo de inclinacion del husillo.*

Nota. Cálculo para el torque necesario. Tomado de (OrientalMotor, 2018).

Validación eléctrica y Selección de componentes

Selección de componentes eléctrico y electrónicos para el control de la máquina.

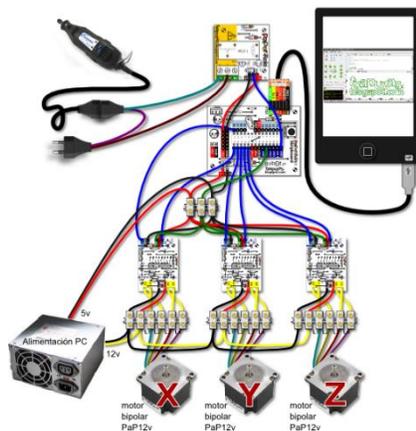
Para la selección eléctrica y electrónica se debe tomar en cuenta varios factores, entre ellos el tipo de motor a utilizarse ya que de ello depende la selección de otros componentes como los controladores de los mismos, la fuente de voltaje a utilizarse, y el calibre de los conductores (Garcia V. , 2020).

Hay otros componentes como el controlador CNC que deben seleccionarse según el tipo de máquina y la aplicación de la misma.

En esta sección se dará a conocer los componentes seleccionados para la validación eléctrica.

Figura 47

Elementos y conexiones para la interfaz CNC



Nota. Fresadora CNC 2,5D. Tomado de (Txapuzas, 2017)

En la figura 47 muestra los componentes principales que requiere una máquina CNC, estos están conformados por:

- Unidad de control de la máquina CNC
- Drivers (controladores de los motores)
- Motores
- Fuente de Alimentación
- Herramienta de corte y tallado
- Sensores (Finales de carrera, Paro de emergencia)

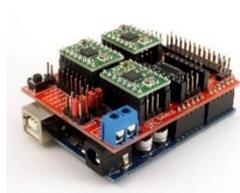
Selección de la Unidad de control de la máquina CNC

En el mercado nacional existen muchas tarjetas de control CNC, para la selección de la misma se tomará en cuenta aspectos como confiabilidad, software de control, precio, seguridad y aplicación.

Para ello se elaboró una tabla comparativa de las distintas unidades de control disponibles en el mercado.

Tabla 15*Comparativa entre los diferentes controladores CNC*

| Tabla comparativa de las Unidades de control para máquinas CNC | | | |
|--|----------------------|------------------------|---------------------------------|
| Características | Arduino + CNC SHIELD | Controlador USB Mach 3 | Placa Base Grbl Laser MakerBase |
| Precio | 46 \$ | 49\$ | 40\$ |
| Accesibilidad en el mercado | Si | Si | Si |
| Uso industrial | No | Si | No |
| Resistente a condiciones externas | No | Si | No |
| Entradas externas | Si | Si | Si |
| Control de 3 ejes | Si | Si | Si |
| Control de husillo | Si | Si | Si |
| Compatible con softwares de control | Si | No | Si |
| Uso Libre | Si | No | Si |
| Compatible con Windows 8/10/11 | Si | Si | Si |



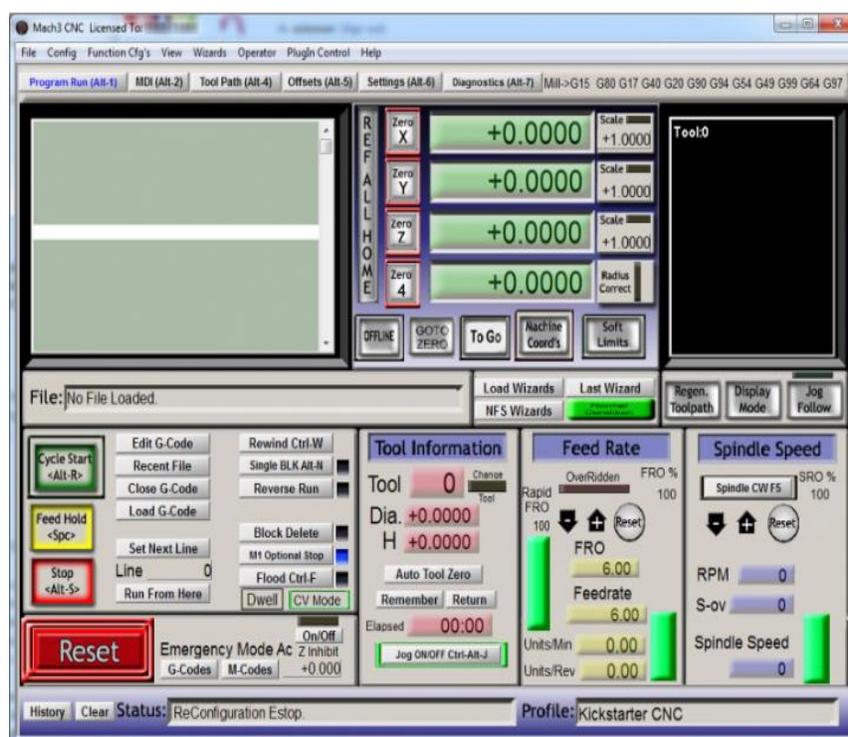
Nota. Tabla comparativa entre las tarjetas controladoras de CNC.

Según la tabla 15 el controlador que cumple con la mayoría de condiciones es Mach 3 CNC, y la ventaja más notoria con respecto al resto es su uso industrial y su resistencia a factores externos, por lo que se escogió para la implementación de la máquina.

CNC Mach 3 Software. El software de Mach 3 es un controlador de máquina CNC que trabaja en la mayoría de versiones de Windows, permite un control avanzado de los motores a pasos, su lenguaje de programación es en códigos G y M y es personalizable para muchos tipos de Hardware (Vistronica, 2010).

Figura 48

Interfaz CNC Mach 3 para computadora



Nota. Interfaz de control CNC Mach 3 para computadora. Tomado de (Newflanged Solutions, 2013).

Características de la tarjeta CNC Mach 3. Según las palabras de Vistronica: Las siguientes características son las más destacadas de la Tarjeta Mach 3 USB (Vistronica, 2010).

- Dimensiones 69x52mm
- Voltaje de trabajo 5 y 24VDC
- Control de hasta 4 Ejes
- Pulso de salida 100 KHz
- Voltaje de trabajo
- 4 señales de entrada
- 4 señales de salida
- Compatible con Windows 8/10/11
- Lenguaje de Programación (Códigos G y M)
- Control de Home Limits
- Control PWM

Selección de los motores para los movimientos de los ejes

Existen algunas opciones para el sistema de movimiento de las máquinas CNC, sin embargo, se deben escoger la opción más conveniente en relación calidad – precio, también el uso requerido y los parámetros que necesita la máquina para su óptimo funcionamiento.

Los servomotores poseen características mucho mejores que los motores a pasos, así como su alta velocidad y precisión, utiliza un sistema de retroalimentación para controlar sus movimientos. (Vtops, 2021)

Por otro lado, los motores a pasos poseen características similares a excepción de un dispositivo de retroalimentación. Para el presente proyecto no es necesario la utilización de servomotores ya que las dimensiones de la máquina no son muy extensas y no requiere de una capacidad de carga superior aparte de que su costo es muy elevado en comparación a los motores a pasos. (Vtops, 2021)

Los motores a pasos ofrecen:

- Excelente precisión.
- Excelente respuesta frente a un control de movimiento de una velocidad considerada.

Y sus limitaciones comparadas con los servomotores influyen en su velocidad máxima e inferior capacidad de carga.

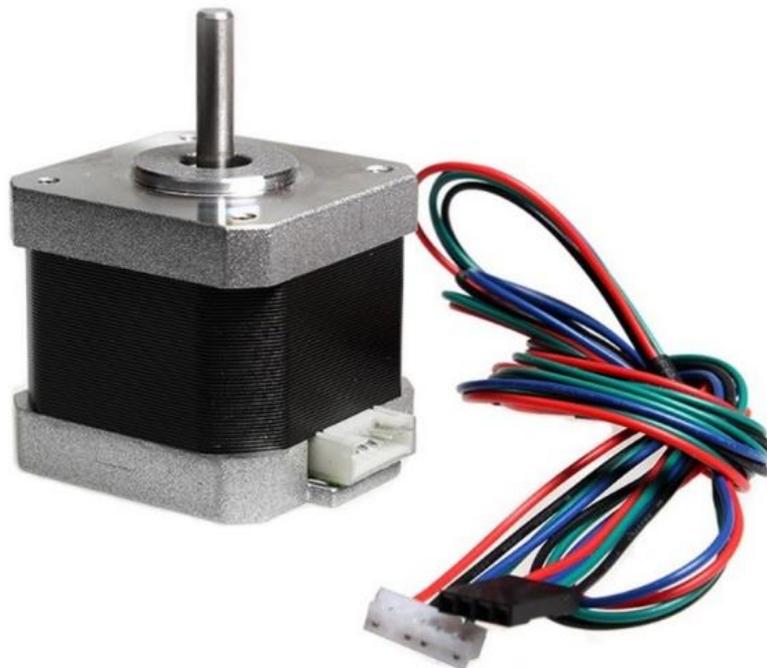
Selección del motor a pasos para el eje Z

Para la selección del motor a pasos se tomará en cuenta la ecuación 24 que el valor de 0.21714 Nm es el torque necesario para el funcionamiento del eje Z.

En el mercado nacional existe los motores paso a paso nema 17, estos son bipolares de 200 pasos por revolución. Entre sus características destaca su torque de 0.4Nm que es un valor superior al cálculo obtenido por lo que se puede tomar en cuenta para la construcción de la máquina. (Novatronic, 2021)

Figura 49

Motor a pasos nema 17



Nota. Nema 17 motor paso a paso. Tomado de (Novatronic, 2021)

Las características del motor a pasos son las siguientes según (Novatronic, 2021)

- Modelo: 3A012
- Dimensiones: 42mm x 42 mm x 40 mm
- Angulo de paso: 1.8 Grados
- Corriente nominal: 1.2 A
- Resistencia: 1.7 Ohm
- Torque: 0.4 Nm

Ya que se ha colocado un motor con un torque superior debido a la disponibilidad en el mercado nacional se procederá a realizar el factor de seguridad.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 26

Factor de seguridad para el motor a pasos del eje Z

$$F_s = \frac{\text{Estres Final}}{\text{Estres de diseño}}$$

$$F_s = \frac{0.4 \text{ Nm}}{0.21714 \text{ Nm}}$$

$$F_s = 1.84$$

El factor de seguridad es de 1.84 para el eje Z ya que se utilizó un motor con el torque superior al requerido.

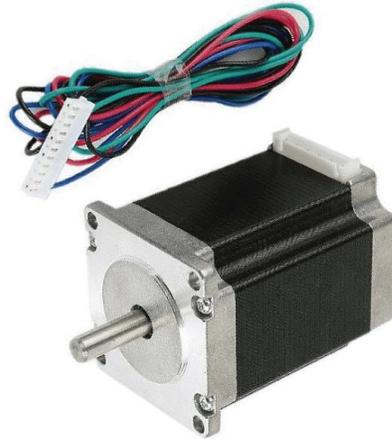
Selección del motor a pasos para el eje X, Y

Para la selección del motor a pasos se tomará en cuenta la ecuación 25 que el valor de 0.26818 Nm es el torque necesario para el funcionamiento del eje X, Y.

En el mercado nacional se encuentra motores a pasos nema 23 disponibles con un torque considerable para mover sin problemas la estructura y soportar la fuerza de corte. Estos motores poseen un torque de 1.8Nm y el valor es superior al calculado.

Figura 50

Motor a pasos nema 23



Nota. Nema 23 57HD6013-03 paso a paso. Tomado de (Novatronic, 2022)

Las características son las siguientes:

- Modelo: 57HD6013-03
- Dimensiones: 76mm
- Angulo de paso: 1.8 Grados
- Corriente nominal: 3 A
- Resistencia de fase: 0.9 Ohm
- Torque: 1.8 Nm

Ya que se ha colocado un motor con un torque superior debido a la disponibilidad en el mercado nacional se procederá a realizar el factor de seguridad.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente formula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 27

Factor de seguridad para el motor a pasos del eje X, Y

$$F_s = \frac{\text{Estres Final}}{\text{Estres de diseño}}$$

$$F_s = \frac{1.8 \text{ Nm}}{0.26818 \text{ Nm}}$$

$$F_s = 6.71$$

El factor de seguridad es de 6.71 para el eje X, Y ya que se utilizó un motor con el torque superior al requerido.

Selección de los drivers para los motores a pasos del eje X, Y, Z

Para seleccionar los Drivers que controlarán los motores a pasos se debe tomar en cuenta la corriente máxima de consumo, el voltaje de operación y la compatibilidad con la tarjeta CNC controladora, aparte de analizar una su disponibilidad en el mercado.

En el mercado nacional se encontró los drivers HY- DIV268N-5A que se basan en los chips TB6600 controla los motores a pasos de tipo bipolar y tiene varios micro pasos de trabajo, desde pasos completos hasta pasos de 1/16 (Inshop, 2015).

Su voltaje de trabajo es desde los 12 VDC hasta los 48 VDC, su corriente máxima de consumo es de 5 A y es regulable para la corriente deseada, por lo que es ideal para la utilización del presente proyecto, su método de control es por medio de pulsos que mueven el motor de manera precisa y la dirección para el sentido de giro (Inshop, 2015).

Figura 51

Driver HY-DIV268N-5A control a pasos



Nota. Driver HY-DIV268N-5A para el control de motores a pasos. Tomado de (Inshop, 2015)

Selección de la herramienta para el corte y tallado en madera

Para la selección de la herramienta se debe tomar en cuenta la ecuación 21 o la potencia neta de corte que es de 0.1088kW o 100W, Para ello se seleccionará el Dremel 4000, es una herramienta de corte, tallado y perforado que está disponible en el mercado nacional, posee variedades de herramientas, en la figura 44 se muestra las fresas que se utilizarán para el fresado en madera.

El Dremel 4000 tiene una potencia de 175 W y su voltaje de entrada es de 110VAC, su velocidad es regulable manualmente y varia desde los 5000 RPM hasta los 35000 RPM. Según (Dremel, 2021) las características del Dremel 4000 son las siguientes:

Potencia de salida: 175 W

Voltaje de trabajo: 110/240 VAC

Peso: 660gr

Velocidad: 5000 – 35000 PRM

Figura 52

Dremel 4000 Herramientas con cable



Nota. Dremel 4000. Tomado de (Dremel, 2021)

Debido a que se colocó una herramienta de corte con la potencia neta de corte superior al calculado se procederá a realizar el factor de seguridad.

Para comprobar el factor de seguridad se debe aplicar la siguiente fórmula según (SafetyCulture, 2023).

Ecuación 28

Factor de seguridad para la herramienta de corte

$$F_s = \frac{\text{Estres Final}}{\text{Estres de diseño}}$$

$$F_s = \frac{175W}{108W}$$

$$F_s = 1.62$$

El factor de seguridad es de 1.62 ya que se utilizó una herramienta de corte con una potencia superior por disponibilidad en el mercado.

Selección de la fuente de Alimentación

Para la selección de la fuente de alimentación se debe tomar en cuenta el voltaje de trabajo de los motores y del sistema de control CNC, en esta máquina no es necesario una fuente de voltaje para la herramienta de corte Dremel 4000 ya que esta trabaja de manera independiente con voltaje AC.

Los motores a pasos pueden trabajar en voltajes de 12 a 48 VDC y los drivers también tienen la capacidad de trabajar en esos voltajes, se puede utilizar una fuente de voltaje entre esos rangos (Inshop, 2015).

El factor principal para la selección de una fuente de alimentación es el amperaje que va a consumir la máquina, se tiene 3 motores a pasos con un amperaje de consumo máximo de 3 A y un motor a pasos de 1.2 A, el amperaje de consumo de los sensores es de máximo 1A, sumado todos los amperajes de consumo el resultado es de 11.2 A.

Por lo tanto, se debe seleccionar una fuente de alimentación disponible en el mercado con un rango desde los 12VDC hasta los 48VDC con un amperaje mínimo de 11.2 A.

Figura 53

Fuentes de alimentación



Nota. Fuentes de alimentación para máquinas. Tomado de (Ingenieria Systems, 2013)

Selección de los sensores para la máquina CNC

Las paradas de emergencia son obligatorias e indispensables para todas las máquinas incluidas las máquinas CNC, con el fin de prevenir accidentes esta debe ser ubicada en un lugar donde sea accesible para el ser humano ya que el único objetivo es prevenir accidentes.

(Rafi , 2022)

Figura 54

Parada de emergencia para las máquinas



Nota. Parada de emergencia. Tomado de (Rafi , 2022)

Los sensores para la máquina CNC deben ser Finales de carrera para la protección de los ejes contra los límites de la misma. Existen muchos tipos de finales de carrera sin embargo se escogió una con palancas de accionamiento para que los ejes puedan llegar a los límites y proteger los dispositivos.

Figura 55

Finales de carrera para la máquina CNC



Nota. Interruptor fin de carrera disponibles.

Capítulo IV

Implementación de la máquina

Implementación mecánica de la máquina CNC

Para la implementación de la máquina se debe integrar componentes validados en los análisis estructurales, pero también se requiere aplicar componentes extras para fijar y asegurar la máquina.

En esta sección del escrito se mostrará como se implementó la máquina integrando todos los sistemas de la misma.

Elementos adicionales de fijación y protección para la máquina

Para los elementos de fijación y protección se consideraron pernos hexagonales de tipo Allen M5. Las características del perno son las siguientes:

- Cabeza hexagonal: 3mm
- Rosca: M5
- Longitud (L): 30mm, 18mm, 8mm, 45mm
- Paso: 0.8mm
- Material: Acero
- Color: Negro

Figura 56

Tornillo Allen M5 Acero Negro



Nota. Tornillos M5 utilizados para la fijación de los elementos de la máquina.

Se utilizará tuercas de seguridad para los Tornillos M5, la ventaja de utilizar estas tuercas en comparación a tuercas normales es que estas poseen un buje de nylon que impide que el tornillo gire y se desajuste, esto es un método de prevención contra la vibración ejercida por los motores a pasos y la herramienta de corte.

Figura 57

Tuercas de seguridad M5



Nota. Tuerca M5 para seguridad en contra de la vibración.

Se utilizará tuercas M5 de tipo martillo para perfil V-slot, estos permiten fijar elementos en la ranura de los perfiles de aluminio tipo V 20x60, la ventaja es que son móviles a lo largo de las ranuras y son muy resistentes gracias a que están hechos de Acero.

Figura 58

Tuerca de tipo martillo para perfil de aluminio tipo V



Nota. Tuerca de tipo martillo móvil para la fijación de elementos.

Se utilizará arandelas para los tornillos M5 como se muestra en la figura 59.

Figura 59

Arandelas de seguridad



Nota. Arandelas de seguridad para tornillos M5.

Para brindar una mejor seguridad se utilizará el Loctite 222ms, este es un líquido que se endurece dentro de la rosca del perno e impide que el perno se afloje cuando haya una vibración extrema.

Figura 60

Loctite 222MS



Nota. Loctite 222MS para una mejor protección contra la vibración.

Implementación del chasis de la máquina CNC

Para la implementación de la máquina se debe tomar en cuenta la estructura en la cual los ejes estarán suspendidos.

Se consideró los siguientes materiales con sus precios para la elaboración del chasis.

Tabla 16

Tabla de materiales y presupuestos para el chasis

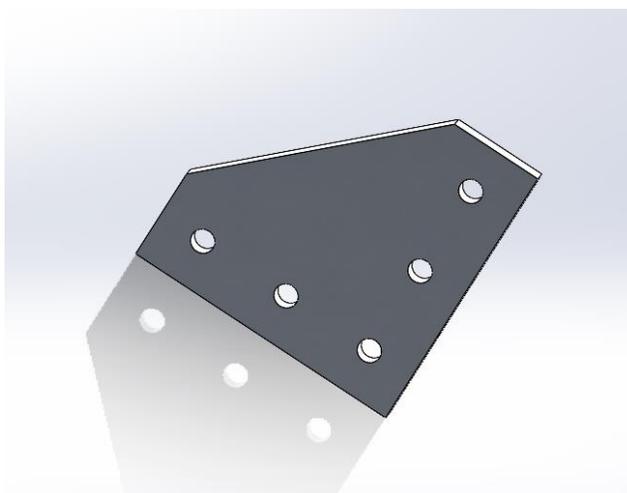
| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|---|----------------|-------------|
| 28 | Tornillo M5x8mm | 0.09\$ | 2.52\$ |
| 28 | Tuerca Martillo | 0.13\$ | 3.77\$ |
| 4 | Placa de unión L 5 agujeros Serie 20 | 1.88\$ | 7.52\$ |
| 8 | Soporte de esquina | 0.89\$ | 7.12\$ |
| 2 | Perfil de Aluminio 20x60x1200 | 17.80 | 35.6\$ |
| 4 | Perfil de Aluminio 20x40x1000 | 14.29\$ | 57.16\$ |
| | | Valor total | 113.69\$ |

Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

Antes de la implementación se realizó la creación de las piezas que se usaran para el chasis en el Software SolidWorks 2022.

Figura 61

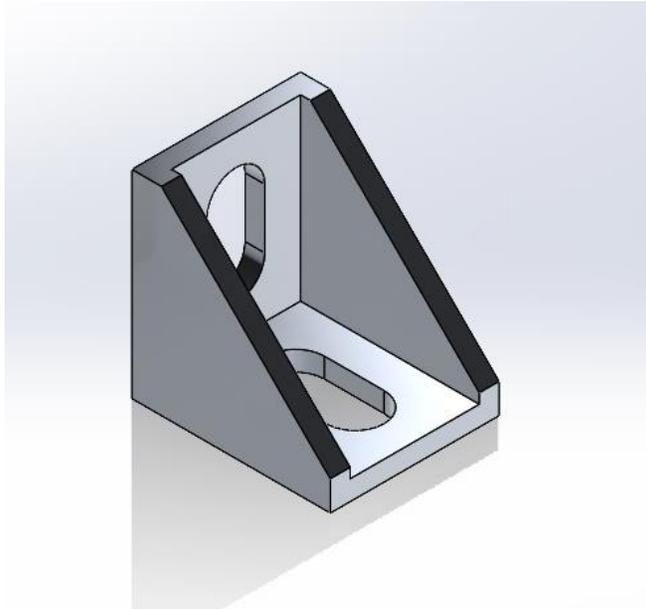
Placa de Unión L 5 agujeros serie 20



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A3

Figura 62

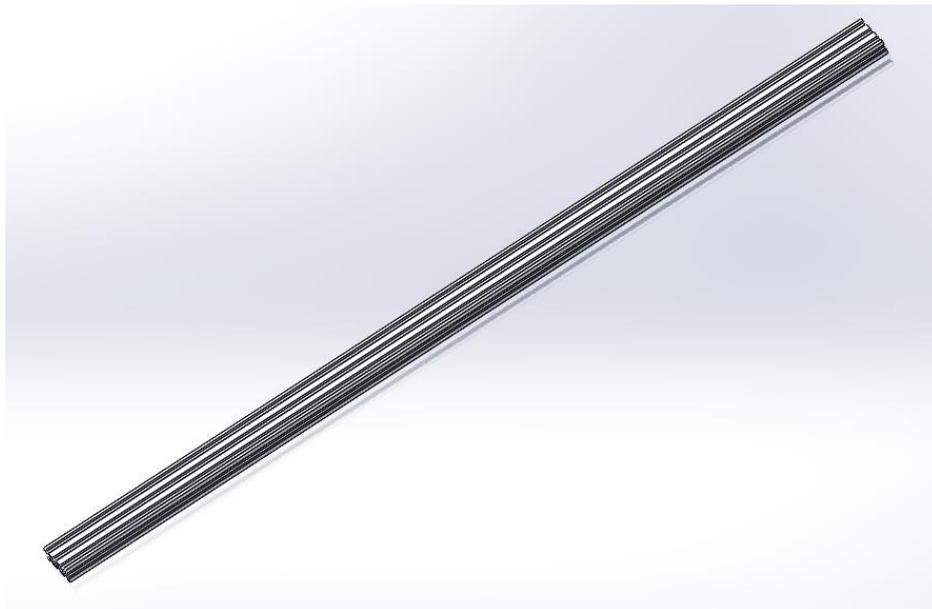
Soporte de Esquina Serie 20



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A7

Figura 63

Perfil de Aluminio Tipo V 20 x 60 x 1200



Nota. Consulte la Figura 18 para determinar su dimensionamiento.

Figura 64

Perfil de Aluminio Tipo V 20 x 40 x 1000



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A16

Se realizó el ensamble de las piezas en el software SolidWorks 2022 previo a la implementación de la máquina.

Figura 65

Ensamble del chasis



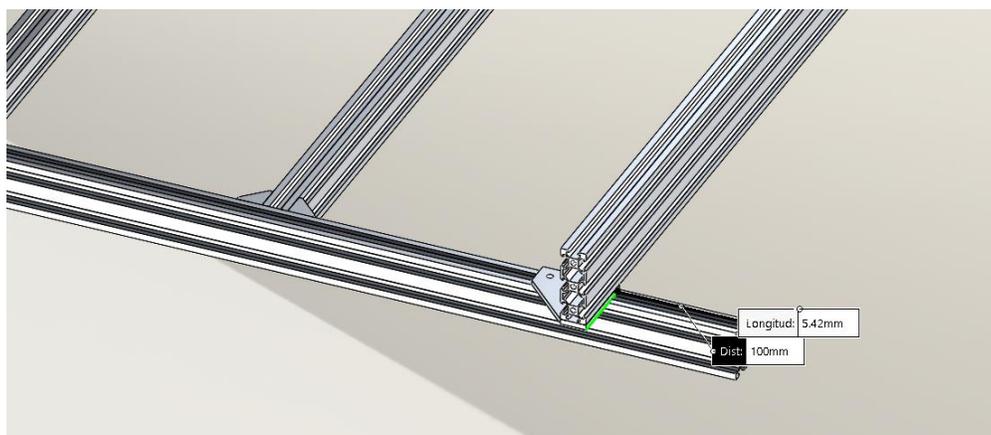
Nota. Ensamble del chasis en el software SolidWorks 2022.

La máquina debe tener unas dimensiones de corte de 800 mm x 600 mm, los elementos se adaptaron para conseguir el área de corte.

En la figura se muestra cómo se colocó la placa de unión L de 5 agujeros a 100 mm del borde del perfil tipo V 20x40, se fijó el perfil de Aluminio tipo V 20x60 Por encima de la placa de unión L.

Figura 66

Fijación del perfil de Aluminio Tipo V 20x60



Nota. Distancia del perfil de aluminio Tipo V 20x60 al borde de la máquina.

Se realizó el mismo proceso de la figura 66 del lado contrario. Luego se fijó los elementos con Tornillos Allen M5x8mm y tuercas martillo como se muestra en la figura 67.

Figura 67

Perfil de Aluminio Fijado por tornillos Allen M5 y Tuercas Martillo



Nota. Placa de unión L Fijado Sobre el perfil inferior, perfil de aluminio tipo V 20x60 Fijado sobre la placa de unión L.

Se realizó el mismo procedimiento para la parte posterior de la máquina CNC. Para darle más estabilidad al chasis se colocó 2 perfiles de Aluminio Tipo V 20x40 x 1000 de manera vertical, estos se fijaron con 4 soportes de esquina por cada perfil en sus extremos a una distancia de 360mm de la parte lateral como muestra en la figura 68, se utilizaron 4 Tornillos Allen M5x8mm y 4 tuercas martillo.

Figura 68

Fijación de los perfiles de Aluminio Tipo V 20x40 al chasis

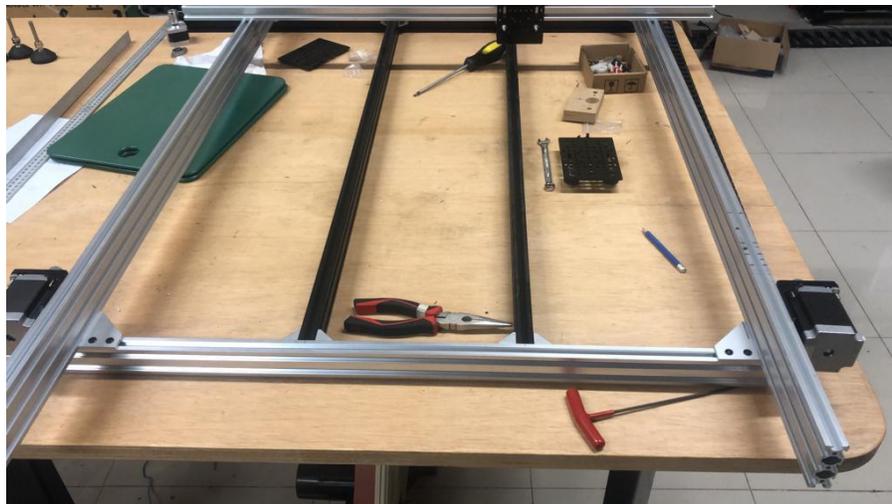


Nota. Distancia para fijar los perfiles de Aluminio tipo V 20 x 60 al chasis.

En la figura 69 se muestra la implementación completa del chasis, todas las tuercas martillo se ajustaron y se colocó Loctite 222 MS sobre todos.

Figura 69

Implementación completa del chasis para la máquina



Nota. Implementación completa del chasis de la máquina CNC.

Implementación del Eje Y

Para la implementación del eje Y se tomará en cuenta el listado de materiales a utilizarse con el presupuesto.

Tabla 17

Tabla de materiales y presupuestos para el eje Y

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|---|----------------|-------------|
| 8 | Tornillo M5x8mm | 0.09\$ | 0.72\$ |
| 12 | Tornillo M5x25 | 0.11\$ | 1.32\$ |
| 12 | Tornillo M5x45 | 0.13\$ | 1.56\$ |
| 24 | Tuerca seguridad | 0.09\$ | 2.16\$ |
| 8 | Tuerca Martillo | 0.13\$ | 1.04\$ |
| 8 | Remache acero inoxidable | 0.10\$ | 0.80\$ |
| 12 | Ruedas policarbonato | 3\$ | 36\$ |
| 6 | Espaciadores de 6 mm | 0.26 | 1.56\$ |
| 6 | Espaciadores Excéntricos | 1.11 | 6.66\$ |
| 2 | Placas de Nylon PA tipo 6, portador del eje X | 26\$ | 52\$ |
| 2 | Placa porta tornillo sin fin | 3\$ | 6\$ |
| 2 | Chumacera | 2.68 | 5.36\$ |
| 2 | Tornillo sin fin 8mm 1000mm | 38.50\$ | 77\$ |
| 2 | Placas porta tuerca tornillo sin fin | 5\$ | 10\$ |
| 2 | Tuerca tornillo sin fin 8mm | 3\$ | 6\$ |
| 2 | Acople flexible | 3.99 | 7.98\$ |

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|-------------|---|----------------|-------------|
| | 8mm a 8mm | | |
| 2 | Base motor nema 23 | 8\$ | 16\$ |
| 2 | Motores paso a paso Nema 23 1, 8 Nm | 60\$ | 120\$ |
| Valor total | | | 352.16\$ |

Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

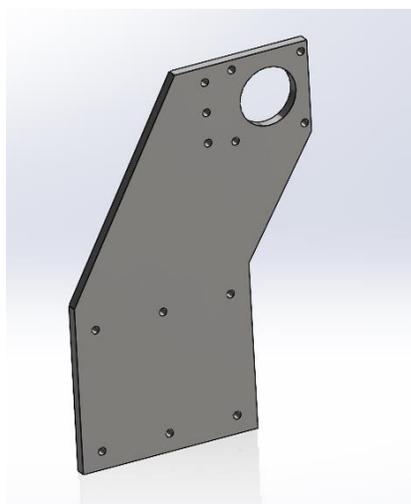
Antes de la implementación se realizó la creación de las piezas que se usaran para el chasis en el Software SolidWorks 2022.

Se implementó el eje Y como una torre Móvil y una cama Fija, de esta manera el material a cortar estará fijo y la torre se moverá por la misma.

Cabe recalcar que se debe tomar en cuenta las dimensiones de corte de 800 mm x 600mm, todos los elementos que se utilizaron para el eje Y están adaptados para esta área de corte.

Figura 70

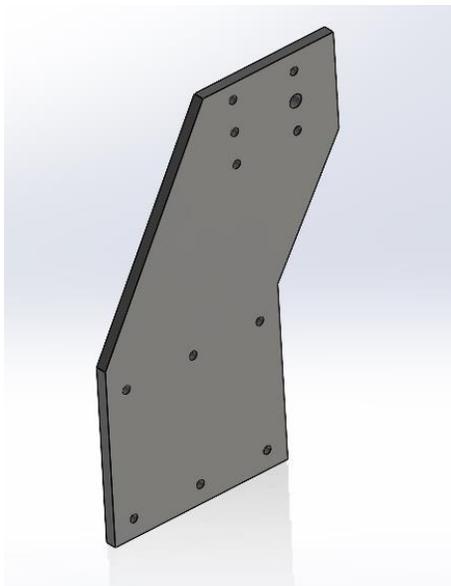
Placa soporte del Eje X lado Izquierdo



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A1

Figura 71

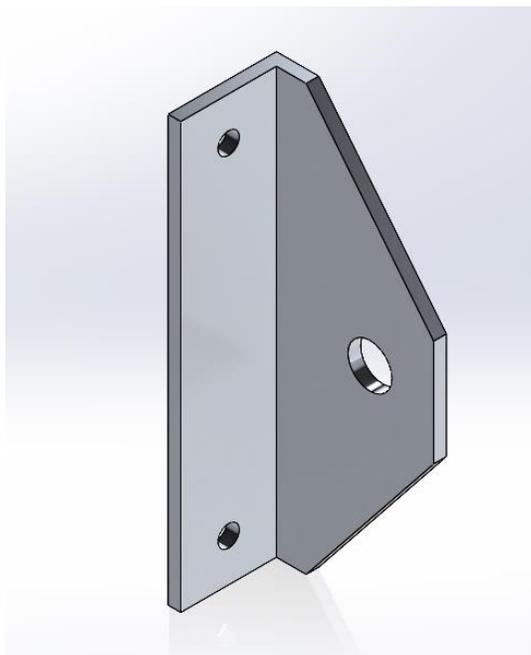
Placa soporte del Eje X lado Derecho



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A2

Figura 72

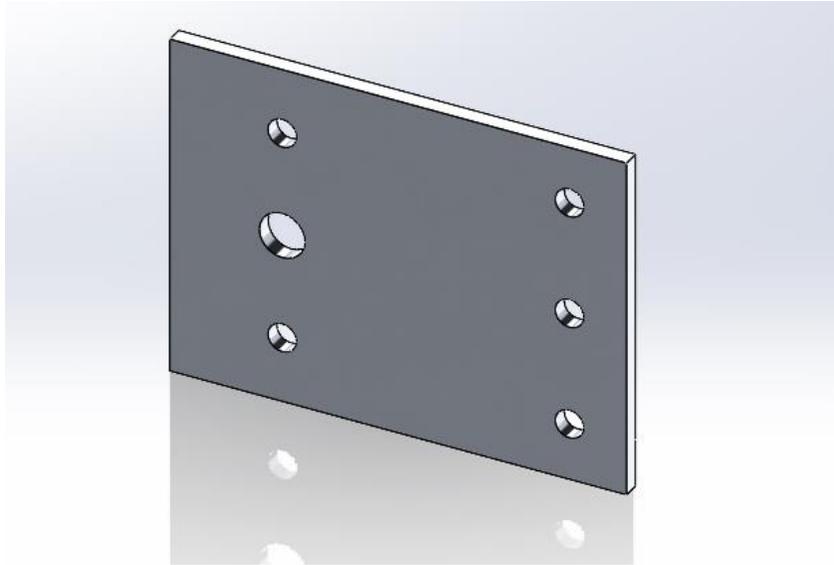
Base soporte Tuerca Tornillo sin fin - método de transmisión



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A4

Figura 73

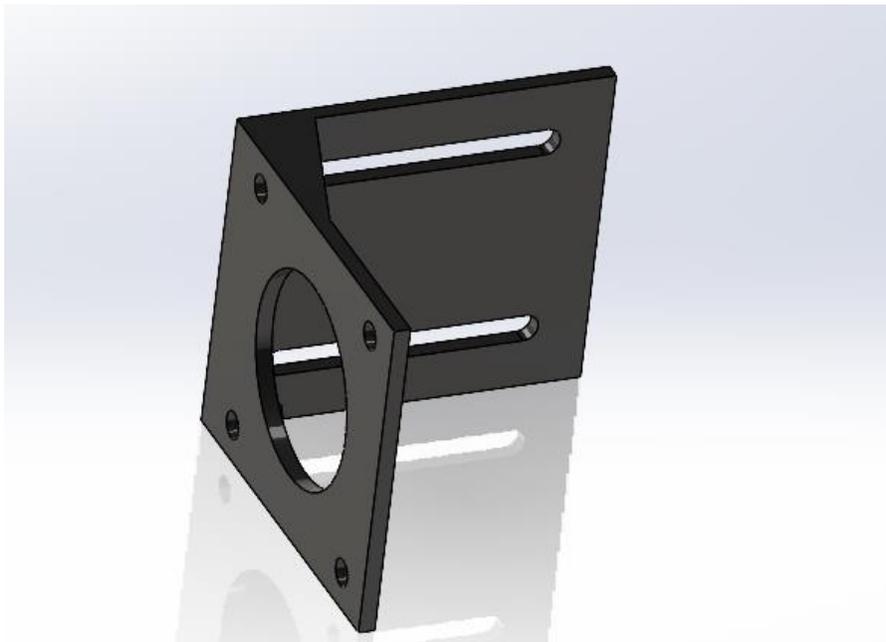
Placa base tornillo sin fin para los extremos



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A6

Figura 74

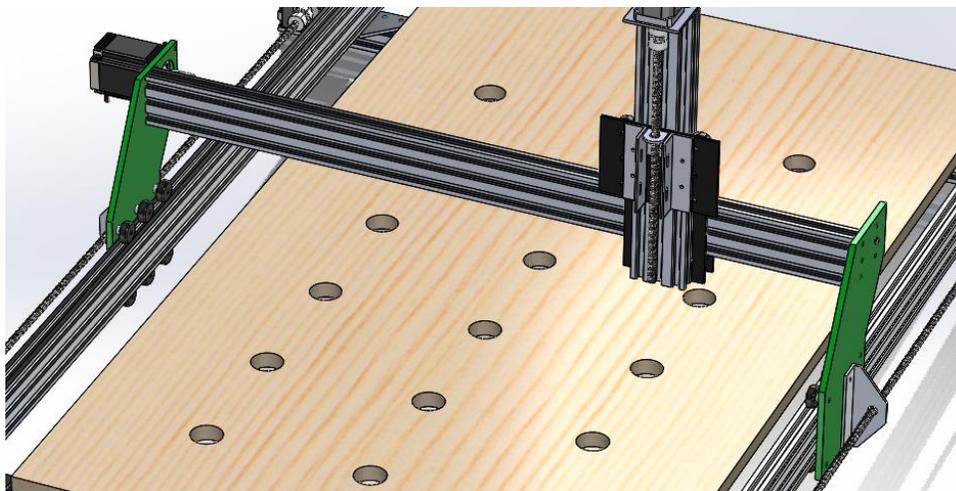
Base motor a pasos nema 23



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A8

Figura 75

Ensamble del eje Y



Nota. Ensamble del Eje Y realizado en el software SolidWorks 2022.

Para la realizar la implementación del eje Y. se debe montar las placas que soportan el eje X sobre el perfil de Aluminio 20x60 Tipo V, en la figura 76 se evidencia como debe ir.

Figura 76

Placas laterales montadas sobre el perfil de Aluminio 20x60



Nota. Placa lateral montado sobre el perfil de Aluminio.

Se utilizará Tornillos Allen M5x45mm, Ruedas de policarbonato, espaciadores 6mm, rodela plana y tuercas de seguridad, en el orden mencionado se debe colocar como se muestra en la figura 77.

Figura 77

Orden para colocar las ruedas sobre la placa y el perfil de Aluminio

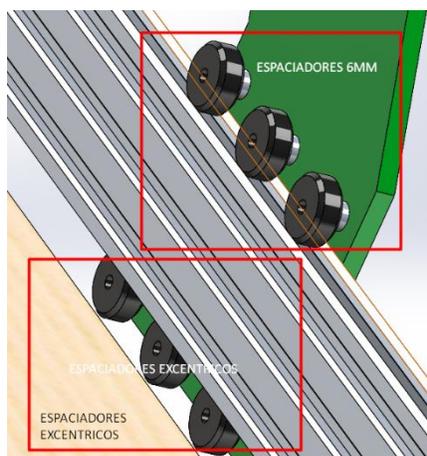


Nota. Orden para colocar las ruedas sobre las placas.

Como se muestra en la figura 78, en la parte superior se debe colocar 3 espaciadores de 6mm, en la parte inferior se debe colocar 3 espaciadores excéntricos, es importante que estén ubicados en orden ya que los espaciadores excéntricos cumplen la función de mover las ruedas para que este se acomode a los rieles del perfil de aluminio.

Figura 78

Ubicación de los espaciadores en las ruedas

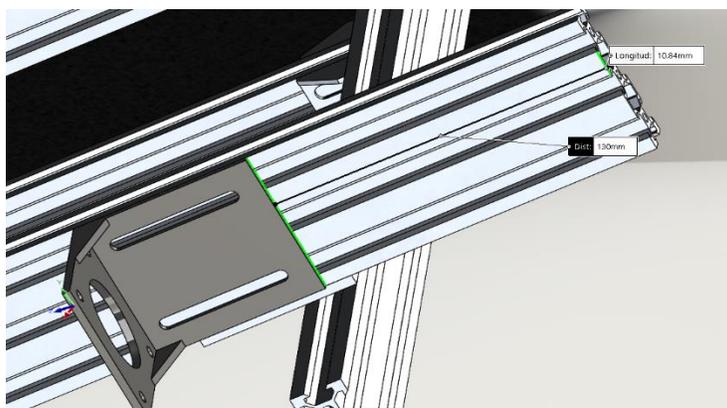


Nota. Ubicación de los espaciadores de 6mm y Excéntricos.

Consulte en el anexo A17 para verificar la diferencia entre los dos. Para el sistema de movimiento de los ejes se debe colocar las bases para motor a pasos nema 23 a una distancia de 130mm del extremo del perfil de Aluminio como se muestra en la figura 79.

Figura 79

Ubicación de las bases para motor a pasos nema23



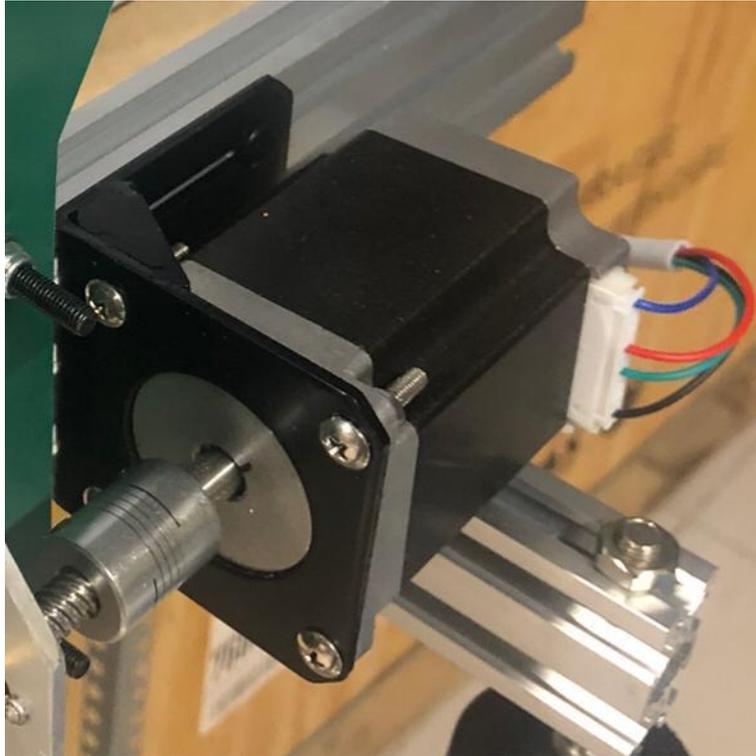
Nota. Base para motor a pasos nema 23 a 130mm del extremo del perfil 20x60.

Para asegurar la base para motor a pasos nema 23 se debe colocar 4 tornillos M5x8mm con 4 tuercas martillo para fijar en el perfil de aluminio, este proceso se repite para el perfil de Aluminio del otro lado de la máquina.

Los motores a pasos nema 23 se deben colocar en las bases y se deben asegurar con 4 tornillos M5x25mm y 4 tuercas de seguridad por cada motor como se muestra en la figura 80.

Figura 80

Fijación del motor a pasos nema 23 a la placa base



Nota. Motor a pasos nema 23 fijado a la placa base con ayuda de tornillos y tuercas de seguridad.

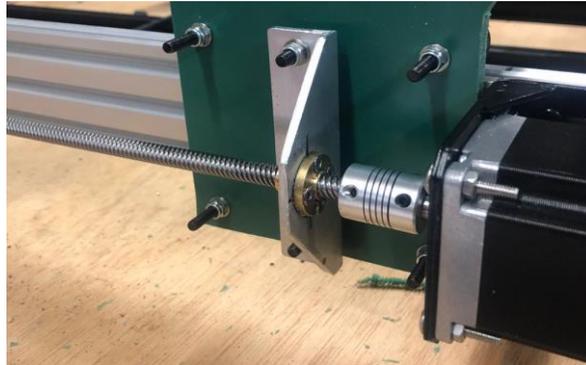
Como se muestra en la figura 81 La base soporte tuerca tornillo sin fin debe colocarse en el medio de la placa que soporta el eje X, debe colocarse dos espaciadores de 5.5mm y ser asegurado a los tornillos M5x45mm y tuercas de seguridad.

La tuerca tornillo sin fin debe ser asegurada a su base con 4 remaches de acero inoxidable.

El acople flexible se debe fijar en su extremo el eje del motor a pasos y en su otro extremo el tornillo sin fin.

Figura 81

Fijación de la base y la tuerca tornillo sin fin

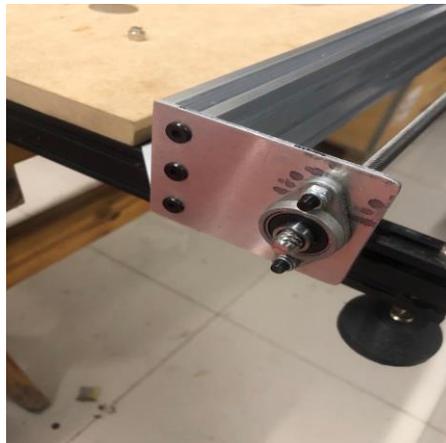


Nota. Fijación de la base y tuerca a la base de la placa que soporta al eje X.

Al otro extremo del perfil de Aluminio se debe colocar la base de sujeción del tornillo sin fin como se muestra en la figura 82. Para asegurar la placa se aplicó 3 tornillos M5x 25mm y para asegurar el tornillo sin fin se colocó una chumacera que fue fijada por 2 tornillos M5x25mm y 2 tuercas de seguridad, este proceso se aplicó a los dos perfiles que soportan el eje Y.

Figura 82

Placa para el soporte del tornillo sin fin



Nota. fijación de la base soporte tornillo sin fin al perfil de aluminio.

Implementación del Eje X

Para realizar la implementación del Eje X se elaboró una tabla con los elementos y presupuestos a utilizarse.

Tabla 18

Tabla de elementos y presupuestos para el eje X

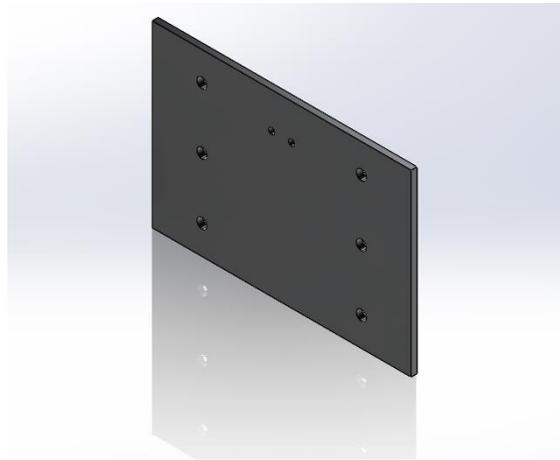
| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|-------------------------------------|----------------|-------------|
| 14 | Tornillo M5x25 | 0.11\$ | 1.54\$ |
| 4 | Tornillo M5x45 | 0.13\$ | 0.52\$ |
| 12 | Tuerca de seguridad | 0.09\$ | 1.08\$ |
| 4 | Remaches acero inoxidable | 0.10\$ | 0.40\$ |
| 4 | Espaciadores 6mm | 0.26\$ | 1.04\$ |
| 4 | Espaciadores Excéntricos | 1.11\$ | 4.44\$ |
| 4 | Ruedas Policarbonato | 3\$ | 12\$ |
| 1 | Tuerca Tornillo sin fin 8mm | 3\$ | 3\$ |
| 1 | Tornillo sin fin 8mm x 1000 | 38.50\$ | 38.50\$ |
| 2 | Placas universales | 14.55\$ | 29.1\$ |
| 1 | Placa porta tuerca tornillo sin fin | 5\$ | 5\$ |
| 1 | Perfil de Aluminio 20 x 60 x 1000m | 14.29\$ | 14.29\$ |
| 1 | Chumacera | 2.68\$ | 2.68\$ |
| 1 | Acople flexible 8mm – 8mm | 3.99\$ | 3.99\$ |
| 1 | Motor a pasos Nema 23 1.8Nm | 60\$ | 60\$ |
| | | Valor total | 177.58\$ |

Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

Antes de la implementación se realizó la creación de las piezas que se usaran para el chasis en el Software SolidWorks 2022.

Figura 83

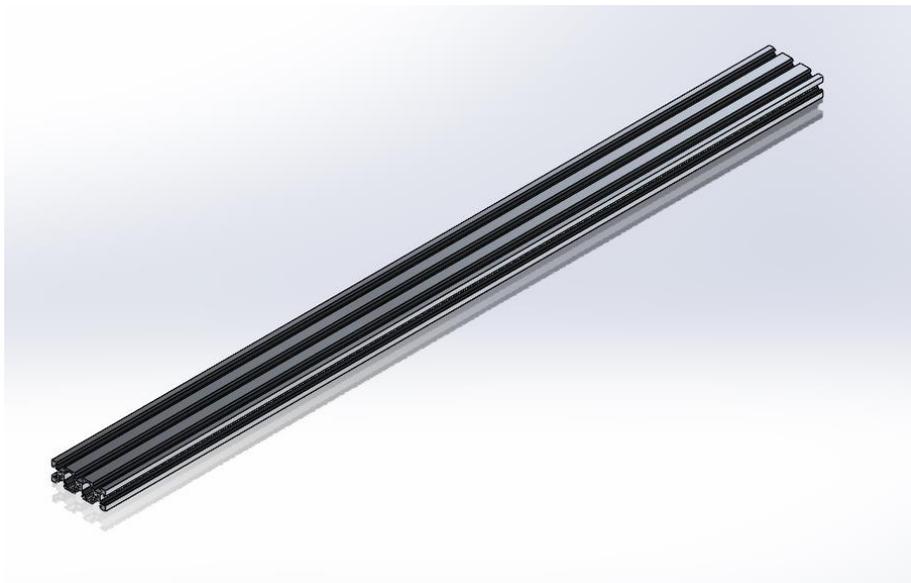
Placa Universal para perfil de Aluminio tipo V



Nota. Para obtener las dimensiones de la pieza consulte el anexo A9

Figura 84

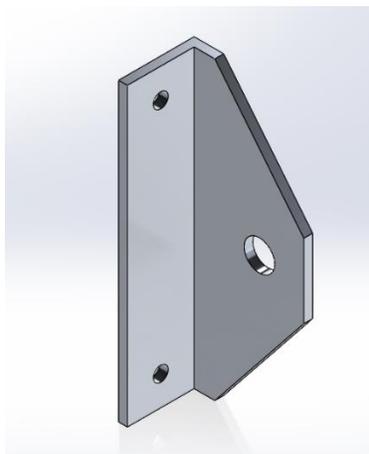
Perfil de Aluminio Tipo V 20 x 60 x 801



Nota. Consulte la Figura 18 para conocer su dimensionamiento.

Figura 85

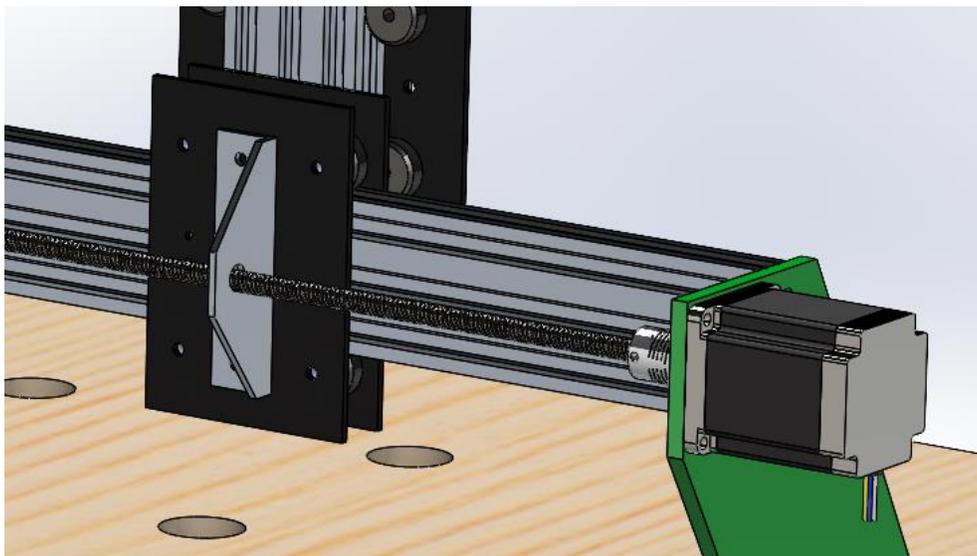
Base soporte Tuerca Tornillo - método de transmisión para el eje X



Nota. Para obtener las dimensiones de la pieza consulte el anexo A4

Figura 86

Ensamble del Eje X



Nota. Ensamble del Eje X en SolidWorks 2022.

Para poder sujetar el perfil de Aluminio tipo V 20x60x801 a las placas laterales se debe realizar el roscado en los agujeros laterales de la misma, para ello se utilizará un machuelo M5 con un paso de 0.8mm, se debe asegurar una profundidad mínima de 25mm para que pueda ingresar los tornillos M5.

En la Figura 87 se muestra el machuelo a utilizarse.

Figura 87

Machuelo M5x0.8

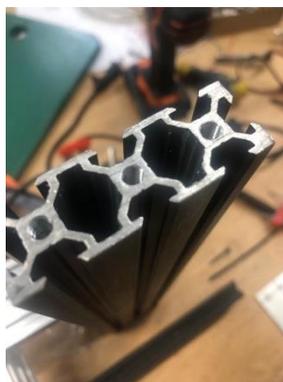


Nota. Machuelo M5x0.8 para el roscado de los perfiles de Aluminio tipo V.

En la figura 88 se muestra el resultado del procedimiento del roscado con el machuelo, se realizó en los 3 agujeros de la parte lateral del perfil de Aluminio.

Figura 88

Roscado en el perfil de aluminio tipo V

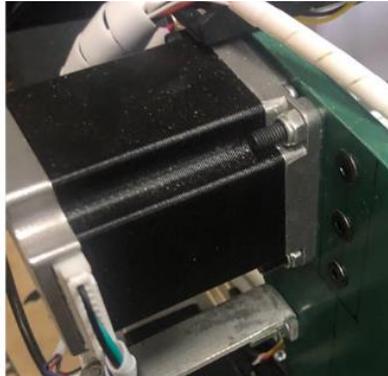


Nota. Operación de roscado en el perfil de Aluminio tipo V con el machuelo M5x0.8.

Después de realizar la operación de roscado en los 6 agujeros del perfil se fijará contra las placas laterales, para ello se utilizará 6 tornillos M5x25mm y se debe aplicar Loctite sobre la rosca, en la figura 89 se muestra cómo se colocó los tornillos.

Figura 89

Fijación del motor a pasos nema 23 y perfil de Aluminio del eje X



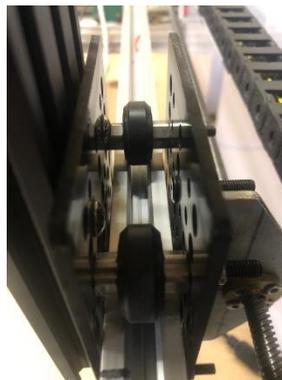
Nota. Fijación con tornillos M5x25mm.

En la figura 89 también se aprecia como se fijó el motor a pasos nema 23 contra la placa lateral, se utilizó 4 tornillos M5x25mm y 4 tuercas de seguridad, adicionalmente se fijó el acople flexible de 8mm sobre el eje del motor.

Después de colocar el perfil De aluminio tipo V sobre las placas se debe fijar las placas universales sobre los rieles del perfil para el movimiento del Eje X, en la figura 90 se muestra cómo se implementó.

Figura 90

Fijación de las dos placas universales al perfil



Nota. Fijación de las placas laterales para el movimiento del eje X.

Se colocó 4 ruedas de policarbonato con 4 tornillos M5x45mm, en la parte inferior de la placa se colocó 4 espaciadores de 6mm y en la parte superior 4 espaciadores excéntricos, los

4 pernos se aseguraron con tuercas de seguridad. En la figura 91 se muestra cómo se debe mover los espaciadores excéntricos para acomodar las ruedas a los rieles.

Figura 91

Ajuste de los espaciadores Excéntricos para las placas universales



Nota. Ajuste de los espaciadores excéntricos para la fijación de las placas a los rieles.

Para el sistema de transmisión del eje X se colocó la Base soporte de la tuerca tornillo sin fin en el medio de las placas universales, se fijó con 2 tornillos M5x 25mm y 2 tuercas de seguridad, también se fijó la tuerca del tornillo sin fin a la base con remaches de acero inoxidable, en la figura 92 se muestra cómo se montó el elemento.

Figura 92

Fijación de la base soporte de la tuerca tornillo sin fin

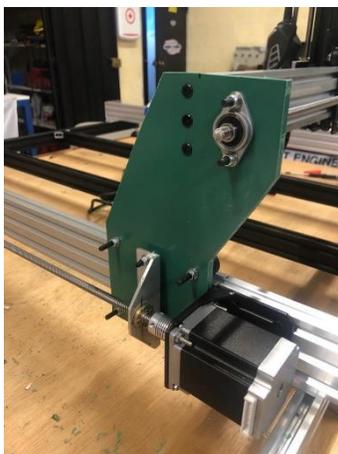


Nota. Base soporte tuerca tornillo sin fin fijado a las placas universales del eje X.

Se colocó la chumacera en el otro lado de la placa lateral que soporta el eje X para asegurar el tornillo sin fin, para ello se utilizó 2 tornillos M5x25mm y 2 Tuercas de seguridad, en la figura 93 se evidencia la implementación

Figura 93

Fijación de la chumacera a la placa lateral eje X



Nota. Fijación de la chumacera para el soporte del tornillo sin Fin.

Implementación del Eje Z

Para la implementación del eje Z se realizó una tabla de elementos y presupuestos a utilizarse.

Tabla 19

Elementos y presupuestos utilizados para el eje Z

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|-----------------------------|----------------|-------------|
| 4 | M5x8mm | 0.09\$ | 0.36\$ |
| 7 | M5x25mm | 0.11\$ | 0.77\$ |
| 2 | Remache acero inoxidable | 0.10\$ | 0.20\$ |
| 4 | Tuerca seguridad | 0.09\$ | 0.36\$ |
| 4 | Tuerca martillo | 0.13\$ | 0.52\$ |

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|----------------------------------|----------------|-------------|
| 4 | Arandelas planas | 0.09\$ | 0.36\$ |
| 1 | Perfil de Aluminio 20x60x330 | 5.59\$ | 5.59\$ |
| 1 | Tornillo sin fin de 8mm 300mm | 12.50\$ | 12.50\$ |
| 1 | Tuerca tornillo sin fin | 3\$ | 3\$ |
| 1 | Acople flexible 5mm - 8mm | 3.99\$ | 3.99\$ |
| 2 | Placa portaherramientas | 4\$ | 8\$ |
| 1 | Base soporte tuerca eje Z | 2\$ | 2\$ |
| 1 | Placa base motor nema 17 | 3\$ | 3\$ |
| 1 | Motor nema 17 | 15.75\$ | 15.75\$ |
| 1 | Placa universal | 14.55\$ | 14.55\$ |
| 4 | Ruedas policarbonato | 3\$ | 12\$ |
| 2 | Espaciadores Excéntricos | 1.11\$ | 2.22\$ |
| 2 | Espaciadores 6 mm | 0.26\$ | 0.52\$ |
| 2 | Abrazaderas grandes | 2\$ | 4\$ |

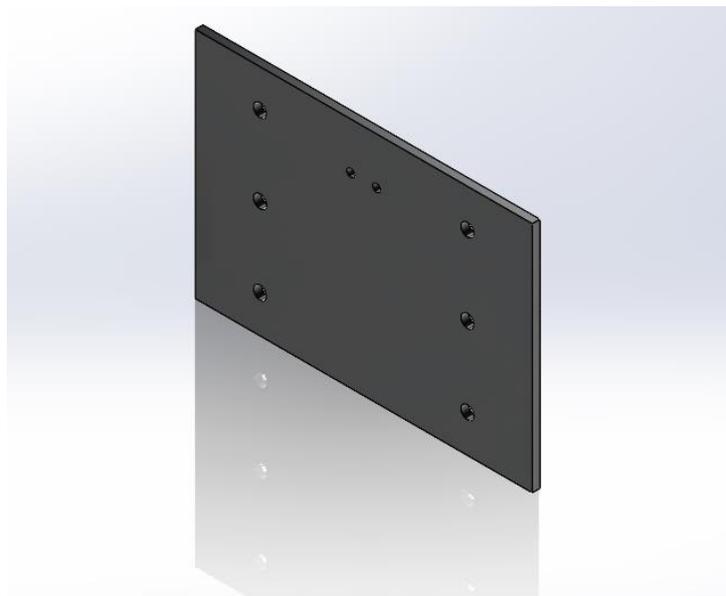
| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|-------------|----------------|-------------|
| | | Valor total | 89.69 \$ |

Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

Antes de la implementación se realizó la creación de las piezas que se usaran para el chasis en el Software SolidWorks 2022.

Figura 94

Placa universal para subir y bajar la herramienta del eje Z



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A9

Figura 95

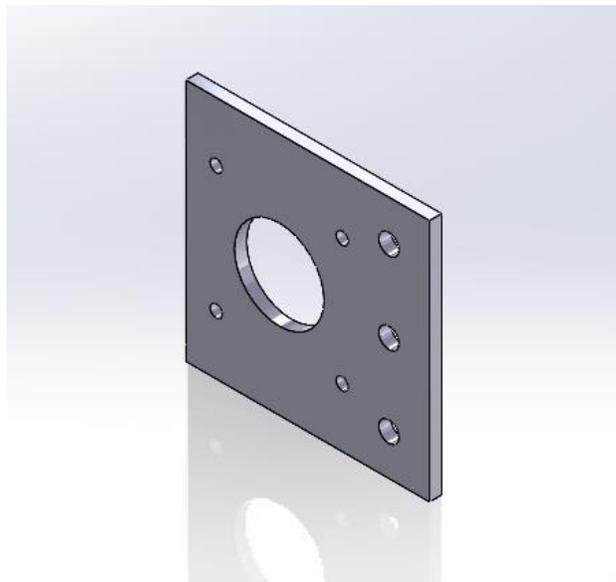
Perfil de Aluminio tipo V 20x60x330 para el eje Z



Nota. Consulte la Figura 18 para conocer su dimensionamiento.

Figura 96

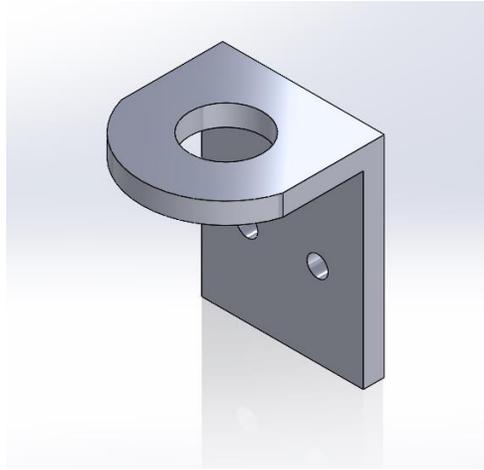
Base nema 17 para el eje Z



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A8

Figura 97

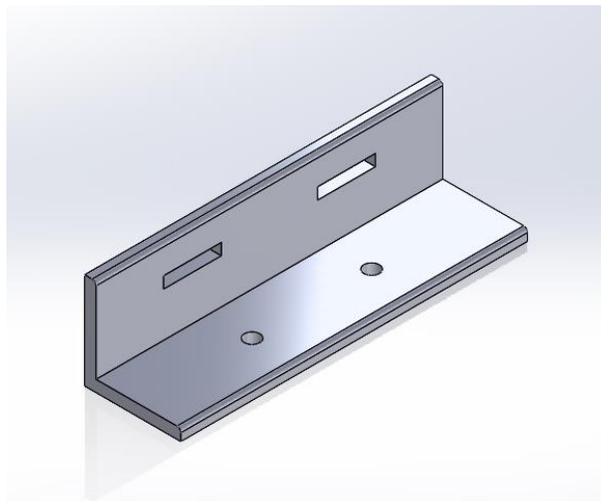
Base soporte tuerca tornillo sin fin para el eje Z



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A9

Figura 98

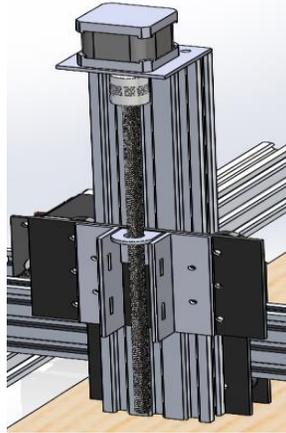
Base Portaherramientas para el eje Z



Nota. Para obtener la información de las dimensiones de la pieza consulte el anexo A5

Figura 99

Ensamble del eje Z



Nota. Ensamble del eje Z en SolidWorks 2022.

Para la implementación del eje Z se debe fijar el perfil de Aluminio tipo V 20x60x330 contra la placa universal de la parte delantera del eje Z, para ello se utilizará 4 tornillos M5 x 8mm con 4 tuercas martillo, se debe dejar un espacio con la ayuda de arandelas planas de 2mm, el perfil debe ser fijado a la misma altura del extremo de la placa universal del eje X, en la Figura 100 se observa la implementación.

Figura 100

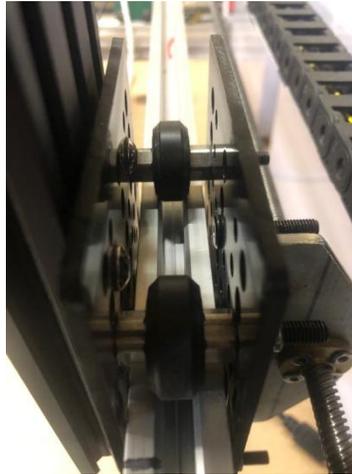
Fijación del perfil de Aluminio contra la placa universal



Nota. Fijación del perfil de aluminio con ayuda de rodela plana, tornillos y tuercas martillo.

Figura 101

Perfil fijado por medio de tornillos M5x8 para el eje Z



Nota. El perfil se fijó a la placa universal delantera del eje X.

En la figura 102 se muestra la base del motor a pasos nema 17 para el eje Z, esta debe ser fijada en el extremo superior del perfil de aluminio tipo V 20x60x330, para ello se debe roscar los agujeros de la parte superior del perfil, este proceso se puede apreciar en la figura 88.

Figura 102

Implementación del base motor a pasos nema 17 para el eje Z

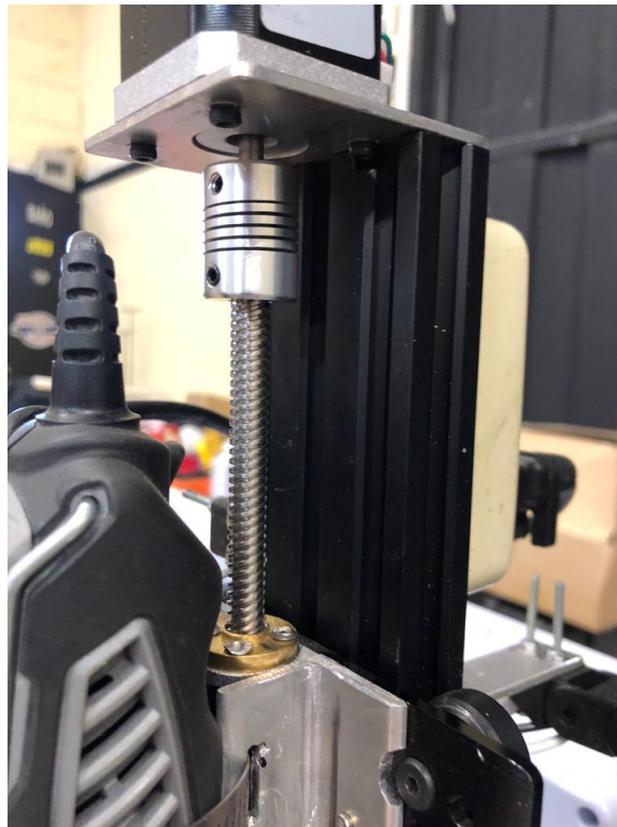


Nota. Base fijada por medio de tornillos M5x25mm.

Para fijar la placa universal en el eje Z se debe realizar el mismo procedimiento con el que se aplicó para el eje X, la base soporte de la tuerca tornillo sin fin para el eje Z se colocó en el medio de la placa y se fijó con 2 remaches de acero inoxidable, se utilizó 4 remaches para fijar la tuerca a la base soporte eje Z, la base portaherramientas se fijó con ayuda de dos remaches por base a 27mm del lateral de la placa. Se colocó el acople flexible a la base del motor y la herramienta de corte se colocó con 2 abrazaderas en la ranura de la base portaherramientas, en la figura 103 se muestra la implementación completa.

Figura 103

Implementación del eje Z



Nota. Implementación completa del eje Z.

Implementación de la mesa de corte

Para la implementación de la mesa se tomó en cuenta la tabla de elementos y presupuestos.

Tabla 20

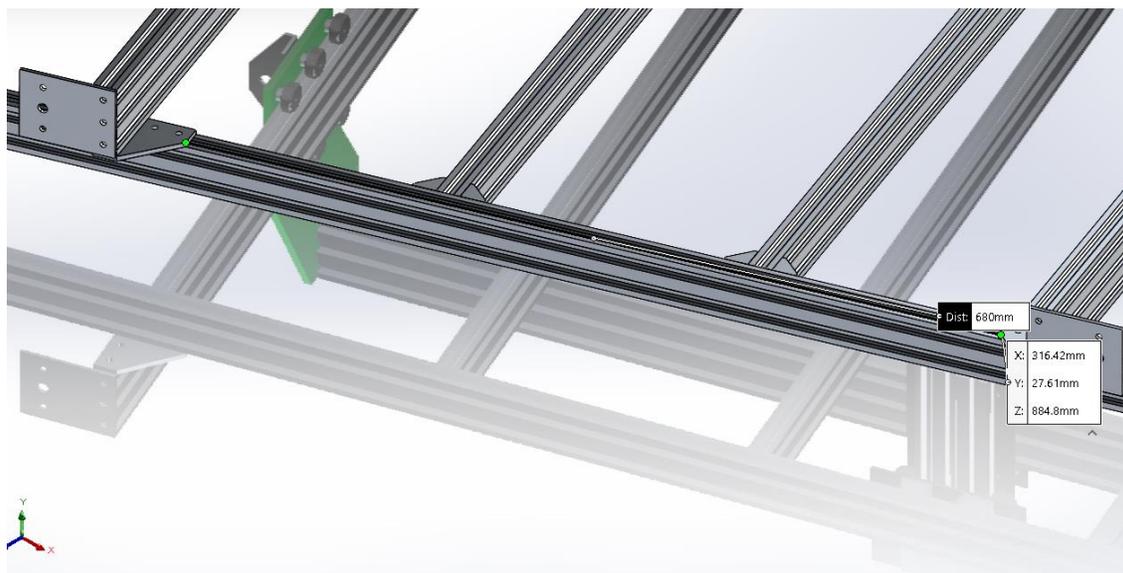
Tabla de elementos y presupuesto para la mesa de corte

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|-------------|--|----------------|-------------|
| 6 | Tornillo M5x20mm | 0.10\$ | 0.60\$ |
| 6 | Tuerca Martillo | 0.13\$ | 0.78\$ |
| 1 | Tabla madera MDF 18mm de grosor 1160mm x 670mm | 25\$ | 25\$ |
| Valor total | | | 26.38 \$ |

Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

Figura 104

Ensamble de mesa de corte

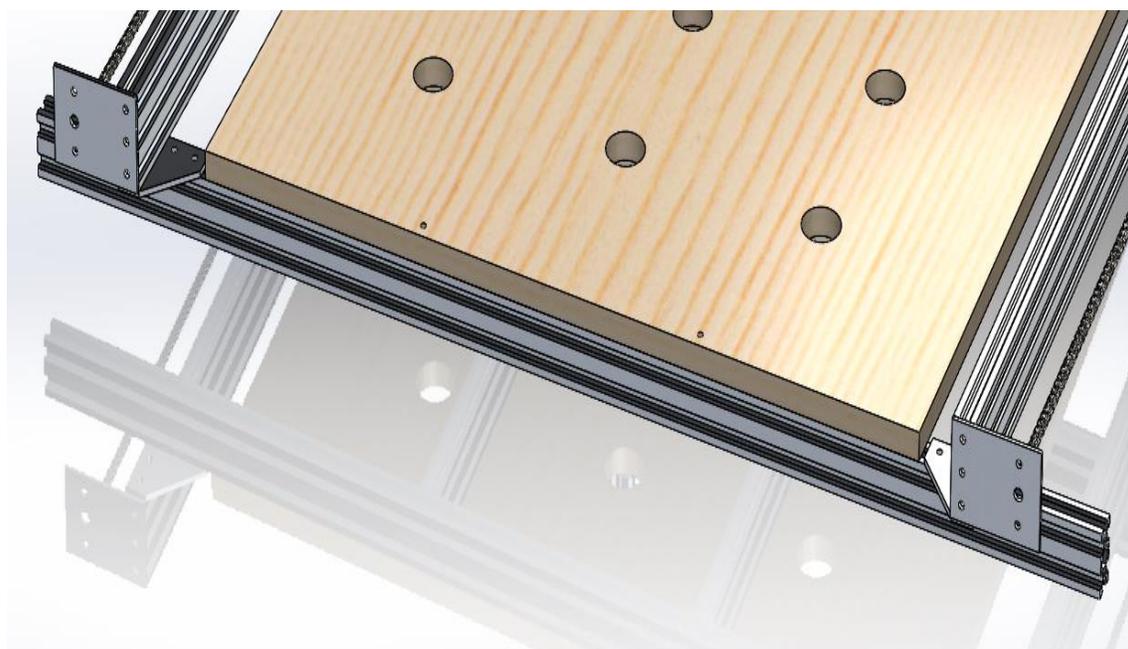


Nota. Dimensiones de ubicación para la mesa de corte.

La mesa de corte tiene unas dimensiones de 1160mm x 670mm, este deberá ser colocado entre los puntos verdes de la figura 104 a una distancia de cada una de ellas de 5mm.

Figura 105

Fijación de la mesa de corte para la máquina CNC



Nota. Para conocer las dimensiones de la mesa de corte consulte el anexo A18

Implementación de la parte eléctrica de la máquina CNC

La parte eléctrica es muy importante para el control de los ejes, para ello se elaboró una tabla de Elementos y presupuestos utilizados para la implementación del sistema eléctrico.

Tabla 21

Tabla de elementos y presupuestos del sistema eléctrico de la máquina

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|-------------------------------|----------------|-------------|
| 4 | Driver HY-DIV268N-5A | 24.46\$ | 97.84\$ |
| 1 | Placa de control CNC Mach 3 | 58.04\$ | 59\$ |
| 2 | Cadena de arrastre 10x15x1000 | 11.16\$ | 22.32\$ |

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|-------------------------------------|----------------|-------------|
| 2 | Caja de revisión | 18\$ | 36\$ |
| 1 | Fuente de 36V 16.6 A | 64.71 | 64.71\$ |
| 1 | Fuente de 24V 15A | 35.38 | 35.38\$ |
| 1 | Dremel 4000 | 99\$ | 99\$ |
| 4 | Conectores de aviador de 4 pines | 2.24\$ | 8.96\$ |
| 6 metros | Cable 4 núcleos AWG | 2.33\$ | 14\$ |
| 6 metros | Metros cable 16 AWG | 0.60\$ | 3.6\$ |
| 1 | Relé 24V 10 A | 8\$ | 8\$ |
| 1 | Paro de emergencia | 2.20\$ | 2.20\$ |
| 1 | Soporte paro de emergencia | 3\$ | 3\$ |
| 2 | M5x8mm | 0.09\$ | 0.18\$ |
| 2 | Tuerca martillo | 0.11\$ | 0.22\$ |
| 60 | Conectores Pin | 0.05\$ | 3\$ |
| 1 | Interruptor On/Off | 2\$ | 2\$ |
| 1 | Enchufe 15A | 1.20\$ | 1.20\$ |
| 8 metros | Cable timbre rígido 1A | 0.35\$ | 2.8\$ |
| 5 | Finales de carrera | 1.21 | 6.05\$ |

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|-------------|----------------|-------------|
| | | Valor total | 463.68\$ |

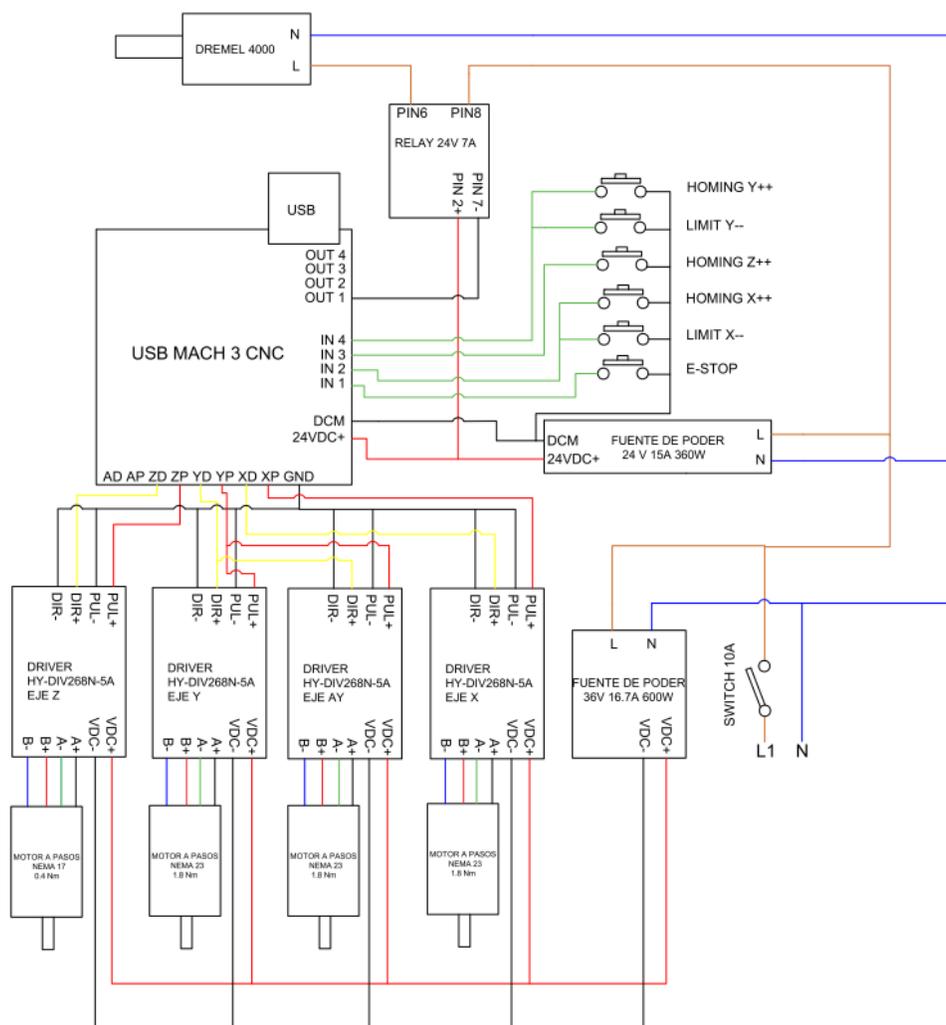
Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

Esquema de conexión eléctrica de la máquina CNC

Para realizar la conexión eléctrica es necesario el uso de un esquema eléctrico como guía para la conexión de la tarjeta mach 3 a los drivers, de los drivers a los motores a pasos. También es necesario para la correcta conexión de las señales de entrada y salida, así como la conexión de la fuente de Alimentación al sistema.

Figura 106

Diagrama eléctrico completo de la máquina CNC



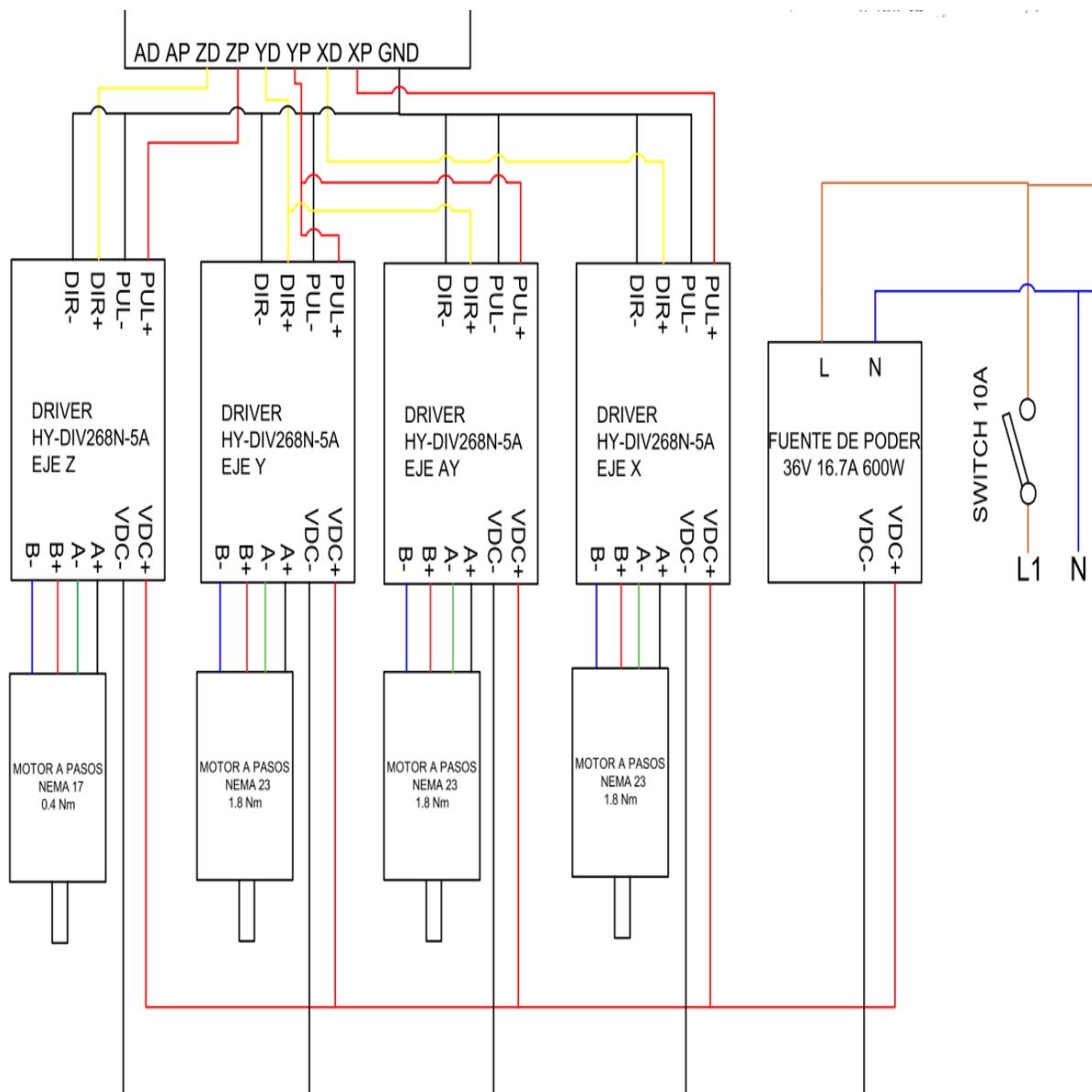
Nota. Diagrama Eléctrico para la máquina CNC realizado en el software AutoCAD 2022.

Consulte el Anexo A13 para una mejor visualización.

Conexión de los drivers a la tarjeta CNC

Figura 107

Diagrama de conexión de los Drivers a la tarjeta CNC



Nota. Diagrama de conexión de los drivers a la tarjeta CNC, consulte el anexo A13 para ver el esquema completo.

Tanto los Drivers HY-DIV268N-5A como la tarjeta CNC Mach 3 tiene su control mediante pulso y dirección, por lo que se debe conectar según corresponda, para ello se elaboró una tabla con las conexiones realizadas.

Tabla 22

Esquema de conexiones Drivers - Mach 3

| Driver HY-DIV268N-5A | Tarjeta CNC Mach 3 | Color de cable |
|----------------------|--------------------|----------------|
| Eje Z Pul + | ZP | Rojo |
| Eje Z Dir + | ZD | Amarillo |
| Eje Z Pul - | GND | Negro |
| Eje Z Dir - | GND | Negro |
| Eje Y Pul + | YP | Rojo |
| Eje Y Dir + | YD | Amarillo |
| Eje Y Pul - | GND | Negro |
| Eje Y Dir - | GND | Negro |
| Eje X Pul + | XP | Rojo |
| Eje X Dir + | XD | Amarillo |
| Eje X Pul - | GND | Negro |
| Eje X Dir - | GND | Negro |

Nota. Explicación de las conexiones realizadas entre los driver y tarjeta CNC con el color de cable específico.

El pulso y dirección del eje AY esta interconectado con El pulso y dirección del eje Y, estos están interconectados ya que deben mover de manera equitativa la torre portadora del eje X y Z.

Los drivers deben ser configurados basándose en los parámetros de los motores como por ejemplo el amperaje de operación y los pasos. En la Figura 108 se muestra el esquema de configuración del driver HY-DIV268N-5A.

Figura 108

Esquema de configuración del driver HY-DIV268N-5A



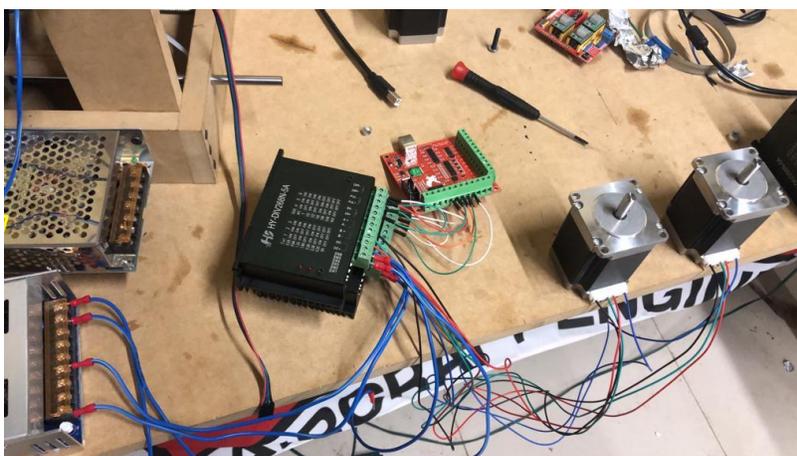
Nota. Configuración mediante Switch On/Off.

Los drivers poseen 6 Dip Switch para la regulación de la corriente y los pasos, del 1 al 3 regulan el amperaje y del 4 al 6 regulan los pasos.

En la figura 109 se muestra la realización de pruebas para determinar la mejor regulación de los pasos, en este caso los pasos medios o $\frac{1}{2}$ trabajan perfectamente con los motores.

Figura 109

Pruebas realizadas para verificar la mejor configuración de los drivers



Nota. Prueba realizada a pasos medios.

Se elaboró dos tablas para determinar la configuración final de los drivers basándose en el amperaje de los motores a pasos.

Tabla 23

Configuración de los drivers para el control de los motores de 1.8 Nm

| Configuración Drivers para los motores a pasos 1,8 Nm | | | | | |
|---|-----|-----|--------------|-----|-----|
| Amperaje 3A | | | Pasos Medios | | |
| SW1 | SW2 | SW3 | SW4 | SW5 | SW6 |
| ON | ON | OFF | ON | OFF | ON |

Nota. En los Dip Switch On es interruptor abajo, Off es interruptor Arriba.

Tabla 24

Configuración de los drivers para el control de los motores de 0.4 Nm

| Configuración Drivers para los motores a pasos 0.4 Nm | | | | | |
|---|-----|-----|--------------|-----|-----|
| Amperaje 1.2A | | | Pasos Medios | | |
| SW1 | SW2 | SW3 | SW4 | SW5 | SW6 |
| ON | OFF | ON | ON | OFF | ON |

Nota. En los Dip Switch On es interruptor abajo, Off es interruptor Arriba.

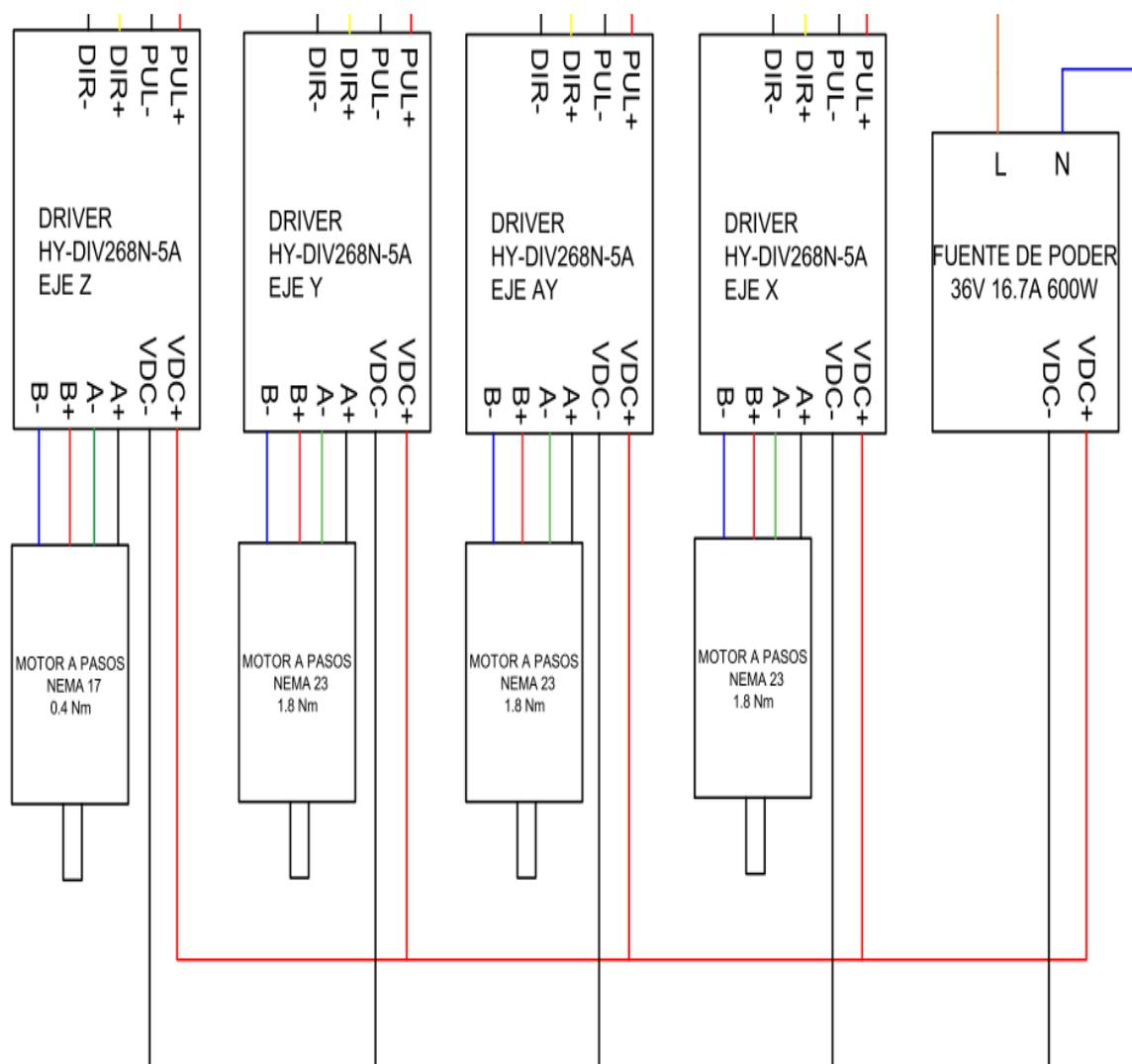
Para que los motores a pasos completen una vuelta o revolución debe dar 200 Pasos, esto quiere decir que cada paso equivale a 1.8 Grados, al configurar en pasos medios quiere decir que los motores giraran a 0.9 Grados.

Conexión de los motores a los Drivers

Se hará uso del siguiente esquema para realizar la conexión de los Drivers a los motores, en la figura 110 se muestra el diagrama.

Figura 110

Esquema de conexión de los drivers a los motores a pasos



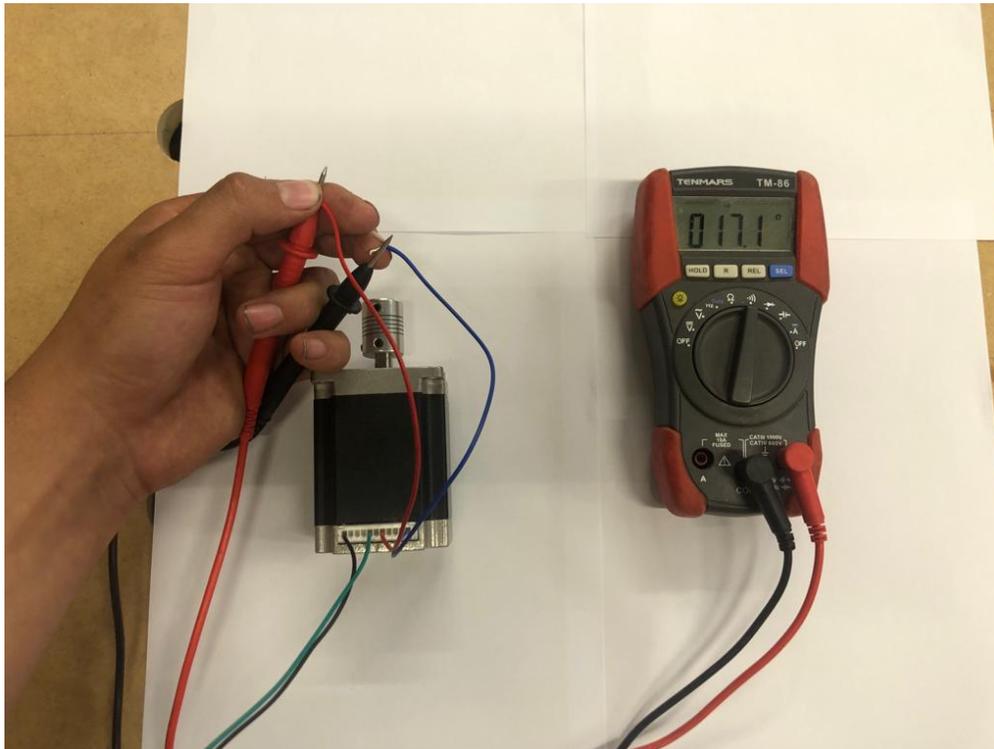
Nota. Conexión con colores de los motores a pasos a los drivers.

A+ y A- es una bobina, B+ y B- es otra bobina del motor a pasos, en total son dos bobinas ya que los motores son bipolares.

Para comprobar las bobinas de los motores a pasos se debe realizar con la ayuda de un multímetro, se coloca en modo conductividad y si marca significa que corresponde a una bobina.

Figura 111

Comprobación de las bobinas en los motores a pasos



Nota. Cable azul y rojo corresponden a una bobina, cable verde y negro a otra bobina.

Se hizo uso del cable calibre 20 AWG de 4 núcleos para llevar la corriente emitida por los drivers a cada motor a pasos de los ejes.

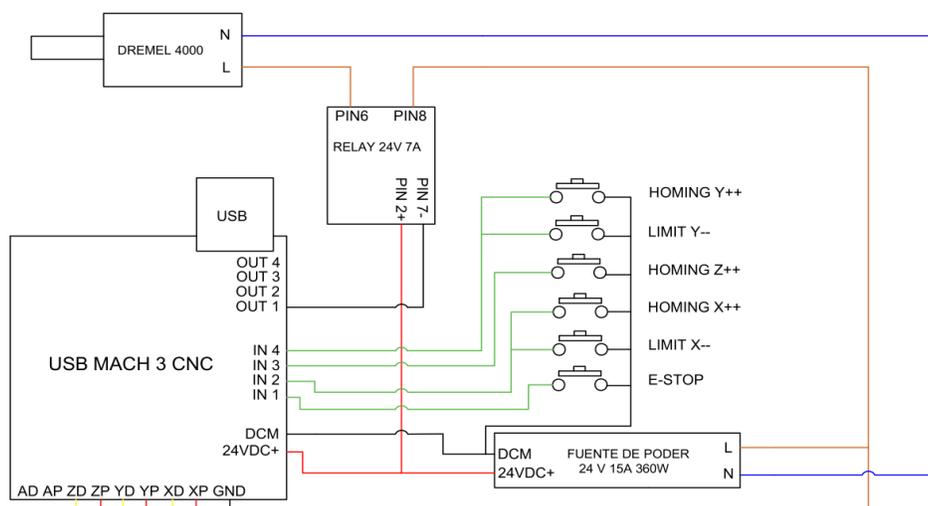
Para la conexión de la fuente de voltaje de 36 VDC a los drivers se ocupó el cable calibre 16 AWG con conectores de tipo Pin, consulte el anexo para determinar sus amperajes soportados.

Conexión de las entradas y salidas de señal

Para la conexión de las entradas y salidas de señal se hará uso del siguiente diagrama, se realizará la conexión del controlador de la herramienta de corte, Paro de emergencia y finales de carrera.

Figura 112

Diagrama de conexión de las entradas y salidas de señal



Nota. Para consultar el diagrama completo revise el anexo A13

Conexión del control de la herramienta de corte

Para controlar la herramienta de corte mediante la tarjeta de control Mach3 se requiere el uso de un relé, cabe recalcar que este encenderá y apagará el Dremel 4000, las revoluciones del mismo se regulan manualmente. En la figura 113 se puede apreciar el esquema de conexión del Relé.

Figura 113

Esquema de conexión del relé



Nota. Conexiones Normalmente cerradas y abiertas para el relé.

En la figura 112 se muestra que las conexiones para la activación de la bobina deben realizarse entre el pin 2 y el pin 7 del mismo, El pin 2 estará conectado al voltaje positivo de la fuente de voltaje que alimenta la CNC Mach 3, mientras que el pin 7 estará conectad a la salida OUT1 de la tarjeta.

Las conexiones para el Dremel deben realizarse con el cable neutro directamente conectado y la fase debe conectarse entre el pin 8 y el pin 6 del relé.

Conexión del paro de emergencia

El paro de emergencia debe ubicarse en un lugar donde sea accesible para el ser humano ya que el objetivo de este es ser accionado por el operador para evitar posibles accidentes. Se elaboró una base para el paro de emergencia y se le ubicó en el lateral del perfil de Aluminio 20x60 como se muestra en la figura 114.

Figura 114

Fijación del paro de emergencia al perfil de aluminio tipo V 20x60

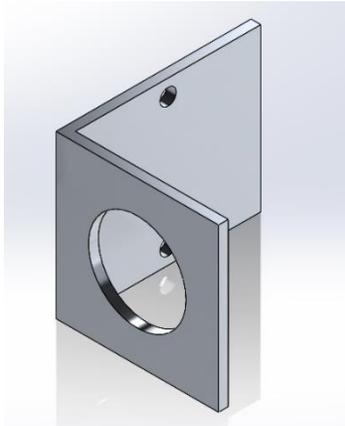


Nota. Base paro de emergencia fijado al perfil con la ayuda de 2 tornillos M5x8mm y tuercas martillo.

Las conexiones eléctricas del paro de emergencia consisten en la conexión del pin negativo de la fuente o DCM al pin número 1 del paro de emergencia, el pin número 2 del mismo se conectó a la entrada IN1 de la tarjeta de control.

Figura 115

Base del paro de emergencia



Nota. Para obtener las dimensiones de la pieza consulte el anexo A10.

Conexión de los finales de carrera.

Los finales de carrera se instalaron en los límites de recorrido de los ejes, tanto de los movimientos positivos como los movimientos negativos, se ocuparon 5 finales de carrera para este control, en las siguientes figuras se muestra la instalación de las mismas.

Figura 116

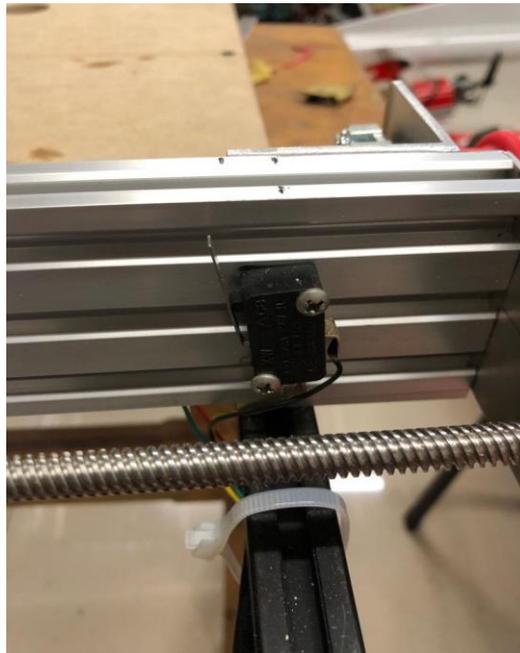
Instalación del final de carrera para los movimientos positivos del eje Y



Nota. Finales de carrera fijados con tornillos M3 y tuercas M3.

Figura 117

Instalación del final de carrera para los movimientos negativos del eje Y



Nota. Finales de carrera fijados con tornillos M3 y tuercas M3.

Figura 118

Instalación del final de carrera para los movimientos positivos del eje X



Nota. Finales de carrera fijados con tornillos M3 y tuercas M3.

Figura 119

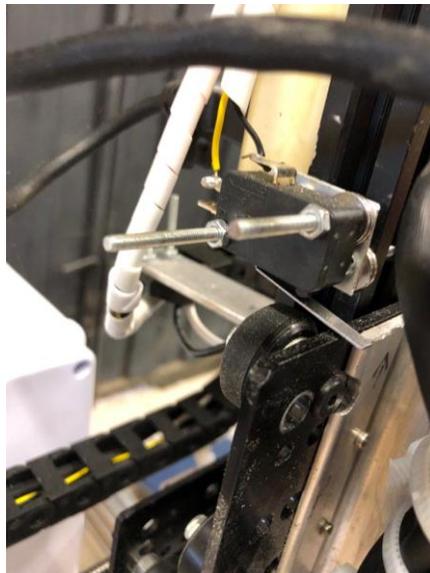
Instalación del final de carrera para los movimientos negativos del eje X



Nota. Finales de carrera fijados con tornillos M3 y tuercas M3.

Figura 120

Instalación del final de carrera para los movimientos positivos del eje Z



Nota. Finales de carrera fijados con tornillos M3 y tuercas M3.

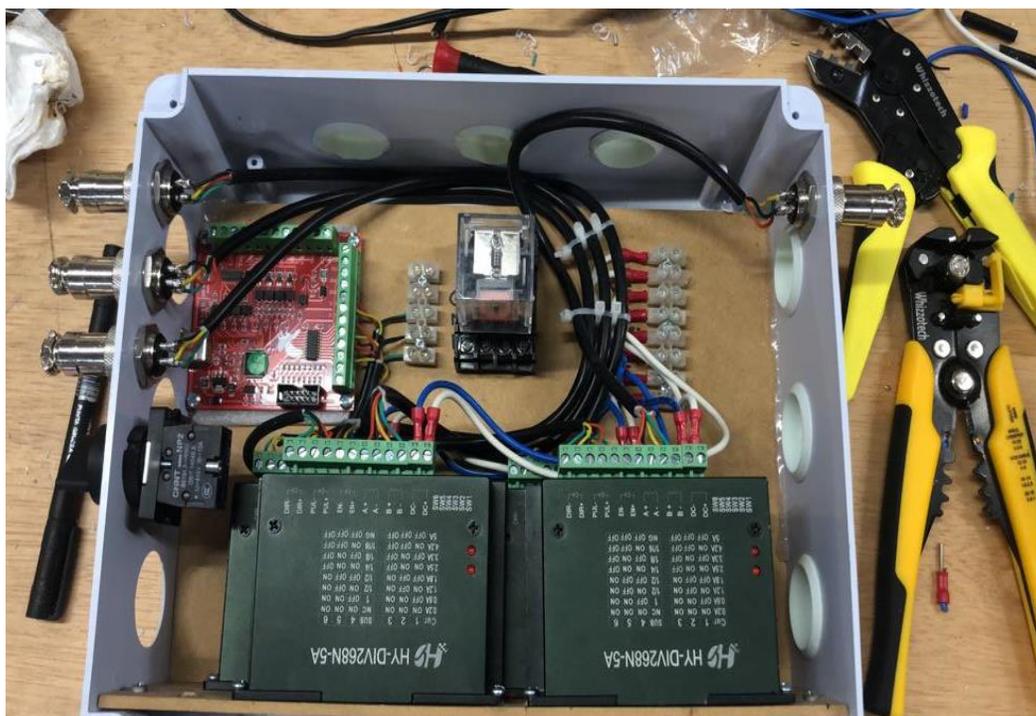
Los finales de carrera se instalaron de manera que funcione como dispositivo de seguridad para el fin del recorrido y para realizar el Homing de la máquina se utilizaron a partir del pin 2 al pin 4 de la tarjeta como se muestra en la figura 112.

Instalación de los elementos en la caja de revisión

Los componentes se instalaron en una caja de revisión con el fin de brindar a los elementos eléctricos y electrónicos una protección extra contra factores externos como la humedad y el polvo.

Figura 121

Fijación de los elementos en la caja de revisión



Nota. Elementos fijados en la caja de revisión.

En los extremos de la caja se colocaron conectores de tipo aviador para los motores a pasos, adicionalmente se instaló un interruptor de 10 amperios para encender y apagar el sistema manualmente, estos se colocaron en la parte posterior de la mesa de corte, en la figura 122 se muestra los conectores y el interruptor instalados.

Figura 122

Instalación de los conectores de tipo aviador e interruptor



Nota. Instalaciones realizadas en los extremos de la caja de revisión.

Parametrización de la máquina en el software CNC

Se requiere una excelente parametrización del software Mach 3 para que la máquina pueda funcionar de manera adecuada, se parametrizó los pasos y la velocidad de avance de los motores que controlan los ejes y se habilitó las funciones de protección para la máquina, así como los límites establecidos y la opción de Home limits.

Habilitación de los puertos para los motores a pasos

Para habilitar los puertos de los motores a pasos es necesario hacer uso de la figura 123.

Figura 123

Habilitación de los puertos en el software mach 3 para los motores

| Signal | Enabled | Step Pin# | Dir Pin# | Dir LowActi... | Step Low A... | Step Port | Dir Port |
|---------|---------|-----------|----------|----------------|---------------|-----------|----------|
| X Axis | ✔ | 1 | 2 | ✔ | ✔ | 1 | 1 |
| Y Axis | ✔ | 3 | 4 | ✘ | ✔ | 1 | 1 |
| Z Axis | ✔ | 5 | 6 | ✔ | ✔ | 1 | 1 |
| A Axis | ✔ | 7 | 8 | ✔ | ✔ | 1 | 1 |
| B Axis | ✘ | 0 | 0 | ✘ | ✘ | 0 | 0 |
| C Axis | ✘ | 0 | 0 | ✘ | ✘ | 0 | 0 |
| Spindle | ✘ | 0 | 0 | ✘ | ✘ | 0 | 0 |

Nota. Puertos habilitados del 1 al 8 basándose en la figura 106.

Calibración de los Drivers y motores a pasos

La calibración de los drivers es necesario para que los motores puedan moverse adecuadamente y tenga la precisión exacta, se debe calcular los pasos que debe dar el motor para desplazarse un milímetro, en este caso los motores que se adquirió tienen 200 pasos / revolución, el tornillo sin fin para el movimiento de los ejes posee 8mm de paso por revolución. Se hará uso del siguiente cálculo para determinar los pasos.

Ecuación 29

Determinación de los pasos del motor

$$\text{Pasos} = \frac{\text{Pasos del motor}}{\text{Pasos del tornillo sin fin}}$$

$$\text{Pasos} = \frac{200}{8}$$

$$\text{Pasos} = 25$$

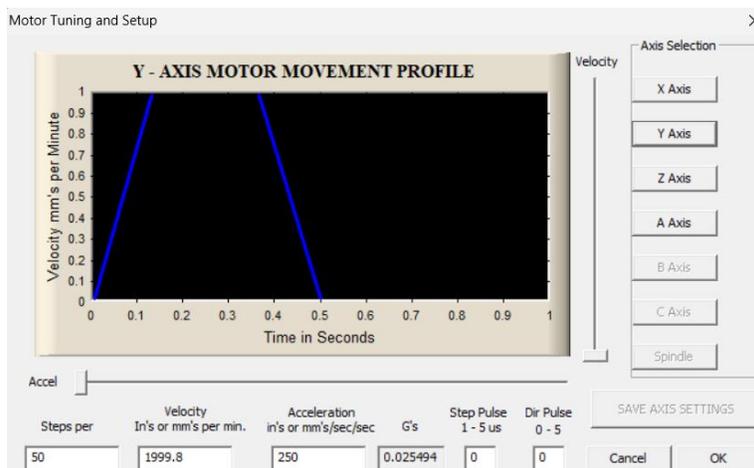
$$\text{Pasos} = 25 \times 2$$

$$\text{Pasos} = 50$$

Nota. Los pasos obtenidos en la división se multiplicaron por el doble ya que los drivers se configuraron a pasos medios, significa que se necesitará 50 pasos para moverse 1 milímetro.

Figura 124

Calibración de los motores a pasos y drivers en Motor Tuning



Nota. La velocidad de avance a pesar de que se calculó 900mm/min se parametrizó a 1999.8 mm/min ya que resulta mejor que la máquina realice la tarea de homing en el menor tiempo

posible, en el mecanizado se reducirá la velocidad a lo calculado gracias a la herramienta Feed Rate.

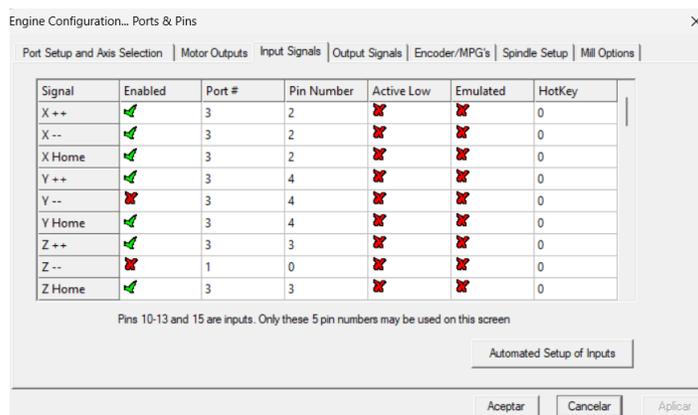
En todos los motores se colocó los mismos parámetros ya que el método de transmisión tornillo sin fin es el mismo para los 3 ejes.

Habilitación de los puertos para las señales de entrada

Para la protección de los límites de la máquina se habilitó los puertos de homing limits y finales de carrera como se muestra en la figura 125.

Figura 125

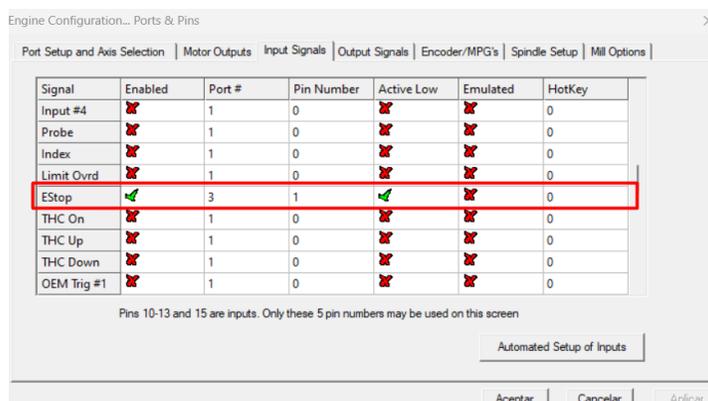
Habilitación de los homing limits y finales de carrera



Nota. Home limits y final de carrera están conectados en paralelo para los ejes X, Y

Figura 126

Configuración del paro de emergencia



Nota. El recuadro seleccionado son los parámetros para la habilitación del paro de emergencia.

Parametrización de los Homing Limits

Se parametrizó los límites con la cantidad de desplazamiento que pueden tener los ejes como método adicional de protección, para el eje Z es muy importante ya que solo posee un final de carrera para realizar la tarea de homing, los ejes se moverán únicamente la distancia que se les programo.

Se configuró para que la máquina pueda realizar el homing en los movimientos positivos de los ejes.

Figura 127

Ajuste de los límites de la máquina

Motor Home/SoftLimits X

Entries are in setup units.

| Axis | Reversed | Soft Max | Soft Min | Slow Zone | Home Off. | Home N... | Auto Zero | Speed % |
|------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| X | ✔ | 658.00 | -658.00 | 1.00 | 0.0000 | ✘ | ✘ | 100 |
| Y | ✔ | 820.00 | -820.00 | 1.00 | 0.0000 | ✘ | ✘ | 100 |
| Z | ✔ | 139.00 | -139.00 | 1.00 | 0.0000 | ✘ | ✘ | 100 |
| A | ✘ | 100.00 | -100.00 | 1.00 | 0.0000 | ✘ | ✔ | 20 |
| B | ✘ | 100.00 | -100.00 | 1.00 | 0.0000 | ✘ | ✔ | 20 |
| C | ✘ | 100.00 | -100.00 | 1.00 | 0.0000 | ✘ | ✔ | 20 |

G28 home location coordinates

| | | | |
|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
| X | <input type="text" value="0"/> | A | <input type="text" value="0"/> |
| Y | <input type="text" value="0"/> | B | <input type="text" value="0"/> |
| Z | <input type="text" value="0"/> | C | <input type="text" value="0"/> |

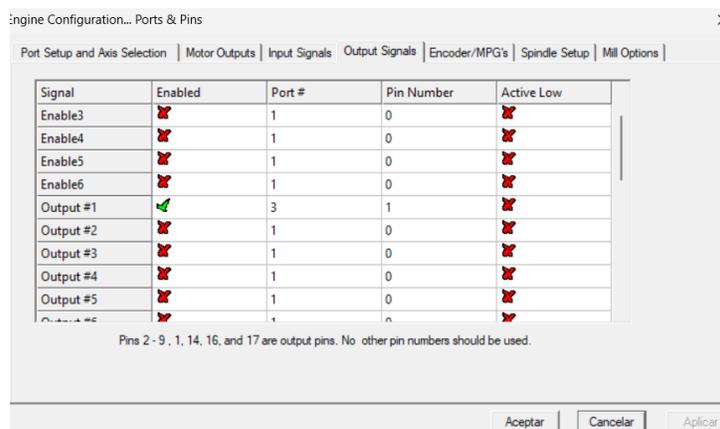
Nota. Parámetros fijados para todos los ejes de la máquina.

Habilitación del puerto para el control de la herramienta de corte

Para habilitar el control de la herramienta por medio de la tarjeta mach 3 CNC es necesario registrarse en los parámetros de la figura 128.

Figura 128

Habilitación de los puertos para el control de la herramienta

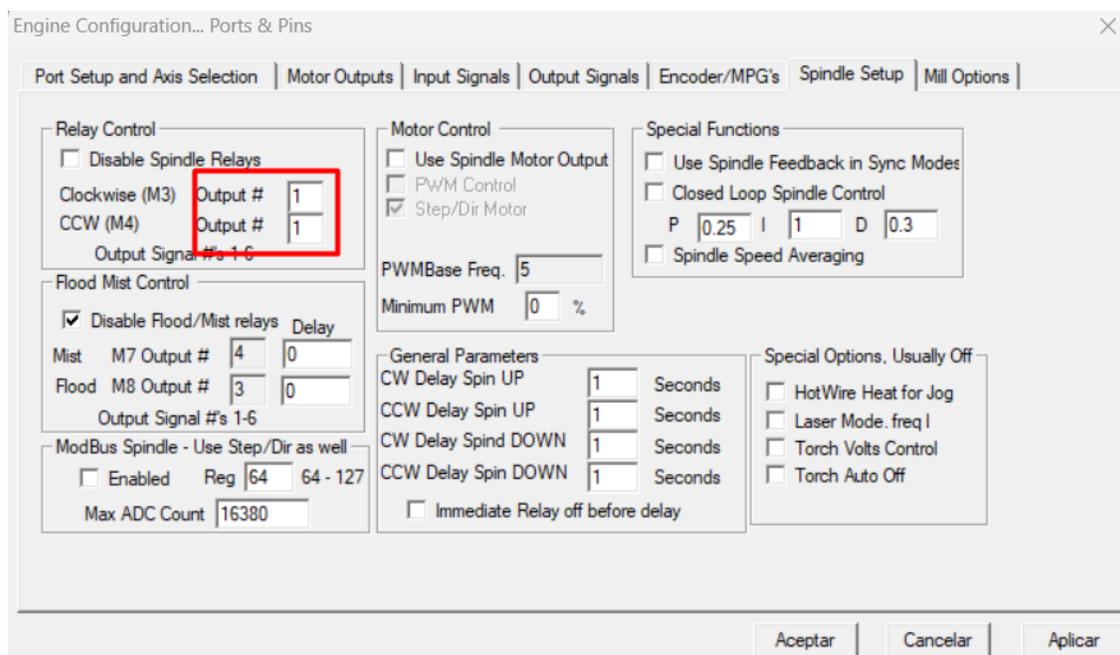


Nota. Señal de salida Out 1 habilitado para el control de la herramienta.

Se utilizó el pin número 1 de la salida para el control de la herramienta de corte, en la figura 129 se puede visualizar la parametrización del control.

Figura 129

Parámetros fijados para el control del husillo



Nota. El recuadro rojo muestra los parámetros que se tienen que modificar.

Capítulo V

Resultados, conclusiones y recomendaciones del proyecto

Resultados alcanzados en la prueba de funcionamiento

Se obtuvo una máquina capaz de cortar piezas de aeromodelismo en balsa y triplex. La máquina CNC posee unas dimensiones de corte de 800mm x 600 x 80mm. El presupuesto total de la máquina integrando todos sus sistemas se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 25

Presupuesto final de la implementación de la máquina CNC

| Presupuesto de la máquina CNC Router | |
|--------------------------------------|------------------|
| Descripción | Costo Total |
| Implementación del chasis | 113.69\$ |
| Implementación del eje Y | 352.16\$ |
| Implementación del eje X | 177.58\$ |
| Implementación del eje Z | 89.69\$ |
| Implementación de la mesa | 26.38\$ |
| Implementación del sistema eléctrico | 463.68\$ |
| Presupuesto Total: | 1223.18\$ |

Nota. Tabla de materiales y listado de precios en dólares del año 2023.

Las dimensiones de la máquina son las necesarias para colocar una tabla de triple x y balsa, posee las protecciones adecuadas y los ejes no realizan esfuerzo alguno al momento de moverse.

Figura 130

Implementación completa de la máquina CNC Router



Nota. Implementación de la máquina CNC integrando todos sus sistemas.

Se realizó múltiples pruebas para determinar su funcionamiento, en las siguientes figuras se puede evidenciar los cortes y tallados que la máquina ha realizado.

Figura 131

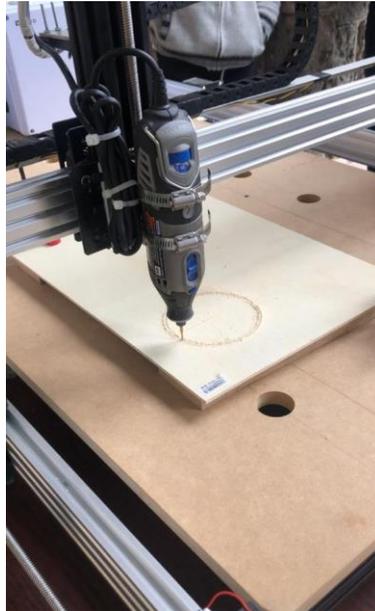
Máquina CNC Router cortando distintas figuras



Nota. El material utilizado para el corte es Trípex de 4 mm de grosor.

Figura 132

Máquina CNC Router realizando cortes circulares



Nota. El material utilizado para el corte es Tríplex de 4 mm de grosor.

Figura 133

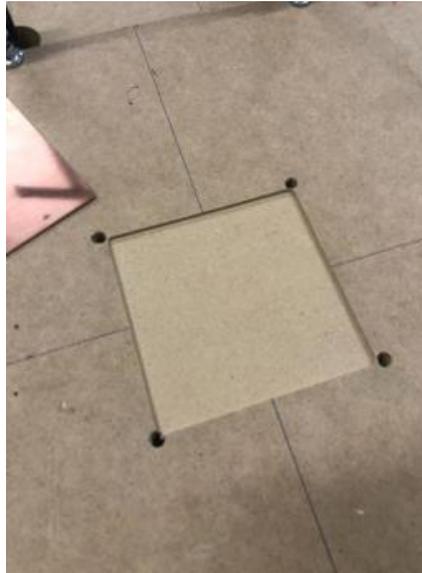
Máquina CNC Router en proceso de desbaste de una tabla de MDF



Nota. Planeado realizando en madera MDF de 18mm de grosor, con una profundidad de 1.5mm

Figura 134

Proceso de planeado realizado

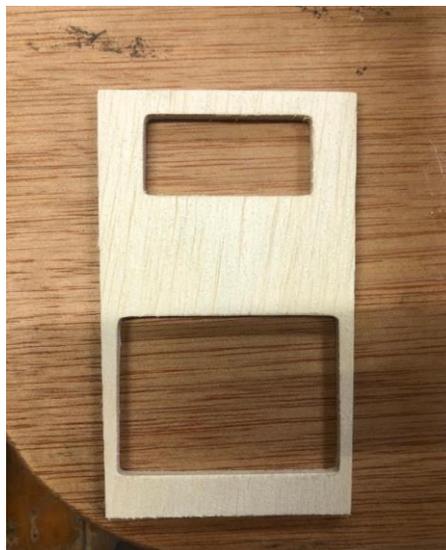


Nota. El planeado se realizó con el fin de encajar placas de baquelita.

Se realizó la creación de la pieza que se muestra en la figura 135, la pieza consiste en una base de servomotores para un Avión curare de aeromodelismo.

Figura 135

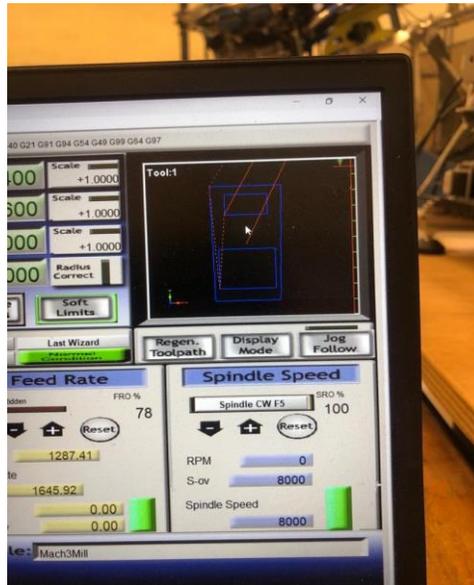
Pieza terminada realizado por la CNC Router



Nota. Base de Servomotores realizada en madera de 4mm de grosor.

Figura 136

Proceso de creación de base de servomotores en Mach 3



Nota. Visualización del mecanizado de la base de servomotores en el software Mach3.

Una vez terminada la pieza se midió las dimensiones obtenidas para la base de servomotores

Figura 137

Medición de la longitud de la base de servomotores



Nota. Valor de medición de 109.11mm

Figura 138 *Medición del ancho inferior de la base de servomotores*



Nota. Valor de medición de 57.11mm

Figura 139

Medición del ancho Superior de la base de servomotores



Nota. Valor de medición de 61.99mm

Figura 140

Medición de la longitud de la porta servomotores



Nota. Valor de medición de 39.94mm

Se comprobó que la pieza encaje perfectamente en el interior del avión, en la figura 141 se muestra el resultado final.

Figura 141

Base servomotores fijado en el Avión de Aeromodelismo



Nota. Las dimensiones obtenidas encajan perfectamente dentro del avión de aeromodelismo.

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones realizadas en el diseño y las obtenidas en el mecanizado.

Tabla 26

Comparación de las dimensiones de la pieza terminada

| Dimensionamiento obtenidas para la base servomotores. | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Descripción | Dimensiones de diseño | Dimensiones obtenidas | Margen de error |
| Longitud de la pieza | 109mm | 109.11mm | 0.11mm |
| Ancho inferior | 57mm | 57.11mm | 0.11mm |
| Ancho Superior | 62mm | 61.99mm | 0.01mm |
| Ancho de porta servomotores | 40mm | 39.94mm | 0.06mm |

Nota. Comparación entre las dimensiones de diseño y las dimensiones obtenidos, La Máquina CNC realizó la base servomotores en 2:43 minutos.

Conclusiones

- Se obtuvo una máquina capaz de cortar y tallar en madera para la fabricación de piezas de aeromodelismo con dimensiones de corte de 800mm x 600mm x 80mm.
- Es fundamental la realización de análisis estructurales y análisis de torsión para validar si la máquina resistirá los esfuerzos a las que se le someterá.
- Los parámetros de fresado y mecanizado son necesarios en las máquinas CNC Router para la selección de materiales, de esto depende cálculos como la fuerza de corte o la potencia neta de corte para la selección de una herramienta de fresado.
- Los materiales para la implementación de la máquina se escogieron en base a los cálculos obtenidos y a la disponibilidad existente en el mercado nacional.
- Los perfiles de Aluminio Tipo V son excelentes para el sistema de movimiento de los ejes y como cuerpo y estructura para la máquina.
- El torque de los motores a pasos se seleccionó en base a la fuerza de corte obtenida de 86.88N y los pesos estructurales de los ejes X, Y, Z mediante un cálculo específico para tornillos sin fin.
- La tarjeta CNC Mach 3 se escogió basado en las comparaciones realizadas a las otras tarjetas disponibles en el mercado nacional y por su compatibilidad con el postprocesador del software SolidWorks.
- Para la selección de los controladores para los motores a pasos se tomó en consideración los amperajes máximos que estos pueden soportar, 3 amperios para el eje X, Y, 1.2 amperios para el eje Z.
- Toda la implementación de la máquina se basó en un diseño realizado en el software SolidWorks como guía para el ensamblado.
- Tener una buena parametrización en el software CNC Mach 3 puede aumentar la eficiencia de la máquina y sus características de seguridad.

Recomendaciones

- Emplear buenas estrategias de diseño y mecanizado para obtener una mejor calidad en la elaboración de piezas de aeromodelismo.
- Emplear softwares de diseño que sean compatibles con la tarjeta controladora CNC Mach3.
- Realizar los mecanizados con herramientas especializadas para los distintos materiales, por ejemplo, utilizar fresas especializadas en madera.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina a distintas velocidades de avance y con distintas revoluciones de la herramienta de corte, evaluar cual es la más efectiva en relación a la calidad – Tiempo.

Bibliografía

- Alonso, R. (18 de Enero de 2023). *¿Qué es una fuente de alimentación y por qué es tan importante? [Fotografía]*. Obtenido de Hard Zone: <https://hardzone.es/reportajes/ques/fuente-alimentacion-caracteristicas/>
- Alvarez, J. (16 de Junio de 2021). *Parada de emergencia en máquinas*. Obtenido de Blog Javier Alvarez: <https://www.jalvarezmart.com/2021/06/18/funcion-parada-emergencia/>
- Arzola, L. (21 de Septiembre de 2020). *Máquinas de tipo CNC*. Obtenido de Yamazen Mexicana: <https://www.yamazen.com.mx/blog/machine-tools/maquinas-de-tipo-cnc.html>
- Autycom. (24 de Enero de 2019). *Tipos de máquinas de control numérico CNC*. Obtenido de Autycom: <https://www.autycom.com/tipos-de-maquina-de-control-numeric-cnc/>
- Centric. (21 de Diciembre de 2021). *¿Qué es una máquina CNC y como ayuda en los procesos industriales?* Obtenido de CNC Centric: <https://centricdemexico.com/maquina-cnc/>
- Cimech3D. (01 de Abril de 2020). *Riel Lineal/perfil aluminio (V-slot) 20x60 - Plateado*. Obtenido de Cimech3D: <https://www.cimech3d.cl/producto/perfil-aluminio-v-slot-20x60-plateado/>
- Coparoman. (13 de Agosto de 2015). *Boton paro de emergencia [Imagen]*. Obtenido de Coparoman: <https://coparoman.blogspot.com/2015/08/boton-de-paro-de-emergencia.html>
- Cuemath. (16 de Enero de 2021). *Kilogram to Newton Formula*. Obtenido de Cuemath: <https://www.cuemath.com/kilogram-to-newton-formula/>
- Damian, J. (22 de Mayo de 2023). *Cómo controlar un motor paso a paso con el A4988 y Arduino [Fotografía]*. Obtenido de Electrogeek : <https://www.electrogeekshop.com/como-controlar-un-motor-paso-a-paso-con-el-a4988-y-arduino/>
- Delgado, J. (2019). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Máquina Router CNC de 3 ejes para el Mecanizado de Piezas en Madera Modeladas en 3D*. Repositorio Institucional Universidad Nacional Pedro Luis Gallo. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/7886>

- Dremel. (27 de Abril de 2021). *Dremel 4000 Herramientas con cable*. Obtenido de Dremel:
<https://www.dremel.com/es/es/p/dremel-4000-f0134000jc>
- Electronic Board. (16 de Diciembre de 2021). *¿Qué es una fuente de alimentación? ¿Como Funciona?* Obtenido de Electronic Board: <https://www.electronicboard.es/que-es-una-fuente-de-alimentacion-2/>
- Fernández, Y. (23 de Septiembre de 2022). *Qué es Arduino, como funciona y qué puedes hacer con uno*. Obtenido de Xataka: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- García, A. (02 de Diciembre de 2016). *¿Qué es un servomotor y como funciona? [Fotografía]*. Obtenido de Panamahitek : <https://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- García, V. (16 de Septiembre de 2020). *Cómo construí mi CNC*. Obtenido de Electrónica Práctica Aplicada: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/como-construi-mi-cnc-parte1>
- GeekFactory. (25 de Agosto de 2017). *Motor a pasos Tutorial Introductorio [Fotografía]*. Obtenido de Geek Factory : <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/motor-a-pasos-tutorial-introductorio/>
- Ggdmets. (23 de Junio de 2018). *6061-T6*. Obtenido de Ggdmets:
<https://www.ggdmets.com.br/es/produto/6061-t6/>
- Huafei. (23 de Octubre de 2020). *Guía del cortador de plasma CNC [Fotografía]*. Obtenido de OUKA: <https://www.thebestcnc.com/es/2020/10/23/solucion-de-problemas-comunes-de-la-cortadora-de-plasma-cnc/>
- Hulleter, T. (24 de MARZO de 2022). *X-Carve De inventables [Fotografía]*. Obtenido de ALL3DP:
<https://all3dp.com/es/2/router-cnc-para-madera-tallado-madera-maquinas/>
- IIRSACERO. (15 de Noviembre de 2015). *Aluminio 6061-T6*. Obtenido de IIRSACERO:
<https://iirsacero.com.mx/aluminio-6061-t6/#>

Ingenieria Mecafenix. (2017 de Abril de 2017). *Motor paso a paso¿ Qué es y como funciona?*

Obtenido de Ingenieria Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/motores-electronicos/motor-paso-a-paso/>

Ingenieria Mecafenix. (26 de Mayo de 2021). *Qué es un final de carrera y para que sirve.*

Obtenido de Ingenieria Mecafenix:

<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/final-de-carrera/>

Ingenieria Systems. (31 de Marzo de 2013). *Partes de una fuente de alimentación* . Obtenido

de Ingenieria Systems: <https://www.ingenieriasystems.com/2013/03/partes-de-la-fuente-de-alimentacion.html>

Inshop. (09 de Junio de 2015). *HY-DIV268N-5A*. Obtenido de Inshop:

<https://cnc.inshop.cz/inshop/files/DIV268N/HY-DIV268N-5A.pdf>

Inter2000. (16 de Junio de 2020). *Cómo funciona una máquina CNC*. Obtenido de Inter2000:

<https://www.inter2000mecanizados.com/post/como-funciona-una-maquina-cnc>

Kefren. (14 de Octubre de 2020). *Aleación de Aluminio 6063-T5*. Obtenido de Kefren:

<https://grupokefren.com/materiales/metales/aleacion-de-aluminio-6063/>

Llamas, L. (24 de Agosto de 2016). *Motores paso a paso con Arduino y driver A4988 y*

DRV8825. Obtenido de Luis Llamas: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>

LozuryTech. (13 de Junio de 2017). *Tornillo sin fin 8mm*. Obtenido de LozuryTech:

<https://www.lozurytech.com/product-page/tornillo-sin-fin-8mm-x-500mm>

Medianvilla, E., & Pinos, J. (2022). *Diseño y construcción de una mesa de control numérico computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono para la empresa Metal Imperial*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/35302>

- MyH. (28 de Diciembre de 2015). *Introducción a la tecnología CNC*. Obtenido de De Máquinas y Herramientas: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc>
- Newflanged Solutions. (25 de Junio de 2013). *Mach3*. Obtenido de Newflanged Solutions: <https://www.machsupport.com/shop/mach3/>
- Novatronic. (11 de Octubre de 2021). *Nema 17 motor paso a paso*. Obtenido de Novatronic: <https://novatronicec.com/index.php/product/motor-paso-nema17-5v-0-8a-18-200pasos-2-4kg-cm/>
- Novatronic. (27 de Agosto de 2022). *Nema 23 57HD6013-03 paso a paso*. Obtenido de Novatronic: <https://novatronicec.com/index.php/product/nema23-57hd6013-03-motor-paso-a-paso/>
- Orgone. (30 de Julio de 2016). *Tornillo sin fin* . Obtenido de Orgontec.com: <https://www.orgontec.com/product-page/tornillo-sin-fin-husillo-8mm-x-30cm-4h>
- OrientalMotor. (27 de Junio de 2018). *Motor Sizing Calculations*. Obtenido de OrientalMotor: <https://www.orientalmotor.com/technology/motor-sizing-calculations.html>
- Peng, A. (19 de Mayo de 2021). *Diferencia entre Fresado CNC Y Taladrado CNC [Fotografía]*. Obtenido de DEK: <https://www.dekmake.com/es/diferencia-entre-fresado-cnc-y-taladrado-cnc/>
- Peng, A. (24 de Diciembre de 2021). *Fresado CNC Vs Torneado CNC [Fotografía]*. Obtenido de DEK: <https://www.dekmake.com/es/fresado-cnc-vs-torneado-cnc-que-es-adecuado-para-m%C3%AD/>
- Perez, G. (22 de Abril de 2015). *Tutorial Arduino [Fotografía]*. Obtenido de OpenWebinars: <https://openwebinars.net/blog/tutorial-arduino-entradas-analogicas-y-digitales/>
- PerfilesCNC. (01 de Abril de 2019). *Perfil de Aluminio tipo V 20x60*. Obtenido de PerfilesCNC: <https://perfilescnc.com/?product=perfil-de-aluminio-tipo-v-20x60-1-metro-riel-lineal>

PerfilesCNC. (01 de Mayo de 2019). *Set C6 - carro perfil C universal*. Obtenido de PerfilesCNC:

<https://perfilesnc.com/?product=set-c6-carro-perfil-c-universal-ruedas>

QBPROFE. (24 de Julio de 2021). *Interruptores de posicion finales de carrera [Fotografia]*.

Obtenido de QBPROFE: <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/interruptores-de-posicion-finales-de-carrera/>

Rafi . (13 de Enero de 2022). *Parada de emergencia* . Obtenido de Rafi: [https://www.rafi-](https://www.rafi-group.com/es/parada-de-emergencia/)

[group.com/es/parada-de-emergencia/](https://www.rafi-group.com/es/parada-de-emergencia/)

Resinex. (26 de Abril de 2013). *PA Poliamida*. Obtenido de Resinex:

<https://www.resinex.es/tipos-de-polimeros/pa.html>

Robaq. (01 de Octubre de 2010). *Control Numerico Computarizado [Imagen]*. Obtenido de

Robaq: <http://robaq.blogspot.com/2010/10/control-numerico-computarizado.html>

SafetyCulture. (03 de Abril de 2023). *Factor de seguridad*. Obtenido de SafetyCulture:

<https://safetyculture.com/es/temas/factor-de-seguridad/>

Sandvik. (05 de Noviembre de 2013). *Formulas y definiciones de mandrinado*. Obtenido de

Coromant: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/boring-formulas-definitions>

Seabrook. (08 de Octubre de 2022). *¿Qué tipos de motores se utilizan en las máquinas CNC?*

Obtenido de SeaBrookeWindows: <https://www.seabrookewindows.com/03WN1V1Mo/>

Smith, G. M. (09 de Marzo de 2020). *¿Qué es un sensor y que hace?* Obtenido de Dewesoft:

<https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>

SolidServicios. (30 de Julio de 2018). *¿Qué es una máquina CNC?* Obtenido de SolidServicios:

<https://solidservicios.com/blog/que-es-una-maquina-cnc-y-sus-ventajas-con-solidcam/>

Tecnociencia Peru. (12 de Julio de 2020). *Software de Control Mach 3 para CNC*. Obtenido de

Tecnociencia Peru: <https://www.tecnocienciaperu.com/electronica/software-de-control-mach3-para-cnc-detalles-de-la-aplicacion/>

- Tecnocorte. (12 de Abril de 2021). *Velocidad de corte y avance en fresadora CNC*. Obtenido de Tecnocorte: <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calcular-velocidad-de-corte-y-de-avance/>
- Teknika4. (19 de Noviembre de 2018). *Aluminio6063*. Obtenido de Teknika4: <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>
- Torres, G. (01 de Febrero de 2023). *Conoce el funcionamiento de los servomotores*. Obtenido de Urany : <https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=Un%20servomotor%20es%20un%20actuador,un%20motor%20normal%20no%20tiene.>
- Txapuzas. (25 de Agosto de 2017). *Txapu-CNC: Hardware*. Obtenido de Pinterest: <https://www.pinterest.es/pin/478507529152276507/>
- Vancura, B. (10 de Enero de 2021). *Mach 3 USB Motion Card Installation Manual [Fotografia]*. Obtenido de StudyLib: <https://studylib.net/doc/25734527/bitsensor-cnc-cardbsmceo4u-install-manual-converted-wjv-2.2>
- Vazbros. (27 de Julio de 2015). *Aluminio 6061-T6 [Fotografia]*. Obtenido de Vazbros: <https://www.vazbros.com/materiales/aluminio-6061-t6-aisi-astm/>
- Viotto, N. (09 de Marzo de 2022). *Fresadora y Torno CNC [Fotografia]*. Obtenido de Weerg: <https://www.weerg.com/es/guias/fresadora-cnc-vs-torno-cnc-diferencias>
- Vistronica. (08 de Agosto de 2010). *Controladora CNC Mach 3 USB 4ejes 100Khz*. Obtenido de Vistronica: <https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/controladora-cnc-mach-3-usb-4-ejes-100-khz-detail.html>
- Vtops. (06 de Noviembre de 2021). *Diferencias entre motores a pasos y servomotores*. Obtenido de Vtops: <https://www.vtops.com/es/differences-between-servo-motors-and-stepper-motors/>
- Xukyo. (14 de Febrero de 2023). *Uso de un Arduino CNC Shield V3 [Fotografia]*. Obtenido de AranaCorp: <https://www.aranacorp.com/es/uso-de-un-arduino-cnc-shield-v3/>

Anexos