



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA
CORTE Y GRABADO LÁSER POR CONTROL NUMÉRICO”**

Autores:

Bermúdez Morán Bryan

Iza Lucio Darwin Lenin

Director del proyecto de Investigación:

Ing. Daniel Roberto Zapata Hidalgo, Msc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador.

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Bryan Stalin Bermúdez Morán** y **Darwin Lenin Iza Lucio** declaramos que la investigación aquí descrita es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se concretó la investigación a través de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. 

Bermúdez Morán Bryan Stalin
C.C. # 1205524935

f. 

Iza Lucio Darwin Lenin
C.C.# 2300382997



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. DANIEL ROBERTO ZAPATA HIDALGO**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante, **BERMÚDEZ MORÁN BRYAN STALIN**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO LÁSER POR CONTROL NUMÉRICO”**, previo a la obtención del título de **INGENIERO MECÁNICO**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Daniel Roberto Zapata Hidalgo

C.I.: 171842946-5

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. DANIEL ROBERTO ZAPATA HIDALGO**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante, **IZA LUCIO DARWIN LENIN**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO LÁSER POR CONTROL NUMÉRICO**”, previo a la obtención del título de **INGENIERO MECÁNICO**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Daniel Roberto Zapata Hidalgo

C.I.: 171842946-5

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente me permito certificar, que el Sr. Bermúdez Morán Bryan Stalin e Iza Lucio Darwin Lenin, estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO LÁSER POR CONTROL NUMÉRICO**”; tengo a bien certificar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 3%. Se adjunta imagen del sistema **Urkund**.



Document Information

Analyzed document	TESIS FINAL MÁQUINA CNC R2.docx (D144456581)
Submitted	2022-09-20 17:00:00
Submitted by	
Submitter email	bryan.bermudez2016@uteq.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	dzapatah.uteq@analysis.orkund.com

Ing. Daniel Roberto Zapata Hidalgo, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Diseño y construcción de un prototipo de máquina para corte y grabado láser por control numérico”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Rodger Salazar Loor

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jorge Acosta Manosalvas

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Yusimit Zamora Hernández

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por ser quienes me han guiado dentro de mi preparación profesional, ya que con los esfuerzos de ellos se ha logrado cada objetivo personal y de la manera más encarecida a mi madre por ser el ejemplo de la perseverancia absoluta.

A mi hermano por ser el apoyo motivacional y el fiel merecedor de la palabra “orgullo”. A mi prima, Edita Arbeláez y tía Nelly Morán que conocen de la bondad y la acción de obrar con caridad.

A esos amigos que están presente en los momentos de mayor desespero, donde solo debes enfrentar el problema y tomar acción para luego relajarse con la recompensa esperando la puesta del sol.

A ese estimado amigo, compañero de ideas novedosas y con muchos proyectos en mente.

A mi compañero de investigación Darwin Iza quien con trabajo en conjunto se realizó este trabajo de investigación.

A mi tutor de tesis, el Ing. Daniel Zapata que bajo su supervisión se logró destacar en la elaboración del proyecto de investigación.

Bermúdez Morán Bryan Stalin

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a uno de los pilares fundamentales de mi familia Maritza Idalia, quien ha sido ejemplo y apoyo incondicional durante toda la vida.

A mi abuelo Segundo Alonso por ser una persona que me ha enseñado que nada es mejor que la perseverancia y el arduo trabajo.

A mi papá Darwin Iza P. y a hermanos por enseñarme a no rendirme en mis objetivos y siempre demostrar que uno es capaz en todo lo que se proponga.

A mi compañero de investigación Bryan Morán y al Equipo “5.5” quienes me han acompañado en los momentos que más lo necesité durante el proceso de desarrollo profesional en la carrera universitaria

A los docentes de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por haberse esforzado en haber impartido sus valores, apoyo y conocimientos con pasión y dedicación durante la carrera profesional.

Darwin Lenin Iza Lucio.

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación va dedicado a mis padres Marianita Del Carmen Morán y Jorge Luis Bermúdez quienes con su apoyo se logró culminar otra etapa.

A mi hermano y amigos por incentivarne a no rendirme, y mantenerse con firmeza para salir adelante.

Bermúdez Morán Bryan Stalin

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación va dedicado a toda mi familia que me manifestaron apoyo y motivación para lograr esta gran meta.

A mis compañeros de clase de la carrera de Ingeniería Mecánica, por darme una mano en los momentos difíciles.

Darwin Lenin Iza Lucio.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se enfocó en el análisis del proceso de pirograbado, tratándose de una técnica artesanal para realizar bocetos, esquemas de grabados en superficies de madera, etc. Por otra parte, la investigación se localizó en el cantón de Buena Fe, donde se recopiló información a nivel de localidad con la finalidad de establecer requisitos técnicos, como la arquitectura mecánica que conforma los sistemas de accionamiento, estructura, componentes mecánicos y a su vez, la arquitectura eléctrica que presenta sistema de conexiones y comunicación. Donde se llevó un control de la metodología del desarrollo que definen los requisitos de usuario a través de encuesta, estableciendo los requisitos del sistema y de su arquitectura. En cuanto al proceso de diseño, este desarrolló el análisis de ejes con diámetros de 10 mm y 8 mm, selección de motores NEMA 17 con torque máximo de 0,4 Nm, selección de rodamientos, selección de husillo y tuercas. Por tanto, cumplieron con los requerimientos de diseño establecidos en referencias bibliográficas y documentación. Posteriormente se realizó la construcción del prototipo de dimensiones generales de 750 x 535 mm, que consta con componentes elaborados mediante manufactura aditiva 3D, también se caracterizó por su potencia láser de 15 W con una fuente de alimentación de 110 a 220 V con la finalidad de manipular la placa Arduino Uno. Finalmente se desarrolló el protocolo de pruebas que consistió en ejecutar funciones principales del equipo de grabado o corte, por consiguiente, se establecen condiciones de operatividad para cada uno de los materiales ensayados (plywood, MDF, cartón, balsa, cartón paja), por lo cual en cada ensayo se pueden encontrar variaciones de velocidades, potencia, calidad de imagen, limitaciones del equipo, cuyos resultados denotan parámetros de funcionamiento a velocidades mínimas de $20 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ para realizar cortes y a $900 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ como velocidad máxima para realizar grabados.

Palabras claves: Grabado y corte láser, Control CNC, Arduino Uno, GRBL, Código G

ABSTRACT

This project focused on the analysis of the pyrography process, which is an artisanal technique for making sketches, engraving diagrams on wood surfaces, etc. On the other hand, the research was in the canton of Buena Fe, where information was collected at the locality level to establish technical requirements, such as the mechanical architecture that makes up the drive systems, structure, mechanical components and in turn, the electrical architecture that presents the connection and communication system. Where a control of the development methodology was carried out, defining the user requirements through a survey, establishing the requirements of the system and its architecture. As for the design process, it developed the analysis of shafts with diameters of 10 mm and 8 mm, selection of NEMA 17 motors with maximum torque of 0.4 Nm, selection of bearings, selection of spindle and nuts. Therefore, they complied with the design requirements established in bibliographic references and documentation. Subsequently, the construction of the prototype of general dimensions of 750 x 535 mm was carried out, which consists of components made by 3D additive manufacturing, it was also characterized by its laser power of 15 W with a power supply of 110 to 220 V to manipulate the Arduino Uno board. Finally, the test protocol was developed, which consisted of executing the main functions of the engraving or cutting equipment, therefore, operating conditions are established for each of the materials tested (plywood, MDF, cardboard, balsa, cardboard straw), so that in each test variations of speeds, power, image quality, equipment limitations can be found, whose results denote operating parameters at minimum speeds of $20 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ for cutting and $900 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ as maximum speed for engraving.

Keywords: Laser engraving and cutting, CNC Control, Arduino Uno, GRBL, G Code

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
RESUMEN EJECUTIVO	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xii
CÓDIGO DUBLÍN	xxvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Problematización de la investigación.	3
1.1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.1.2. Diagnóstico.	4
1.1.3. Pronóstico.	4
1.1.4. Formulación del problema.....	5
1.1.5. Sistematización del problema.	5
1.2. Objetivos.	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Justificación.....	7
CAPÍTULO II.....	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8

2.1. Historia del pirograbado.	9
2.1.1. Origen.	9
2.1.2. Concepto del pirograbado.	9
2.1.3. Aplicaciones del pirograbado.	10
2.2. Máquina grabadora de láser TTL.	10
2.3. Componentes de una máquina de grabado láser TTL.	11
2.3.1. Componentes estructurales del sistema.	11
2.3.2. Componentes electrónicos.	15
2.4. Interpretación de códigos en GRBL.	28
2.4.1. Grbl.	28
2.4.2. Código G.	28
CAPÍTULO III	30
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1. Localización.	31
3.1.1. Ubicación geográfica.	31
3.2. Tipo de investigación.	32
3.2.1. Investigación bibliográfica.	32
3.2.2. Investigación aplicada.	32
3.3. Métodos de investigación.	33
3.3.1. Método inductivo.	33
3.4. Fuentes de recopilación de datos.	34
3.4.1. Fuentes primarias.	34
3.4.2. Fuentes secundarias.	34
3.5. Diseño de la investigación.	35
3.6. Instrumentos de investigación.	35
3.7. Tratamientos de los datos.	36
3.7.1. Análisis de datos.	36

3.8. Recursos humanos y materiales.	41
3.8.1. Recursos humanos.....	41
3.8.2. Recursos materiales.....	42
CAPÍTULO IV	43
METODOLOGÍA DEL DESARROLLO	43
4.1. Aplicación de la metodología.....	44
4.2. Modelo de cascada en V.	44
4.3. Etapa de planificación.....	45
4.3.1. Sintetizar información de la máquina.....	46
4.3.2. Evaluar la percepción de la propuesta del equipo.....	47
4.3.3. Requisitos generales del usuario.	47
4.4. Requisitos del sistema.....	48
4.5. Requisitos en la arquitectura.	48
4.6. Estimación de costos del equipo.....	49
4.7. Diseño detallado.	53
4.7.1. Subproceso de arquitectura mecánica.	53
4.7.2. Subproceso de programación.....	53
4.7.3. Subproceso de arquitectura electrónica.	57
4.8. Diagrama de conexión eléctrica.	62
CAPÍTULO V.....	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
5.1. Resultados.	64
5.1.1. Selección de motores.....	90
5.1.2. Selección de tuercas y husillos.	101
5.1.3. Selección de rodamiento.....	114
5.1.4. Instalación y calificación.	134
5.1.5. Elaboración de elementos impresos.	134

5.1.6. Análisis de costos.....	142
5.1.7. Pruebas del sistema.	146
5.2. Discusión.....	154
5.2.1. Pruebas de grabado.....	154
5.2.2. Pruebas de corte.	157
CAPÍTULO VI	160
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
6.1. Conclusiones.	161
6.2. Recomendaciones.	162
CAPÍTULO VII.....	163
BIBLIOGRAFÍA	163
7. Bibliografía.....	164
CAPÍTULO VIII.....	170
ANEXOS.....	170

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Técnica de pirograbado.	10
Ilustración 2. Máquina cortadora de Diodo láser.	10
Ilustración 3. Perfil de aluminio V-Slot 20 x 20.	11
Ilustración 4. Barra de acero cromada	12
Ilustración 5. Husillo trapezoidal.	13
Ilustración 6. Acople flexible.....	13
Ilustración 7. Rodamiento lineal	14
Ilustración 8. Rodamiento rígido de bolas	14
Ilustración 9. Tuerca de bronce.	15
Ilustración 10. Placa Arduino Uno R3	16
Ilustración 11. Placa CNC Shield V3.	19
Ilustración 12. Driver A4988	20
Ilustración 13. Driver DRV8825.....	22
Ilustración 14. Controlador láser.....	23
Ilustración 15. Diodo láser.....	24
Ilustración 16. Motor paso a paso Nema.	25
Ilustración 17. Fuente de poder conmutada S-120-12.....	26
Ilustración 18. Enchufe macho de 250 V CA con enchufe tipo V balancín.	28
Ilustración 19. Interruptor de 3 pines	28
Ilustración 20. Localización.....	31
Ilustración 21. Esquema de aplicación de la investigación bibliográfica.....	32
Ilustración 22. Esquema de aplicación de la investigación aplicada.....	32
Ilustración 23. Método inductivo aplicado al proyecto de investigación.	34
Ilustración 24. Número de encuestados.....	36
Ilustración 25. Resultado de la primera pregunta del cuestionario.	36
Ilustración 26. Resultado de la segunda pregunta del cuestionario.....	37
Ilustración 27. Resultado de la tercera pregunta del cuestionario.....	37
Ilustración 28. Resultado de la cuarta pregunta del cuestionario.....	38
Ilustración 29. Resultado de la quinta pregunta del cuestionario.....	38
Ilustración 30. Resultado de la sexta pregunta del cuestionario.	39
Ilustración 31. Resultado de la séptima pregunta del cuestionario.	39
Ilustración 32. Resultado de la octava pregunta del cuestionario.	40

Ilustración 33. Resultado de la novena pregunta del cuestionario.	40
Ilustración 34. Resultado de la décima pregunta del cuestionario.	41
Ilustración 35. Ciclo de vida en “V”	45
Ilustración 36. Esquema de la etapa de planificación.....	46
Ilustración 37. Esquematación del proceso de funcionamiento de la máquina CNC.....	47
Ilustración 38. Ensamble de la estructura de la máquina CNC.....	49
Ilustración 39. Esquema de la estructura inferior de la máquina CNC.	50
Ilustración 40. Área de desplazamiento del módulo láser.	51
Ilustración 41. Esquema de proceso de diseño detallado.	53
Ilustración 42. Archivos de descarga.....	54
Ilustración 43. Ventana de acceso.	54
Ilustración 44. Carpeta Arduino.....	55
Ilustración 45. Interfaz de software Arduino.	55
Ilustración 46. Reconocimiento del puerto de conexión.	56
Ilustración 47. Compilación de la información.....	56
Ilustración 48. Ensamble de la placa Arduino y CNC Shield V3.....	57
Ilustración 49. Ensamble de los Driver A4988.....	57
Ilustración 50. Conexión de los motores Nema 17.	58
Ilustración 51. Conexión entre el módulo láser y el driver.....	58
Ilustración 52. Conexión de señal TTL y placa CNC Shield V3.	59
Ilustración 53. Conexión de voltaje del controlador hacia la fuente de alimentación.....	59
Ilustración 54. Conexión de voltaje placa CNC Shield y fuente de alimentación.	60
Ilustración 55. Configuración del plug de conexión.	60
Ilustración 56. Conexión entre el plug y la fuente de alimentación.....	61
Ilustración 57. Vista inferior de la máquina CNC.....	64
Ilustración 58. Esquemas de fuerzas normales actuando en las uniones de los soportes...65	65
Ilustración 59. Ubicación de la carga de la tabla de trabajo.	66
Ilustración 60. Simetría del área de la carga aplicada.	66
Ilustración 61. Dimensiones de la tabla de trabajo.....	67
Ilustración 62. Carga del material del trabajo.	67
Ilustración 63. Fuerzas normales que actúan en los ejes guías.	68
Ilustración 64. Reacciones en los extremos de los ejes.	69
Ilustración 65. Diagrama de cuerpo libre del eje "Y" de la máquina CNC.	72
Ilustración 66. Diagramas de fuerza cortante y momento flector del eje “Y”.....	74

Ilustración 67. Sección transversal del eje.....	75
Ilustración 68. Diagrama de deflexión.	77
Ilustración 69. Esfuerzo máximo.	78
Ilustración 70. Plano de esfuerzos.....	79
Ilustración 71. Estructura del carro de desplazamiento del eje "X"	80
Ilustración 72. Diagrama de cuerpo libre del eje "X" de la máquina CNC.	83
Ilustración 73. Diagrama de fuerza cortante y momento flector.....	85
Ilustración 74. Diagrama de deflexión.	87
Ilustración 75. Esfuerzo máximo.	88
Ilustración 76. Plano de esfuerzos.....	88
Ilustración 77. Esquema teórico del sistema de accionamiento del eje "Y".....	90
Ilustración 78. Esquema teórico del sistema de accionamiento del eje "X".....	97
Ilustración 79. Motor NEMA 17.....	101
Ilustración 80. Configuraciones de restricción del husillo.	106
Ilustración 81. Carga axial crítica vs longitud libre	107
Ilustración 82. Punto crítico del husillo Tr8x1,5.....	109
Ilustración 83. Longitud libre del eje "X".....	109
Ilustración 84. Carga crítica del husillo de la mesa y láser.....	110
Ilustración 85. Configuración de restricción del modelo seleccionado.....	110
Ilustración 86. Número de vueltas crítico.....	112
Ilustración 87. Rodamiento de bolas de acero inoxidable.	114
Ilustración 88. Datos técnicos de rodamiento rígido de bolas.	114
Ilustración 89. Diagrama del husillo del eje "X" y eje "Y".....	116
Ilustración 90. Factores de cálculos para rodamientos rígidos de bolas.....	119
Ilustración 91. Factores de cálculo "X" y "Y"	125
Ilustración 92. Modelo SC8UU y SC10UU.....	128
Ilustración 93. Modelos de rodamientos lineales de bolas.	128
Ilustración 94. Factor de temperatura (ft).....	129
Ilustración 95. Factor de dureza (f_H)	130
Ilustración 96. Número de reciprocidades.	132
Ilustración 97. Longitud de carrera de eje "Y"	132
Ilustración 98. Longitud de carrera de eje "X"	133
Ilustración 99. Soporte lateral.	135
Ilustración 100. Ajuste de parámetros de calidad.	137

Ilustración 101. Prueba de sujeción del eje guía.....	137
Ilustración 102. Prueba de las uniones pernadas a la placa.....	138
Ilustración 103. Ajuste de parámetros de temperaturas.....	138
Ilustración 104. Porcentaje de la densidad de mallado.....	139
Ilustración 105. Impresión 3D de la placa soporte de la máquina CNC.....	140
Ilustración 106. Elementos utilizados en la máquina CNC.....	140
Ilustración 107. Subensamble de la parte inferior de la máquina CNC.....	141
Ilustración 108. Ensamble general de la máquina CNC.....	141
Ilustración 109. Electrónica de la máquina CNC.....	142
Ilustración 110. Comparación entre equipos comerciales y equipo elaborado.....	145
Ilustración 111. Configuración del área de trabajo.....	146
Ilustración 112. Interfaz de Light Burn.....	147
Ilustración 113. Ajustes de máquina.....	148
Ilustración 114. Valor S máximo de potencia láser.....	149
Ilustración 115. Ajustes del dispositivo controlador.....	149
Ilustración 116. Vista previa del simulador.....	150
Ilustración 117. Ajuste de unidades.....	150
Ilustración 118. Plantilla de prueba 1.....	151
Ilustración 119. Plantilla de prueba 2.....	151
Ilustración 120. Plantilla de prueba 3.....	152
Ilustración 121. Ajuste de imagen.....	152
Ilustración 122. Plantilla de prueba de corte 1.....	153
Ilustración 123. Plantilla de prueba de corte 2.....	153
Ilustración 124. Resultado prueba 1 plywood-grabado.....	154
Ilustración 125. Resultado prueba 2 plywood-grabado.....	154
Ilustración 126. Resultado prueba 3 plywood-grabado.....	155
Ilustración 127. Resultado prueba 4 plywood-grabado.....	155
Ilustración 128. Resultado prueba 1 MDF-grabado.....	156
Ilustración 129. Resultado prueba 2 MDF-grabado.....	156
Ilustración 130. Resultado prueba 3 MDF-grabado.....	156
Ilustración 131. Resultado prueba 4 MDF-grabado.....	157
Ilustración 132. Cartón 1,5 mm prueba 1.....	157
Ilustración 133. Balsa 1mm prueba 2.....	158
Ilustración 134. Cartón 2mm prueba 3.....	158

Ilustración 135. Cartón paja 3mm prueba 4..... 159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas del perfil V-Slot 20x20.	12
Tabla 2. Especificaciones técnicas de placa Arduino.	17
Tabla 3. Tabla de micro pasos	21
Tabla 4. Características del Driver A4988.	21
Tabla 5. Características del Driver DRV8825.....	22
Tabla 6. Especificaciones técnicas de controlador láser	23
Tabla 7. Especificaciones técnicas de láser de 15W.....	24
Tabla 8. Especificaciones del motor paso a paso.....	25
Tabla 9. Especificaciones técnicas de fuente de poder S-120-12.	27
Tabla 10. Tipos de códigos G.	29
Tabla 11. Datos del área del proyecto.	31
Tabla 12. Recursos humanos.	42
Tabla 13. Recursos materiales.	42
Tabla 14. Estimación de costos de la estructura de la máquina CNC.....	51
Tabla 15. Estimación de costos de la electrónica de la máquina CNC.	52
Tabla 16. Valores de masas respectivas.	65
Tabla 17. Masas de los elementos acoplados en las uniones de la mesa de trabajo.	69
Tabla 18. Distancias respectivas de las cargas distribuidas.	70
Tabla 19. Propiedades del Acero 46 Cr 13.....	75
Tabla 20. Masas de los elementos acoplados en las uniones del láser.....	81
Tabla 21. Distancias respectivas de las cargas distribuidas.	81
Tabla 22. Componentes por desplazar de la mesa	91
Tabla 23. Valores de los torques requeridos en los sistemas de accionamiento.....	100
Tabla 24. Especificaciones del motor NEMA 17.	101
Tabla 25. Coeficientes de seguridad respecto a las fuerzas de inercia.....	104
Tabla 26. Distancias respectivas en el husillo eje "Y"	116
Tabla 27. Resumen de resultados de la reacción ejercida en el rodamiento W637/8-2Z.	117
Tabla 28. Distancias respectivas en el husillo eje "X"	123
Tabla 29. Resumen de resultado de la reacción ejercida en el rodamiento W618/8	124
Tabla 30. Factor de contacto (fc).	130
Tabla 31. Factor de carga (fw).....	131
Tabla 32. Propiedades mecánicas del PLA.	135
Tabla 33. Propiedades físicas del PLA.....	135

Tabla 34. Estimación de costos estructurales.	143
Tabla 35. Estimación de costos electrónicos	143
Tabla 36. Estimación de costos adicionales.	144
Tabla 37. Detalle de costos generados en el desarrollo de la máquina.	144
Tabla 38. Resultados de las pruebas de corte.	159
Tabla 39. Condiciones opcionales para realizar cortes.	159

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. (1). Área de mesa de trabajo.....	50
Ec. (2). Carga de la mesa de trabajo	65
Ec. (3). Carga del material de trabajo	67
Ec. (4). Carga distribuída del rodamiento	70
Ec. (5). Carga distribuída de la placa soporte.....	70
Ec. (6). Carga distribuida del eje “Y”	71
Ec. (7). Carga puntual del rodamiento	73
Ec. (8). Carga puntual de la placa soporte.....	73
Ec. (9). Carga puntual del eje	73
Ec. (10). Sección requerida	75
Ec. (11). Diámetro mínimo requerido.....	76
Ec. (12). Sección circular de selección	76
Ec. (13). Momento de inercia	77
Ec. (14). Esfuerzo máximo	78
Ec. (15). Esfuerzo normal 1.....	79
Ec. (16). Esfuerzo normal 2.....	79
Ec. (17). Esfuerzo de Von Mises	80
Ec. (18). Factor de seguridad.....	80
Ec. (19). Carga distribuida del carro de desplazamiento “X”	82
Ec. (20). Carga distribuida del eje “X”	82
Ec. (21). Carga ejercida de la mesa	91
Ec. (22). Fuerza de fricción	92
Ec. (23). Pulsos totales	92
Ec. (24). Tiempo de aceleración o desaceleración.....	93
Ec. (25). Perfil trapezoidal	93
Ec. (26). Inercia de la carga	94
Ec. (27). Inercia del tornillo	95
Ec. (28). Inercia del motor más inercia de la carga	95
Ec. (29). Torque de aceleración.....	95
Ec. (30). Torque de resistencia	96
Ec. (31). Torque total	96
Ec. (32). Corrección de torque de aceleración al eje “Y”	96

Ec. (33). Peso equivalente con relación a la masa del láser	97
Ec. (34). Presión superficial de contacto.....	102
Ec. (35). Fuerza axial del eje “Y”	102
Ec. (36). Velocidad de deslizamiento	103
Ec. (37). Velocidad de traslación.....	103
Ec. (38). Producto entre presión de de contacto y velocidad de deslizamiento	104
Ec. (39). Limitación de carga	111
Ec. (40). Número de vueltas máximo	112
Ec. (41). Potencia requerida de accionamiento	113
Ec. (42). Diámetro medio del rodamiento.....	114
Ec. (43). Carga mínima	115
Ec. (44). Carga distribuida del husillo del eje “Y”	116
Ec. (45). Carga puntual del husillo del eje “Y”	116
Ec. (46). Sumatoria de momentos del eje “Y”	117
Ec. (47). Sumatoria de fuerzas del eje “Y”	117
Ec. (48). Precarga mediante muelle	118
Ec. (49). Carga estática equivalente.....	118
Ec. (50). Factor de límite.....	118
Ec. (51). Relación de carga	119
Ec. (52). Vida nominal básica del rodamiento de bolas.....	120
Ec. (53). Condición de lubricación	121
Ec. (54). Factor de contaminación.....	121
Ec. (55). Vida nominal SKF.....	122
Ec. (56). Factor de seguridad estática	122
Ec. (57). Carga distribuida del husillo del eje “X”	123
Ec. (58). Producto de factor de cálculo y relación de carga.....	125
Ec. (59). Vida nominal de rodamiento lineal	129
Ec. (60). Tiempo de vida útil del rodamiento lineal	131

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Masa de la mesa de trabajo.	171
Anexo 2. Masa del material de trabajo.	171
Anexo 3. Masa de placa soporte.....	171
Anexo 4. Masa del eje guía 8 mm.	172
Anexo 5. Masa del eje guía 10 mm.	172
Anexo 6. Propiedades físicas y mecánicas del Acero 46Cr13.	173
Anexo 7. Momento de inercia del eje guía 8 mm.....	173
Anexo 8. Masa de la placa soporte de rodamientos lineales.....	174
Anexo 9. Masa de la placa soporte módulo láser.	174
Anexo 10. Masa de placa soporte del husillo.....	174
Anexo 11. Momento de inercia del eje guía 10 mm.....	175
Anexo 12. Coeficiente de fricción de tuerca.	175
Anexo 13. Datos técnicos de husillos trapezoidales.....	175
Anexo 14. Tuerca trapezoidal tipo FEU.	176
Anexo 15. Condiciones de deslizamiento para bronce.	176
Anexo 16. Coeficiente de precisión de montaje.....	177
Anexo 17. Masa del husillo del eje "Y".....	177
Anexo 18. Masa del husillo del eje "X".....	177
Anexo 19. Cálculo de la viscosidad nominal V1.	178
Anexo 20. Diagrama de la temperatura de viscosidad.....	178
Anexo 21. Valores de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas.	179
Anexo 22. Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448.....	179
Anexo 23. Valores orientativos para el factor n_c para distintos tipos de contaminación. .	180
Anexo 24. Factor a_{SKF} para los rodamientos radiales de bolas.	180
Anexo 25. Grabado del sello de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.....	181
Anexo 26. Máquina de corte y grabado láser.....	181
Anexo 27. Máquina de corte y grabado láser.....	182

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Diseño y construcción de un prototipo de máquina para corte y grabado láser por control numérico.				
Autor:	<u>Bermúdez Morán Bryan Stalin, Iza Lucio Darwin Lenin</u>				
Palabras claves:	Grabado y corte láser	Control CNC	Arduino Uno	GRBL	Código G
Fecha de publicación:	Diciembre 2022				
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2021-2022				
Resumen:	<p>El presente proyecto se enfocó en el análisis del proceso de pirograbado, tratándose de una técnica artesanal para realizar bocetos, esquemas de grabados en superficies de madera, etc. Por otra parte, la investigación se localizó en el cantón de Buena Fe, donde se recopiló información a nivel de localidad con la finalidad de establecer requisitos técnicos, como la arquitectura mecánica que conforma los sistemas de accionamiento, estructura, componentes mecánicos y a su vez, la arquitectura eléctrica que presenta sistema de conexiones y comunicación. Donde se llevó un control de la metodología del desarrollo que definen los requisitos de usuario a través de encuesta, estableciendo los requisitos del sistema y de su arquitectura. En cuanto al proceso de diseño, este desarrolló el análisis de ejes con diámetros de 10 mm y 8 mm, selección de motores NEMA 17 con torque máximo de 0,4 Nm, selección de rodamientos, selección de husillo y tuercas. Por tanto, cumplieron con los requerimientos de diseño establecidos en referencias bibliográficas y documentación. Posteriormente se realizó la construcción del prototipo de dimensiones generales de 750 x 535 mm, que consta con componentes elaborados mediante manufactura aditiva 3D, también se caracterizó por su potencia láser de 15 W con una fuente de alimentación de 110 a 220 V con la finalidad de manipular la placa Arduino Uno. Finalmente se desarrolló el protocolo de pruebas que consistió en ejecutar funciones principales del equipo de grabado o corte, por consiguiente, se establecen condiciones de operatividad para cada uno de los materiales ensayados (plywood, MDF, cartón, balsa, cartón paja), por lo cual en cada ensayo se pueden encontrar variaciones de velocidades, potencia, calidad de imagen, limitaciones del equipo, cuyos resultados denotan parámetros de funcionamiento a velocidades mínimas de $20 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ para realizar cortes y a $900 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ como velocidad máxima para realizar grabados.</p> <p>This project focused on the analysis of the pyrography process, which is an artisanal technique for making sketches, engraving diagrams on wood surfaces, etc. On the other hand, the research was in the canton of Buena Fe, where information was collected at the locality level to establish technical requirements, such as the mechanical architecture that makes up the drive systems, structure, mechanical components and in turn, the electrical architecture that presents the connection and communication system. Where a control of the development methodology was carried out, defining the user requirements through a survey, establishing the requirements of the system and its architecture. As for the design process, it developed the analysis of shafts with diameters of 10 mm and 8 mm, selection of NEMA 17 motors with maximum torque of 0.4 Nm, selection of bearings, selection of spindle and nuts. Therefore, they complied with the design requirements established in bibliographic references and documentation. Subsequently, the construction of the prototype of general dimensions of 750 x 535 mm was carried out, which consists of components made by 3D additive manufacturing, it was also characterized by its laser power of 15 W with a power supply of 110 to 220 V to manipulate the Arduino Uno board. Finally, the test protocol was developed, which consisted of executing the main functions of the engraving or cutting equipment, therefore, operating conditions are established for each of the materials tested (plywood, MDF, cardboard, balsa, cardboard straw), so that in each test variations of speeds, power, image quality, equipment limitations can be found, whose results denote operating parameters at minimum speeds of $20 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ for cutting and $900 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ as maximum speed for engraving.</p>				
Descripción	224 hojas: Dimensiones 29 x 21 cm + CD-ROM 6162				
URI					

INTRODUCCIÓN

El pirograbado es una técnica artesanal en la que consiste en realizar bocetos sobre la superficie, cuyo material puede ser madera, cuero, plástico, entre otros. Este tipo de proceso utiliza una herramienta conocida como pirograbador, la cual funciona mediante un suministro de electricidad para generar calor en la punta del equipo logrando quemar la superficie del material.

El proyecto pretende dar soluciones a las necesidades generadas en el ámbito comercial de los procesos de pirograbado, los cuales han quedado obsoletos en cuanto al avance tecnológico. Es por ello, que en la actualidad se busca la mejora continua de los procesos por medio de la automatización de máquinas a través del control numérico, el cual es una solución práctica ya que beneficia la calidad y cantidad de los productos obtenidos. De tal forma, la automatización mediante una máquina asistida por control numérico es una solución altamente viable, la cual permite una producción en serie de los productos.

Este tipo de equipos desempeñan sus tareas a través de una interfaz de software que le permite controlarse de manera automatizada, por medio de la interacción que tiene a través de un ordenador lo que permite ejecutar su función de forma sistemática con los componentes que le conforman, por lo tanto, se logra obtener un resultado.

La precisión de este proceso es una de las características específicas que puede presentar el equipo, es decir que, aunque tenga una carga de trabajo en serie, no se ve afectada, ya que depende directamente de los parámetros definidos a través de su interfaz y configuración para el trabajo continuo. Es por ello, que puede desempeñar sus funciones con la finalidad de obtener diversidad de productos que se puedan comercializar, a su vez, la materia prima que se utilice, e incluso las técnicas a las que recurra el equipo, ya sea, grabado o corte.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problematización de la investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

El proceso de pirograbado es considerado una artesanía que requiere de la destreza del operador, por lo cual, la técnica cumple un papel fundamental para la obtención de trabajos de calidad. De tal manera, este tipo de proceso se ve perjudicado de forma directa a través de los errores del operador, en donde la poca precisión puede generar pérdidas económicas, pérdidas de materia prima, e incluso retrasar el tiempo de producción y entrega del producto final.

Así mismo, la producción en serie es uno de los grandes inconvenientes, debido a que el tiempo que se requiere para elaborar estos diseños es prolongado, además de la sobrecarga de trabajo sobre el operador, quien debe cumplir con un límite de tiempo de entrega, por lo cual, la calidad de cada diseño es afectada.

El bajo componente tecnológico de los instrumentos para técnicas de pirograbado artesanal no permite una producción de calidad, ya que depende directamente de la técnica manual del operador, a su vez, se realizan cambios de agujas de diferentes tipos y grosores que se encargan de dar forma a los detalles del diseño, en el que pueden variar las tonalidades según la firmeza con la que se trabaja mediante el pirógrafo.

En términos generales, al no llevarse a cabo un proceso automatizado mediante un equipo que desempeña su función de manera asistida, la producción en serie se ve afectada al considerar un tiempo mayor para su elaboración, por lo tanto, se obtiene una menor calidad.

1.1.2. Diagnóstico.

La máquina cortadora láser minimiza el tiempo de trabajo a comparación del pirograbador. A su vez, la producción y calidad son factores que destacan en este equipo de acuerdo con la configuración de corte o grabado que se le disponga. Por otra parte, el pirograbador debe presentar experiencia en su labor por lo que debe evitar errores, ya que si se presentan es irremediable el hecho de corregirlos. Por este motivo es conveniente la implementación de la cortadora láser porque no necesita un boceto y tendría mayor precisión en las tonalidades al momento de grabar y cortar en el material.

1.1.3. Pronóstico.

El pirograbado por ser un arte artesanal requiere de mucha experiencia para dominar las técnicas de artesanos tradicionales, de tal forma está siendo obsoleto para las generaciones presentes. A su vez, la demanda en el mercado laboral es cada vez menor debido a su elevado tiempo de creación y competencia de distintas empresas que constan con la tecnología para realizar este mismo tipo de trabajo.

1.1.4. Formulación del problema.

¿Cómo se puede optimizar el proceso de pirograbado para una mayor producción?

1.1.5. Sistematización del problema.

¿Cómo beneficia la automatización de procesos de corte y grabado por medio de control numérico en la elaboración de un producto personalizado?

¿Cómo aumenta la calidad y productividad de un producto de pirograbado mediante la implementación de automatización por control numérico?

¿Cuáles son las diferencias de acabado entre un producto realizado mediante un proceso de automatización y manual?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

- ❖ Construir un prototipo de máquina para corte y grabado láser por control numérico.

1.2.2. Objetivos específicos.

- ❖ Diseñar los componentes mecánicos de la máquina CNC.
- ❖ Seleccionar los componentes electromecánicos de la máquina CNC.
- ❖ Desarrollar la programación de interconexión entre la máquina CNC y PC por medio de software.
- ❖ Realizar un análisis de costos de los componentes del equipo.
- ❖ Ejecutar un protocolo de pruebas de la máquina de corte y grabado.

1.3. Justificación.

El desarrollo del prototipo de máquina para corte y grabado por control numérico permite desarrollar funciones de grabado de manera automatizada, de esta forma se reducirá costos y tiempos de producción, e incluso disminución de pérdidas de materia prima. Para ello, su desempeño permite obtener un trabajo de calidad mediante la precisión del módulo láser en conjunto con los componentes que conforman su sistema.

La máquina CNC de corte por láser permite realizar la producción en serie a través de un sistema integrado que lleva a cabo las acciones de sus componentes para trabajar de forma simultánea con facilidad, a su vez, realiza diseños de mayor complejidad y de mayor tamaño. Por otra parte, la producción del prototipo de manera nacional beneficia al usuario, dado que los elementos utilizados son de fácil adquisición, lo cual mejoran los tiempos que involucren mantenimiento y la gestión de compra para repuestos.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Historia del pirograbado.

2.1.1. Origen.

El origen de la pirografía es realmente antiguo. Sus inicios tuvieron lugar en China, durante el período de la dinastía Han Occidental, época en la cual las manifestaciones artísticas eran sumamente apreciadas. Años después en el período de la dinastía del Este, la técnica tuvo notables cambios que permitieron su desarrollo e incrementó la actividad. A pesar de que la pirografía existía aún le faltaba aumentar su popularidad [1].

Después de un tiempo, un pintor famoso conocido como “Zhao Xingsan”, aumentó la popularidad de la pirografía mediante la utilización de esta técnica para crear arte. Este acontecimiento dio paso a un avance en relación con el pirograbado, ya que poco tiempo después se crearon escuelas donde se impartían instrucciones referentes a este estilo artístico [1].

Esta técnica fue realizada en pueblos egipcios e incluso por algunas tribus africanas. Sin embargo, la pirografía es considerada como una de las técnicas artísticas más antiguas en las que se utilizaba el fuego en vez de pinturas [1].

2.1.2. Concepto del pirograbado.

El pirograbado es una forma de arte tradicional de las culturas de todo el mundo. El cual, consiste en utilizar herramientas metálicas calentadas para grabar diseños en superficies de madera. De tal forma, los objetos más comunes decorados con diseños pirograbados son tazas, cuencos, cofres y muebles. Las maderas de color claro, como el haya, el abedul, el sicomoro y el tilo, se han utilizado habitualmente en esta forma de arte, siendo el pino y el roble otras alternativas deseables [2].

El pirograbado es un término utilizado desde hace bastante tiempo para describir esta forma de arte. Proviene del griego y se traduce literalmente como "escribir con fuego". El término pirograbado comenzó a utilizarse a principios del siglo XX [2].

2.1.3. Aplicaciones del pirograbado.

Las técnicas actuales del pirograbado no sólo trabajan la madera, sino que otros materiales como corcho, cuero, papel, lo cual permite ser grabados con la misma facilidad y excelentes resultados. Algunos artistas y artesanos hábiles, mediante pirograbadores electrónicos de temperatura regulable, trabajan incluso algunos tipos de plásticos, como el poliestireno expandido con sorprendentes resultados. Aunque con el pirógrafo se suelen realizar grabados con motivos lineales, los modelos electrónicos facilitan el grabado de bajo relieves en madera y muchos artistas lo utilizan para realizar sombreados y facciones en las tallas de madera [3].

Ilustración 1. Técnica de pirograbado.



FUENTE: HERRAMIENTAS PARA TODO,2021 [4].

2.2. Máquina grabadora de láser TTL.

El diodo láser es un dispositivo de poca complejidad, dado que no requiere de demasiada corriente para llevar a cabo su funcionamiento a comparación de otros emisores de luz, son de fácil acceso e incluso económicos [5].

Ilustración 2. Máquina cortadora de Diodo láser.



FUENTE: CORTADORA LÁSER, 2020 [6].

Se muestran algunas de sus ventajas [7]:

- ❖ Tiene un tiempo de vida extenso.
- ❖ Posee precios accesibles para su construcción.
- ❖ Puede ser transportado sin mucho esfuerzo.
- ❖ No consume demasiada energía.

Se muestran algunas de sus desventajas:

- ❖ Los láseres Diodo tienen una potencia baja debido a las bandas de energía que está ocupada por los electrones.
- ❖ Tiene una alta sensibilidad a los cambios de temperatura.
- ❖ La luz del láser no se dispersa con la distancia.
- ❖ Se calienta a altas temperaturas cuando pasa corriente sobre el material diodo.

2.3. Componentes de una máquina de grabado láser TTL.

2.3.1. Componentes estructurales del sistema.

2.3.1.1. Perfil de aluminio V-Slot 20x20.

Este perfil proporciona una pista ultrasuave para su desplazamiento en la construcción de la maquinaria CNC, creación de prototipos, almacenamiento, estaciones de trabajo, etc. Combina el movimiento lineal y el sistema modular [8].

Ilustración 3. Perfil de aluminio V-Slot 20 x 20.



FUENTE: CIMECH 3D, 2022 [9].

Las características técnicas del perfil V-Slot 20x20 son:

Tabla 1. Características técnicas del perfil V-Slot 20x20.

Especificaciones Técnicas	
Material	Aluminio 6063-T5
Momento de inercia IX	0.8 cm ⁴
Momento de inercia IY	0.8 cm ⁴
Momento de resistencia WX	0.8 cm ³
Momento de resistencia WY	0.8 cm ³
Masa	0.5 kg/m
Área	1.82 0.8 cm ²
Dimensiones	2x2x100 cm

FUENTE: VISTRÓNICA, 2022 [8].

2.3.1.2. Ejes cromados.

Estas barras son de superficie dura de cromo, confiere resistencia al desgaste y a la corrosión con una mejor tolerancia a la abrasión reduciendo la fricción y durabilidad con una buena retención de aceite [10].

El templado del eje está basado en la norma AISI 316, 304 o entre otras que permite conferir protección a la superficie contra golpes debido a un alto contenido de carbón, capaz de soportar una presión alta, continua y directa [11].

Ilustración 4. Barra de acero cromada



FUENTE: HDHHYDRAULIC, 2022 [12].

2.3.1.3. Husillo trapezoidal.

Los husillos trapezoidales poseen un proceso de laminado por lo que son resistentes al desgaste, rozamiento, corrosión y fabricado según la norma DIN 103 [13].

Ilustración 5. Husillo trapezoidal.



FUENTE: AMAZON, 2022 [14].

2.3.1.4. Acople flexible de 8 mm.

Los acoples flexibles permiten transmitir movimiento rotacional de un motor hacia un eje, son utilizados en sistemas de impresoras 3D, fajas transportadoras, máquinas de CNC, etc. Están hechos de aluminio por lo que permite ser maleable en la alineación y ser utilizados para transferir torque [15].

Ilustración 6. Acople flexible



FUENTE: TECMIKRO, 2022 [16].

Ventajas:

- ❖ Corrigen desalineaciones.
- ❖ Generan mejor agarre hacia los ejes.
- ❖ Posee mayor agarre hacia los ejes al presionarlos al motor.

2.3.1.5. Rodamiento Lineal.

Los rodamientos lineales tienen distintas formas y longitudes de acuerdo con su aplicación, pueden ser abiertos o cerrados, con o sin auto alineación. Son utilizados en una gran variedad de industrias como unidades de manutención o en mecánica general, etc. [17].

Ilustración 7. Rodamiento lineal



FUENTE: LA ELECTRÓNICA, 2022 [18].

Ventajas [11]:

- ❖ Los rodamientos lineales son de alta calidad por haber sido sometidos a test de funcionamiento.
- ❖ La seguridad de los rodamientos está garantizada por decenas de años.
- ❖ Se los puede utilizar en condiciones de ambientes agresivos por contaminación.

2.3.1.6. Rodamiento de bolas.

Este tipo de rodamiento es de uso más común por poseer una baja fricción e incluso optimizados para no ejercer grandes cantidades de ruido y vibraciones. El rodamiento rígido de bolas puede manejar cargas radiales y axiales utilizados en variedad de aplicaciones como a velocidades altas y una baja pérdida de potencia [19].

Ilustración 8. Rodamiento rígido de bolas



FUENTE: SKF, 2022 [20]

Características del rodamiento [19]:

- ❖ En el rodamiento rígido de bolas hay una gran variedad de jaulas de polímero, latón o acero.
- ❖ Los rodamientos tienen una vida hasta de un 80% al poseer un acero limpio.
- ❖ Poseen sellos para protección a la contaminación del medio ambiente.
- ❖ Opera de forma silenciosa y de manera suave o a altas velocidades.

2.3.1.7. Tuerca deslizante de bronce.

La tuerca trapezoidal DCM es adecuada para transmisiones de movimiento en operación continua, e incluso suelen ser utilizadas como tuerca de seguridad con combinaciones en husillos inoxidables y resistentes [21].

Ilustración 9. Tuerca de bronce.



FUENTE: TECNOPOWER, 2022 [22].

Características [23]:

- ❖ Se pueden utilizar en husillos inoxidables en movimientos continuos.
- ❖ Tienen buena resistencia al desgaste.
- ❖ Son usados para transmisiones que tengan operación continua.
- ❖ Pueden ser utilizadas como tuerca de seguridad.

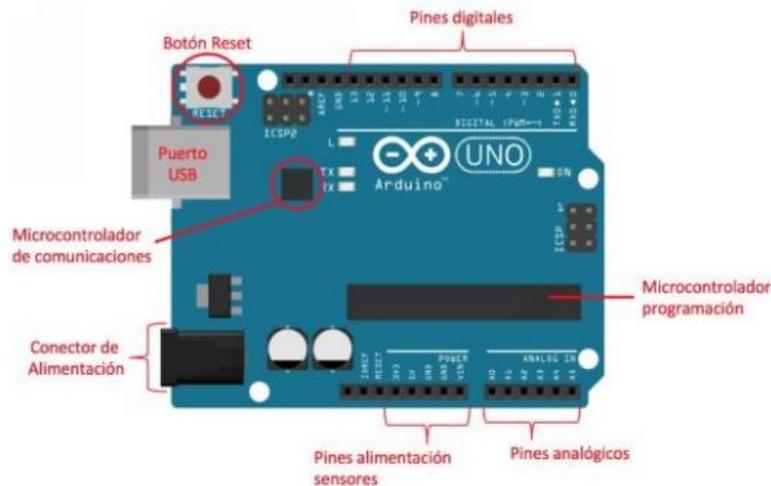
2.3.2. Componentes electrónicos.

2.3.2.1. Controlador Arduino Uno R3 ATMEGA.

El Arduino es un código abierto basado en hardware y softwares fáciles y flexibles de usar para la construcción de circuitos de prototipos electrónicos, la placa puede ser ensamblada

de forma manual llevando un microcontrolador para la programación del software necesaria y así darle vida a la placa [24].

Ilustración 10. Placa Arduino Uno R3



FUENTE: BOLAÑOS, 2022 [24].

Ventajas [24]:

- ❖ La placa Arduino tiene un costo accesible.
- ❖ Es de fácil programación.
- ❖ Permite realizar proyectos complejos al poseer un software libre.
- ❖ Posee un hardware abierto y extensible permitiendo ser mejorado.
- ❖ Es capaz de usarse en sistemas operativos como Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.

2.3.2.1.1. Piezas de la placa Arduino.

Pines digitales: Los 14 pines digitales que pueden ser usados como entrada y salida, realizan las conexiones digitales de los dispositivos. La consideración de estos pines es de 0 a 13 [24].

La señal digital tiene solo dos estados, los cuales son [24]:

- ❖ 0 (Bajo, false): Este tiene 0 V de tensión que son enviados desde la placa.
- ❖ 1 (Alto, true): Este indica que tiene 5 V de tensión enviados desde la placa.

Pines analógicos: Estos pines pueden medir, leer e interpretar los dos estados de 0 y 1 que vendrían a ser los valores de voltaje mencionados anteriormente.

Pines alimentación sensores: Estos pines permiten alimentar los componentes externos con un valor de 5 V y 3.3 V.

Microcontrolador de comunicaciones: Este se encarga de gestionar las comunicaciones con todo lo que está conectado a la placa.

Microcontrolador de programación: Este componente viene a ser el cerebro, almacena el programa que tiene que ejecutar y el que lo ejecuta.

Botón reinicio: El botón reset no sirve para borrar sino para reiniciar el programa que se ha cargado en el microcontrolador, interrumpiendo su ejecución actual.

Puerto USB: Es aquel que se conecta con la placa del Arduino, sus principales funciones son:

- ❖ Alimentación
- ❖ Cargar los programas en el microcontrolador
- ❖ Enviar información desde la placa al ordenador

Conector de alimentación: Al poseer un puerto de alimentación externo podrá permitir funcionar la placa sin la necesidad de un ordenador. La placa Arduino Uno necesita una fuente de alimentación recomendada de 7 y 12 V, ya que el conector de alimentación del cable USB no suele ser suficiente [24].

En la Tabla 2 se pueden observar las especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO:

Tabla 2. Especificaciones técnicas de placa Arduino.

Especificaciones Técnicas	
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 V a 12 V

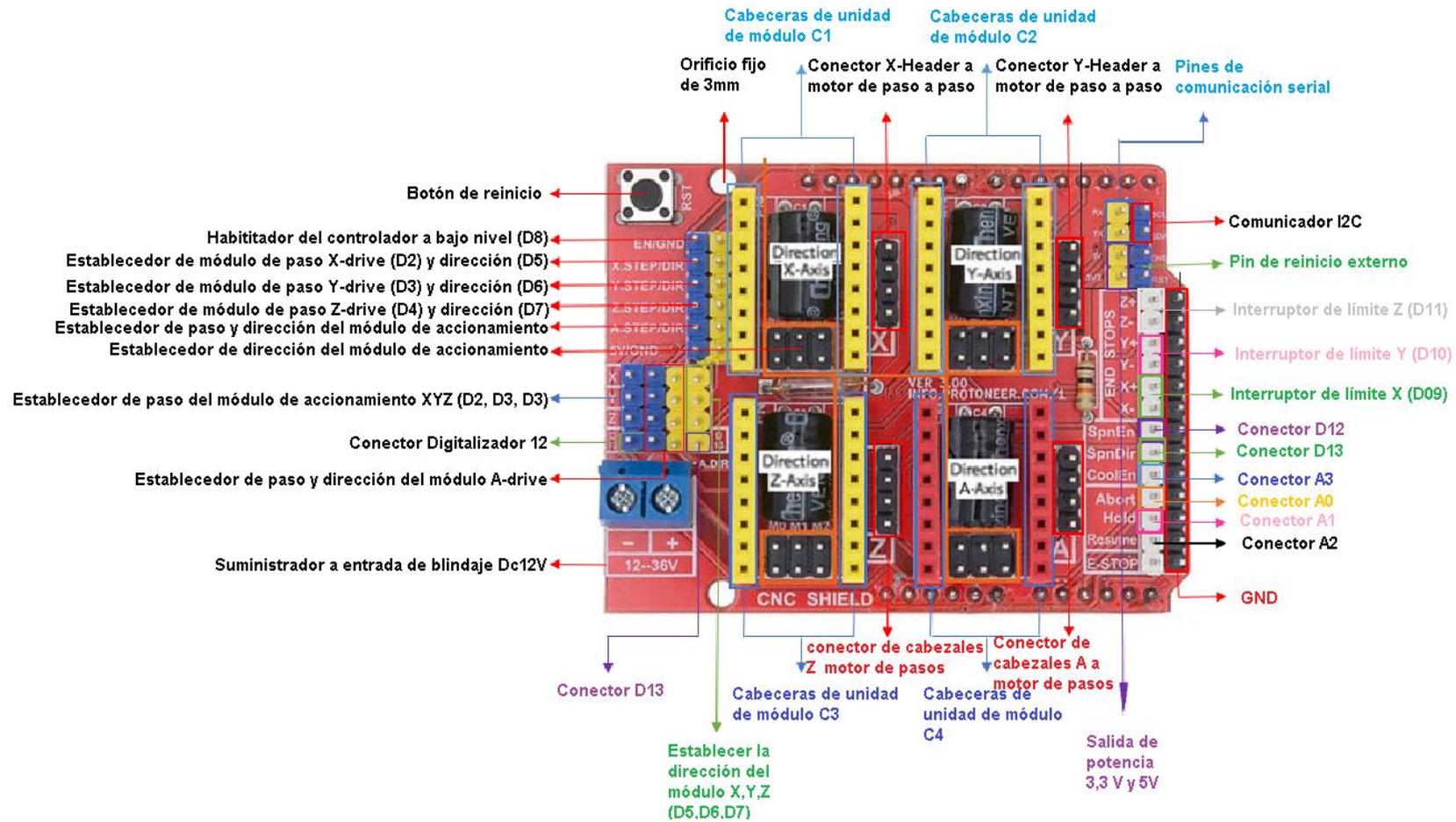
Voltaje de entrada (límite)	6 V a 20 V
Pines de E/S digitales PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente CC por pin de E/S	20 mA
Corriente CC clavija de 3,3 V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (Atmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
Led construido	13
Longitud	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 g

FUENTE: STORE USA ARDUINO, 2021 [25].

2.3.2.2. Placa de control CNC SHIELD V3.

Es adecuado para el uso de automatización de equipos medianos tales como: máquina de marcado, grabado y corte. La placa CNC Shield es compatible con Arduino Uno y drivers como el controlador paso a paso DRV8825 y el A4988 [26].

Ilustración 11. Placa CNC Shield V3.



FUENTE: ALIEXPRESS, 2022 [27].

Las características de la CNC Shield son [28]:

- ❖ Utiliza controladores paso a paso como el A4988 o DRV8825.
- ❖ Tiene puentes para configurar el paso a paso de los controladores como el DRV8825, puede hacer hasta 1/32 micro pasos.
- ❖ Los motores paso a paso se pueden conectar con motores molex de 4 pines.
- ❖ Funciona con 12-36 V DC. (se puede manejar hasta 6 V para los controladores DRV8825).
- ❖ Soporte de 4 ejes (X, Y, Z). El cuarto eje se lo puede realizar por medio del firmware personalizado con pines D12 y D14).
- ❖ Son de código abierto por lo que se ejecuta en Arduino UNO para convertirlos en códigos G y señales paso a paso.

2.3.2.3. Driver motor a pasos A4988 y DRV8825.

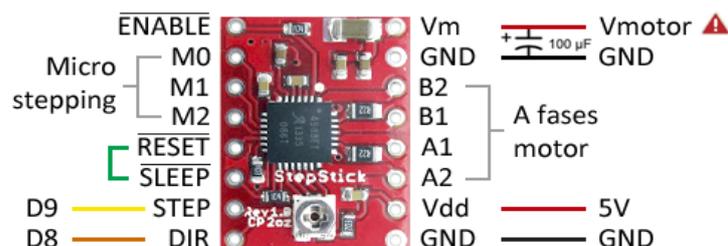
El A4988 y DRV8825 vienen a ser controladores de altos voltajes e intensidades, protegiendo a la vez la parte electrónica, estos drivers se los utilizan para indicar el sentido de giro y cuánto quiere que sea el avance de paso en los motores [29].

Cuando alcanzan intensidades superiores de 1 A en el Driver A4988 y 1,5 A en el DRV8825 pueden llegar a altas temperaturas durante su funcionamiento por lo que es necesario un disipador de calor y así evitar daños [29].

2.3.2.3.1. Driver A4988.

El controlador A4988 ha alcanzado mayor popularidad para proyectos como en los de impresoras 3D caseras, máquinas CNC, escáneres 3D, etc. Pensado solo para trabajos de motores bipolares [29].

Ilustración 12. Driver A4988



FUENTE: LUIS LLAMAS, 2016 [29].

Los componentes del Driver A4998 son [30]:

- ❖ **Enable:** Esta entrada activa o desactiva los puentes en H.
- ❖ **Micro stepping:** Los micro pasos vienen a ser el M0, M1 y M2 denominados como tamaños de pasos. Estos permiten gestionar los micro pasos que va a proporcionar el controlador al micromotor con pasos inferiores al paso nominal variando la corriente aplicada a cada bobina del motor.

Tabla 3. Tabla de micro pasos

Especificaciones Técnicas			
MS1	MS2	MS3	Resolución de micro pasos
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso
Bajo	Alto	Bajo	Cuarto de paso
Alto	Alto	Bajo	Un octavo de paso
Alto	Alto	Alto	Un sexto de paso

FUENTE: DIARIO ELECTRÓNICO HOY, 2020 [31].

- ❖ **Reset:** Reinicio del dispositivo desactivando todas las salidas del puente en H.
- ❖ **Sleep:** Desactiva la parte interna del regulador de corriente, transistores de salidas del puente en H y bomba de carga.
- ❖ **Step:** Especificación de tamaño de pasos en grados ($1,8^\circ$ siendo igual a 200 pasos/rev). Permite resoluciones altas de acuerdo con la ubicación de los pasos.
- ❖ **DIR:** Indica la dirección del motor.
- ❖ **Vm (Vmotor) y GND:** Entrada de tensión que se va a aplicar el motor entre 8 V a 35 V.
- ❖ **Vdd y GND:** Alimentación del controlador de 5 V.

Las características del Driver A4988 son:

Tabla 4. Características del Driver A4988.

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de operación	8 V a 35 V
Corriente máxima	2 A

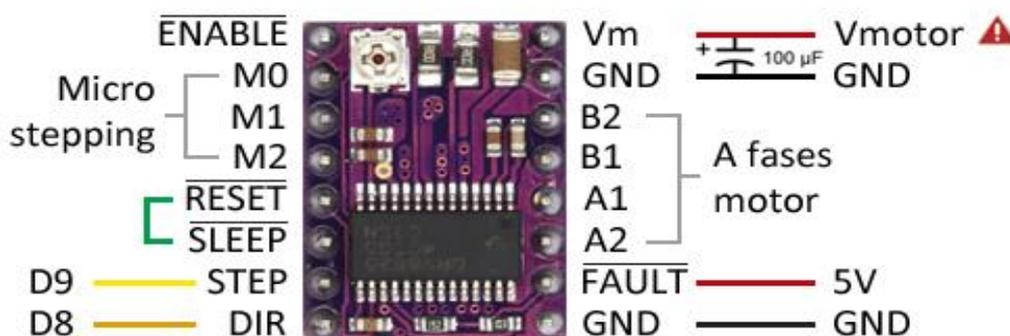
Capacidad	Micro-stepping
Tipo de interfaz	Interfaz simple de 2 pines con microcontrolador Pines STEP y DIRECTION
Tipo de resolución	Paso completo, 1/2 de paso, 1/4 de paso, 1/8 de paso y 1/16 de paso
Tipo de control de corriente	Corriente ajustable por potenciómetro en el módulo
Protección por	Sobre temperatura, bajo voltaje, etc.

FUENTE: GEEK FACTORY, 2022 [32].

2.3.2.3.2. Driver DRV8825.

Este controlador es una versión mejorada del A4988, trabaja en tensiones superiores (45 V frente a 35 V), e intensidades superiores (2,5 A frente a 2 A) con un nuevo micro-stepping (1/32), siendo ligeramente superior al primer Driver [29].

Ilustración 13. Driver DRV8825



FUENTE: LUIS LLAMAS, 2016 [29].

Las características del Driver DRV8825 son:

Tabla 5. Características del Driver DRV8825

Especificaciones Técnicas	
Voltaje	8,2 V a 45 V
Voltaje de operación máxima	45 V
Corriente continua por bobina	1,5 A
Máxima corriente por bobina	2,2 A
Voltaje mínimo para lógica	2,5 V

Voltaje máximo para lógica	5,25 V
Capacidad	Micro-Stepping
Tipo de resolución	Paso completo, 1/2 paso, 1/4 de paso, 1/8 de paso, 1/16 de paso y 1/32 de paso
Tipo de interfaz	Interfaz simple de 2 pines con microcontrolador Pines STEP y DIRECTION

FUENTE: GEEK FACTORY, 2022 [33].

2.3.2.4. Driver módulo para grabado láser 12V.

El módulo para grabado láser se representa en la Ilustración 14.

Ilustración 14. Controlador láser



FUENTE: ALIEXPRESS, 2022 [34].

Las partes del controlador láser son:

- ❖ **TTL:** Puerto de conexión hacia la placa CNC Shield del final de carrera Z-.
- ❖ **FAN:** Puerto de conexión a los cables del ventilador.
- ❖ **LD:** Puerto de conexión a los cables del láser.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de controlador láser

Especificaciones Técnicas	
Señal de entrada	PWM/TTL
Voltaje de entrada	12 V CC
Consumo de corriente máxima	3 A

FUENTE: QUERCUSMEDICAL, 2022 [35].

2.3.2.5. Láser TTL.

El diodo láser es el uso más generalizado para grabar y cortar materiales, posee un diodo led de gran potencia en donde hay una gran concentración de calor para poder realizar un corte o grabado sobre una superficie [6].

Ilustración 15. Diodo láser.



FUENTE: ALIEXPRESS, 2022 [36].

Algunas de las características técnicas que presenta el láser son:

Tabla 7. Especificaciones técnicas de láser de 15W.

Especificaciones Técnicas	
Potencia láser Máx.	3 W-5 W
Longitud de onda	445-450 nm
Haz de luz	Punto de luz
Voltaje de trabajo	DC 12 V
Modulación TTL y PWM	Compatibilidad con TTL y PWM
Voltaje de entrada	DC12 V (+, -, PWM/TTL) +DC5 V (PWM/TTL, -)

FUENTE: UCSG, 2019 [37].

2.3.2.6. Motor Nema 17.

El motor paso a paso tiene un ángulo de 1.8° de paso que son equivalentes a 200 pasos por vueltas, ampliamente usado en equipos caseros por ser ligeramente potente con un bobinado de 1.2 A a 4 V con la capacidad de cargar hasta 3.4 kg/cm [38].

Ilustración 16. Motor paso a paso Nema.



FUENTE: ENEKA, 2014 [39].

Las especificaciones del motor paso a paso son [38]:

Tabla 8. Especificaciones del motor paso a paso

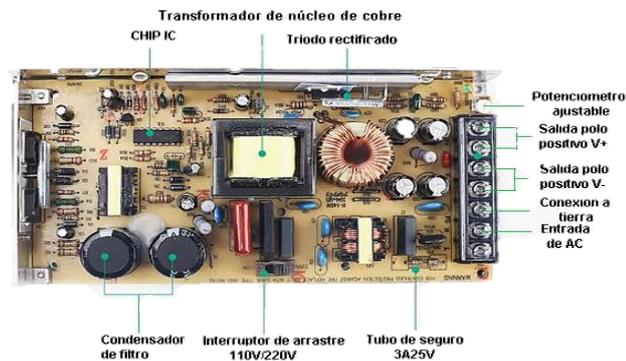
Especificaciones Técnicas	
Motor	Nema 17
Tamaño	42.3x48mm, sin incluir el eje
Peso	350 g
Diámetro del eje	5 mm “D”
Longitud del eje	25 mm
Pasos por vuelta	200 (1,8°/paso)
Corriente	1,2 A
Tensión	4V
Resistencia	3,3 Ohm por bobina
Torque	3,2 kg/cm
Inductancia	2,8 mh por bobina

FUENTE: BRICOGEEK, 2016 [38].

2.3.2.7. Fuente de poder conmutada modelo S-120-12 de 12VDC.

La fuente de poder conmutada es una fuente de alimentación de corriente de salida única de 10 A, llegando a ser extremadamente confiable permitiendo 12 V CD. Puede ser alimentada a 100-120 V CA siendo ideal para la alimentación de máquinas, aparatos de iluminación, tiras led, etc. Posee una protección contra cortocircuito, sobrecarga y protección contra sobretensiones [40].

Ilustración 17. Fuente de poder conmutada S-120-12



FUENTE: ALIBABA, 2022 [41].

Componentes de la fuente de poder S-120-12 [42]:

- ❖ **(L), (N):** Terminales de entrada de corriente alterna.
- ❖ **(PE):** Terminal de tierra de protección.
- ❖ **(V-), (V+):** Terminales de entrada y salida de corriente continua.
- ❖ **(V. ADJ):** El potenciómetro permite ajustar la tensión de salida.

Características [43]:

- ❖ Rango de entrada AC selección por interruptor.
- ❖ Protecciones de corto circuito y sobre carga.
- ❖ Enfriado mediante ventilación por aire convencional.
- ❖ Indicador LED para encendido.
- ❖ Frecuencia de conmutación de 27 KHz.

Las especificaciones técnicas de la fuente conmutativa son:

Tabla 9. Especificaciones técnicas de fuente de poder S-120-12.

Especificaciones Técnicas	
Salida del Voltaje	12 V
Eficiencia	80,5%
Rango ajustable para voltaje DC	10,6 V a 13,2 V
Corriente de entrada	2,64 A - 115V; 1,2 A - 230 A
Rango de corriente de salida	0 A a 10 A
Masa	0,75 kg
Configuración del tiempo de espera de subida	100 ms, 50 ms, 20 ms
Vibración	10-500Hz, 2G 10 min, /1 ciclo, período de 60 min, cada eje
Corriente de fuga	<1 mA - 240 V AC

FUENTE: MICROJPM, 2021 [44].

A continuación, se mencionan las instrucciones de selección [45]:

- ❖ **Voltaje de entrada:** El voltaje de entrada tiene: 110 V CA, 220 V CA, debe ser consistente con el voltaje de suministro.
- ❖ **Voltaje de salida:** El voltaje de salida tiene: 3,5 V, 5 V, 7,5 V, 12 V, 15 V, 24 V, 36 V, 48 V. (Dentro del rango de 3,0 V-110 V), debe de coincidir con el voltaje nominal de carga.
- ❖ **Corriente de salida:** Confirmada por la corriente o el valor de corriente promedio medido por el multímetro. Si se trata de una temperatura de ambiente alta, flujo de aire deficiente, carga inductiva, agregar 20 al 30% de balance de corriente.
- ❖ **Potencia de salida:** Decidida por la potencia nominal de carga. Si no se conoce la potencia, puede calcularse mediante la corriente y el voltaje nominales de la carga ($\text{Corriente} \times \text{Voltaje} = \text{Potencia}$), la potencia de la fuente de alimentación conmutada debe ser entre un 15 y un 30% mayor que la potencia real utilizada y la potencia máxima.
- ❖ **Grupo de CC de salida:** Tiene cuatro grupos de los cuales son: S-grupo único, T-tres grupos, Q-cuatro grupos, decidido por la carga.

2.3.2.8. Enchufe macho AC de 250 V.

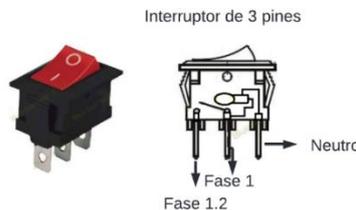
Ilustración 18. Enchufe macho de 250 V CA con enchufe tipo V balancín.



FUENTE: JOOM, 2022 [46].

2.3.2.9. Interruptor basculante 3 en 1.

Ilustración 19. Interruptor de 3 pines



FUENTE: ALIEXPRESS, 2022 [47].

2.4. Interpretación de códigos en GRBL.

2.4.1. Grbl.

Viene a ser un software de alto rendimiento que permite controlar el movimiento de los motores paso a paso, láser y husillos, por medio del código G son adaptados en las máquinas CNC [48].

2.4.2. Código G.

Es el lenguaje más utilizado de descripción y programación de acción para máquinas CNC. Almacena en formato de texto en donde se puede leer y cambiar la información con un editor de texto plano [28].

Es un lenguaje de programación lineal tipo G de generales y M de misceláneas con estandarización promovido por medio de la ISO [49].

Tabla 10. Tipos de códigos G.

G-CODE	
G00	Avance lineal del cortador a velocidad alta, para posición sin aplicar corte
G01	Avance circular del cortador en el sentido de las manecillas del reloj
G02	Avance circular del cortador en sentido de las manecillas del reloj
G03	Avance circular del cortador en sentido opuesto a las manecillas de reloj
G04	Pausa, junto con una X y el tiempo deseado expresado en segundos. Ejemplo: G04X4
G17	Selección del plano XY
G18	Selección del plano ZX
G19	Selección del plano YZ
G20	Ingreso de valores en pulgadas
G21	Ingreso de valores en mm
G28	Regreso al punto cero
G40	Cancelación de compensación radial del cortador
G41	Compensación a la izquierda del cortador

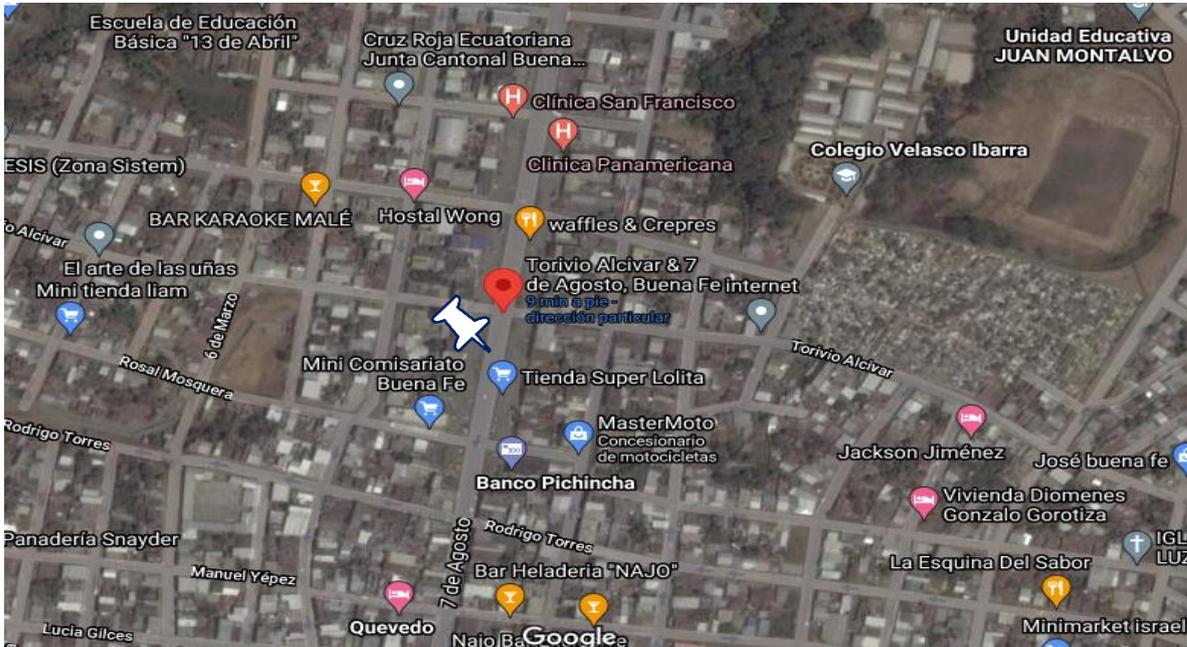
FUENTE: SLIDESHARE, 2015 [50].

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

La localización del proyecto se encuentra dentro de las limitaciones de la ciudad de Buena Fe en la parroquia. “San Jacinto de Buena Fe”, provincia de Los Ríos.

Ilustración 20. Localización.



FUENTE: GOOGLE MAPS

3.1.1. Ubicación geográfica.

La ubicación geográfica se encuentra en la parroquia. “San Jacinto de Buena Fe”. De acuerdo con las especificaciones de localidad y coordenadas que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos del área del proyecto.

Localización del área del proyecto	
Provincia	Los Ríos
Cantón	Buena Fe
Parroquia	San Jacinto de Buena Fe
Coordenadas	-0.892399, -79.489576

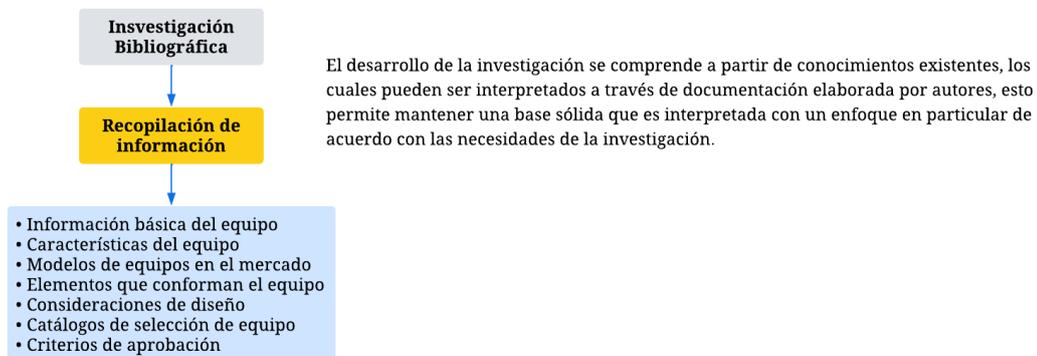
ELABORADO: AUTORES

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Investigación bibliográfica.

El desarrollo de la investigación bibliográfica se llevó a cabo mediante la búsqueda, recopilación, organización y validación de información de acuerdo con las fuentes bibliográficas. De tal forma que se orienta a la resolución de información estructurada, lo que permite conocer los principios de funcionalidad del equipo, características de componentes, selección de equipo, por ende, el desarrollo investigativo se le categoriza como una fuente de gran utilidad.

Ilustración 21. Esquema de aplicación de la investigación bibliográfica.

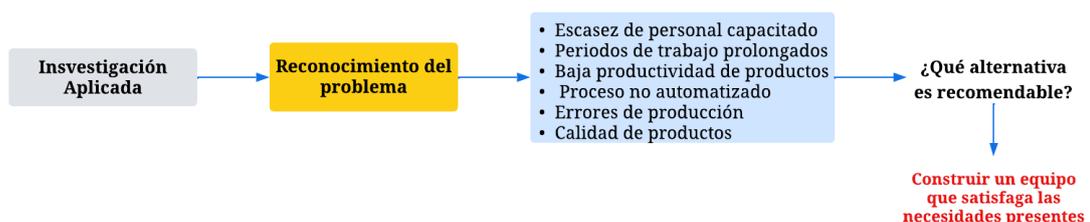


ELABORADO: AUTORES.

3.2.2. Investigación aplicada.

El tipo de investigación aplicada se enfatiza en reconocer un problema, de tal forma, puede ser resuelto con la finalidad de satisfacer una necesidad e incursionar en el mercado, lo que garantiza participar entre las industrias para la producción de un producto o prestar un servicio ante los consumidores.

Ilustración 22. Esquema de aplicación de la investigación aplicada.



ELABORADO: AUTORES

Una vez que el problema es interpretado a través de su planteamiento, este puede ser solventado por medio de soluciones que enfrenten dichas situaciones.

Preguntas:

1. ¿Qué metodología de desarrollo o diseño debe aplicarse?
2. ¿Qué tipo de planificación se implementa?
3. ¿Qué valida el diseño de un equipo?
4. ¿Cómo se verifica el funcionamiento del equipo?

Respuestas:

1. Metodología de desarrollo Ciclo en V.
2. Sintetizar información y evaluar la percepción de la propuesta a través de herramientas implementadas por la metodología de desarrollo.
3. Criterios técnicos, catálogos de equipos, apoyo de software ingenieril.
4. Ejecución de un protocolo de pruebas de funcionamiento.

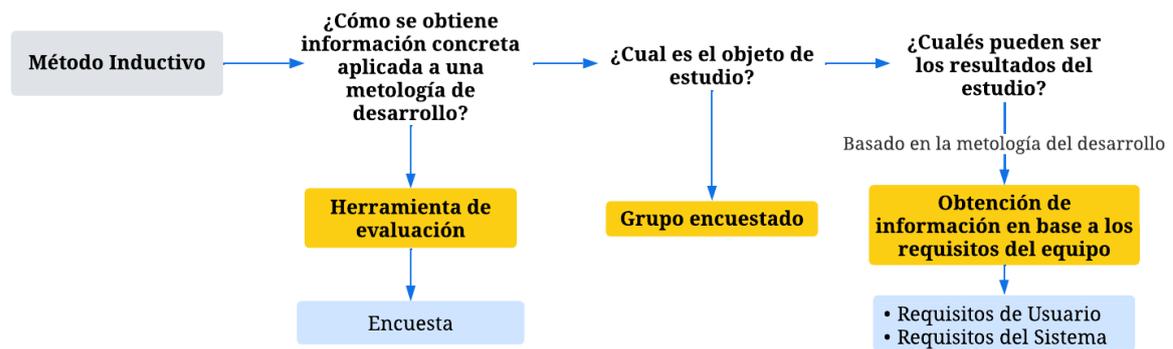
3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método inductivo.

El método aplicado es basado mediante el análisis de los conocimientos existentes, en donde se busca descomponer progresivamente una estructura con un orden de información concreta, a través de una evaluación sistemática para corroborar datos exactos por medio de los estudios establecidos, lo que le permite generar resultados a partir de este tipo de proceso, el cual obtienen conclusiones generales a través de la metodología implementada dentro de la resolución del proyecto de investigación.

La aplicación de este tipo de método refuerza la información existente a partir del análisis de un objeto de estudio, el mismo que debe ser evaluado a través de herramientas que permitan registrar los datos de dicho proceso de investigación. Por consiguiente, como se tiene presente el problema de investigación, la alternativa que busca resolver dicho problema, así mismo es necesario analizar el proceso en el que se inicia el desarrollo de resultados con la finalidad de obtener información básica para la elaboración del proyecto.

Ilustración 23. Método inductivo aplicado al proyecto de investigación.



ELABORADO: AUTORES.

En el instante que se obtiene los resultados por parte de la evaluación descrita se registra el comportamiento del objeto de estudio frente a la solución del problema. Sí, bien se comprende que se puede compilar información en concreto, esta puede ser de gran utilidad en la elaboración de la investigación por ser un punto de partida.

3.4. Fuentes de recopilación de datos.

3.4.1. Fuentes primarias.

- ❖ Objetivo de la investigación.
- ❖ Encuesta.
- ❖ Análisis de datos.
- ❖ Indicadores de la investigación.

3.4.2. Fuentes secundarias.

- ❖ Documentación bibliográfica.
- ❖ Informaciones técnicas.
- ❖ Análisis de criterios y selección.
- ❖ Esquematización de componentes mecánicos.

3.5. Diseño de la investigación.

3.6. Instrumentos de investigación.

El método por elegir según los criterios para la elaboración de técnicas de recolección de datos se basa en la técnica de encuesta mediante la resolución de un cuestionario establecido con la finalidad de observar el comportamiento de la investigación. A su vez, la encuesta se encuentra dirigida a consumidores del servicio o producto.

Objetivo de la encuesta.

- ❖ Recopilar información para determinar el grado de aceptación del producto o servicio dentro del mercado.

Elaboración del cuestionario.

Las preguntas desarrolladas se establecen de carácter cerrado o estructurado, lo cual permite la confiabilidad a través de la validación de los datos.

El cuestionario presenta las siguientes preguntas:

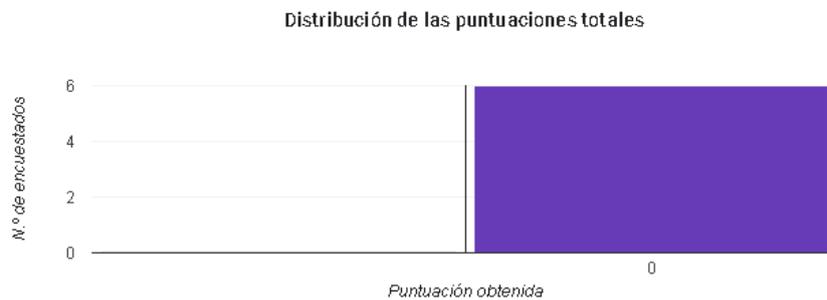
1. ¿Conoce acerca del proceso de grabado en madera mediante una máquina CNC?
2. ¿Considera que el producto es de innovación como una propuesta para el mercado?
3. Si una máquina CNC para grabado puede elaborar retratos personalizados. ¿Con qué frecuencia solicitaría su servicio?
4. ¿Qué tan importante considera un servicio de grabado mediante una máquina CNC?
5. ¿Qué opina de recibir un asesoramiento para conocer acerca del servicio que brinda la máquina CNC?
6. ¿Qué tan importante considera presentar muestras de trabajo antes de realizar un diseño personalizado?
7. ¿Estaría dispuesto a comprar un prototipo para ejecutar acciones de corte y grabado como este?
8. ¿Qué tan importante considera la portabilidad del producto?
9. ¿Con qué grado de importancia califica la estética del equipo?
10. Se considera que la manipulación del equipo debe ser factible para el usuario. ¿Cree que es importante como característica principal del producto?

3.7. Tratamientos de los datos.

3.7.1. Análisis de datos.

La evaluación de la encuesta se realizó a través del estudio dirigido a un grupo de 6 personas que fueron partícipes en dicha indagación. A continuación, se verifica mediante una gráfica de barras la puntuación obtenida debido a la cantidad de personas encuestadas:

Ilustración 24. Número de encuestados.



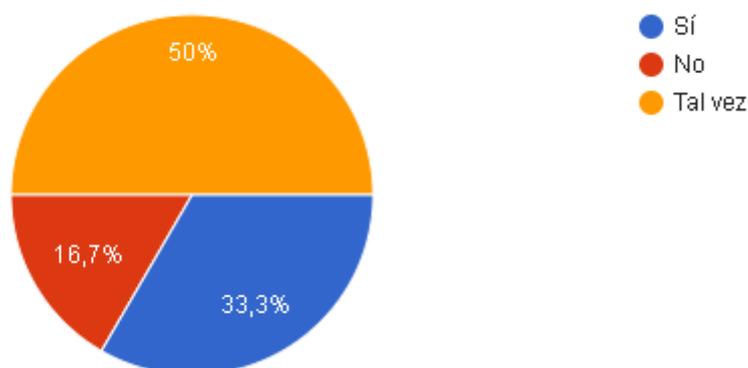
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: La gráfica describe los porcentajes de géneros de las personas encuestadas dentro de la investigación.

Pregunta: 1

¿Conoce acerca del proceso de grabado en madera mediante una máquina CNC?

Ilustración 25. Resultado de la primera pregunta del cuestionario.



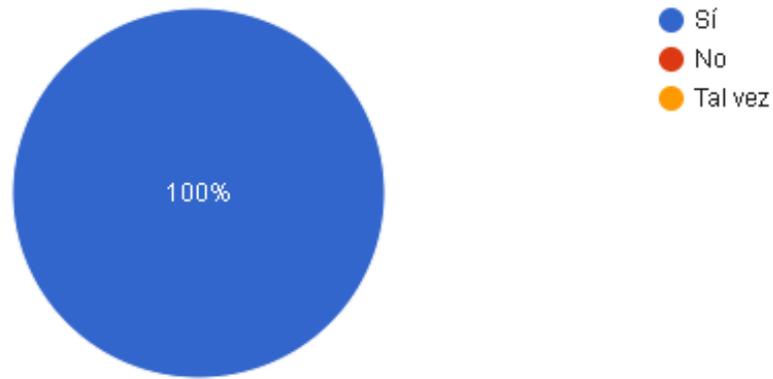
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: La gráfica describe que la población encuestada conoce de forma moderada el tema presentado, lo cual manifiesta una aceptación por parte del público.

Pregunta: 2

¿Considera que el producto es de innovación como una propuesta para el mercado?

Ilustración 26. Resultado de la segunda pregunta del cuestionario.



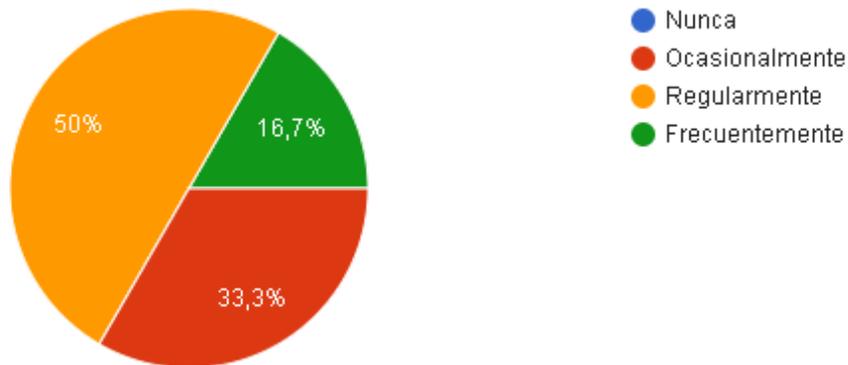
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: El estudio revela en gran porcentaje que la propuesta es considerada de carácter innovador, por ello, logra proyectar un grado de validez dentro del mercado.

Pregunta: 3

Si una máquina CNC para grabado puede elaborar retratos personalizados. ¿Con qué frecuencia solicitaría su servicio?

Ilustración 27. Resultado de la tercera pregunta del cuestionario.



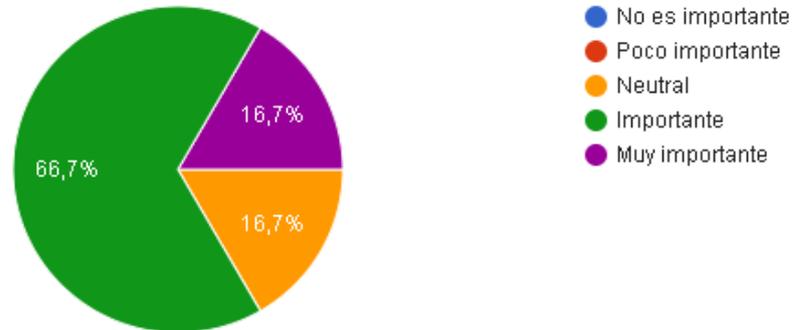
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: El servicio es solicitado de forma considerada, de tal forma que es factible desarrollar ideas innovadoras para el agrado de los consumidores, lo que les permite escoger un producto de diferentes líneas de producción.

Pregunta: 4

¿Qué tan importante considera un servicio de grabado mediante una máquina CNC?

Ilustración 28. Resultado de la cuarta pregunta del cuestionario.



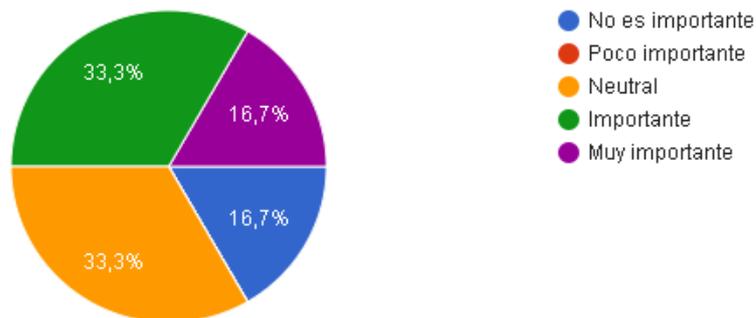
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: La gráfica describe que el comportamiento de la investigación es de carácter importante debido a su acogida en el mercado, ya que presenta una diversidad de productos que se pueden obtener a través de la disponibilidad de la máquina.

Pregunta: 5

¿Qué opina de recibir un asesoramiento para conocer acerca del servicio que brinda la máquina CNC?

Ilustración 29. Resultado de la quinta pregunta del cuestionario.



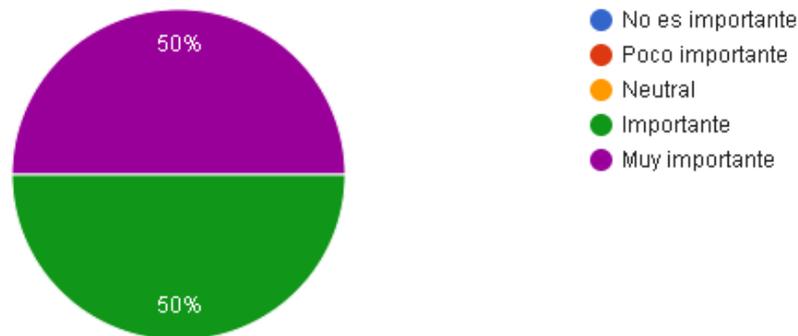
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: El asesoramiento es considerado medianamente importante para el consumidor, dado que el hecho de conocer las prestaciones que se pueden brindar a través de este equipo llega a crear interés por el producto.

Pregunta: 6

¿Qué tan importante considera presentar muestras de trabajo antes de realizar un diseño personalizado?

Ilustración 30. Resultado de la sexta pregunta del cuestionario.



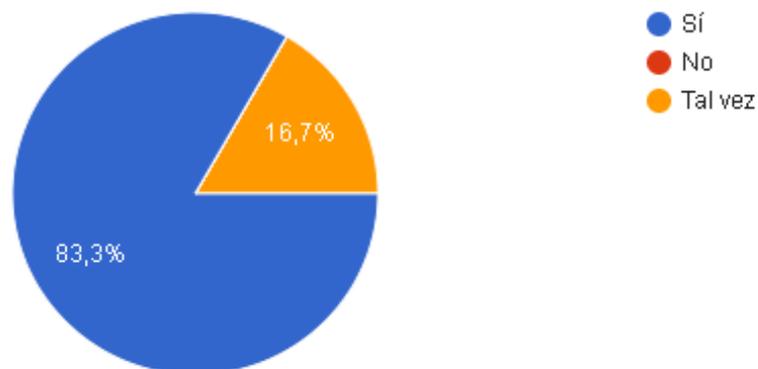
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: La atención al consumidor es uno de los factores más importantes, dado que es la forma adecuada de dar a conocer lo que se le está ofreciendo para su adquisición.

Pregunta: 7

¿Cree que estaría dispuesto a adquirir un producto como este?

Ilustración 31. Resultado de la séptima pregunta del cuestionario.



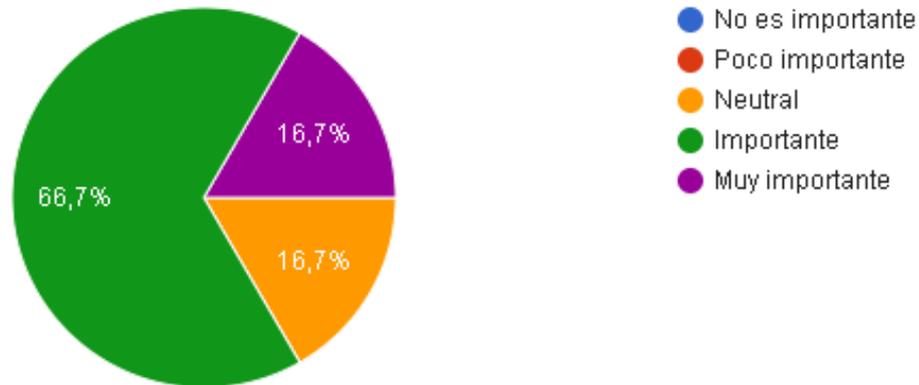
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: Se obtiene en gran proporción que los encuestados estarían dispuestos a adquirir el producto, debido a los intereses ligados a los clientes y la finalidad de su adquisición.

Pregunta: 8

¿Qué tan importante considera la portabilidad del producto?

Ilustración 32. Resultado de la octava pregunta del cuestionario.



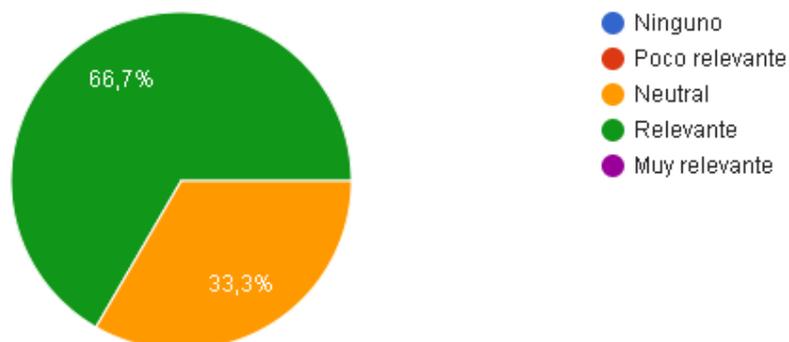
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: La portabilidad es uno de los factores más resaltantes, dado que le permite transportar el equipo con facilidad.

Pregunta: 9

¿Con qué grado de importancia califica la estética del equipo?

Ilustración 33. Resultado de la novena pregunta del cuestionario.



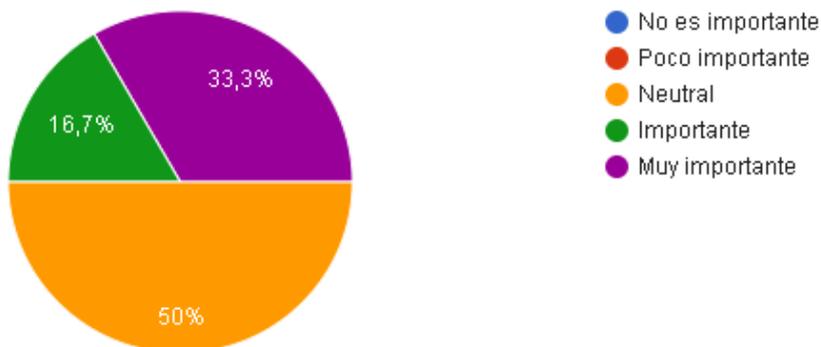
FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: La estética del producto llama la atención, ya que un equipo que desarrolle su operación de forma efectiva también debe considerarse la forma en la que se visualiza y que este sea agradable para el consumidor.

Pregunta: 10

Se considera que la manipulación del equipo debe ser factible para el usuario. ¿Cree que es importante como característica principal del producto?

Ilustración 34. Resultado de la décima pregunta del cuestionario.



FUENTE: FORMULARIOS DE GOOGLE FORMS.

Observación: Se considera de forma moderada que la accesibilidad es una característica notable, dado que permite generar una interacción directa con el operador de forma agradable y entendible.

3.8. Recursos humanos y materiales.

La elaboración del documento acerca del desarrollo del proyecto se ejecuta a través de un procedimiento investigativo, en el que cada información obtenida es de carácter especializado, ya que depende directamente de la verificación de datos y análisis.

3.8.1. Recursos humanos.

Este tipo de recurso se encuentra definido como el personal involucrado directamente con la investigación, para ello, intervienen técnicas de recopilación de datos en las que el investigador analiza a grupos de personas con la finalidad de acertar con validez y confiabilidad para el desarrollo investigativo.

Tabla 12. Recursos humanos.

Recursos humanos			
Descripción	Actividad	Indicador	Resultado
			❖ Estética del producto.
			❖ Accesibilidad del producto.
			❖ Requerimiento de portabilidad.
Cuestionario	Encuesta	Datos obtenidos	❖ Incursión de mercado.
			❖ Análisis del producto.
			❖ Características de funciones.
			❖ Aceptación del producto.

ELABORADO: AUTORES.

3.8.2. Recursos materiales.

Es aquella información obtenida a partir de recursos de fuentes secundarias, de tal forma, que logra definir los elementos bibliográficos de mayor aporte significativo al proceso de investigación, a su vez, esto permite generar una serie de resultados mediante las pautas directas que tienen relación con la investigación.

Tabla 13. Recursos materiales.

Recursos humanos			
Descripción	Actividad	Indicador	Resultado
			❖ Criterios técnicos.
Fuentes de información	Proceso investigativo	Datos obtenidos	❖ Selección de equipo.
			❖ Componentes electrónicos.
			❖ Componentes mecánicos.
			❖ Ficha técnica de los componentes.
			❖ Dimensiones de estructura.
Información especializada	Proceso investigativo	Datos obtenidos	❖ Dimensionamiento de componentes.
			❖ Análisis matemático.
			❖ Modelado en Software CAD.
			❖ Correlación de datos obtenidos.

ELABORADO: AUTORES.

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA DEL DESARROLLO

4.1. Aplicación de la metodología.

La elección de un modelo de desarrollo a través de la metodología se enfoca en un ciclo de vida que se dedica a la planificación y verificación de cada fase de diseño e integración. De tal forma, los criterios se consideran a partir de la complejidad del problema, la interacción directa del equipo de desarrolladores con el cliente, la disponibilidad del cliente, el tiempo que se dispone para realizar la entrega final, a su vez, los requerimientos proporcionados por parte del usuario con la finalidad de verificar si estos son correctos y completos.

4.2. Modelo de cascada en V.

El modelo en cascada en “V” procura realizar actividades de pruebas más efectivas y productivas mediante la introducción de validaciones en la medida en que se avanza en el proyecto; dado que en el modelo tradicional las pruebas se introducían al final los defectos aparecían en forma tardía. Las pruebas necesitan empezarse lo más pronto posible en el ciclo de vida y estas actividades deberían ser llevadas a cabo en paralelo con las actividades de desarrollo [51].

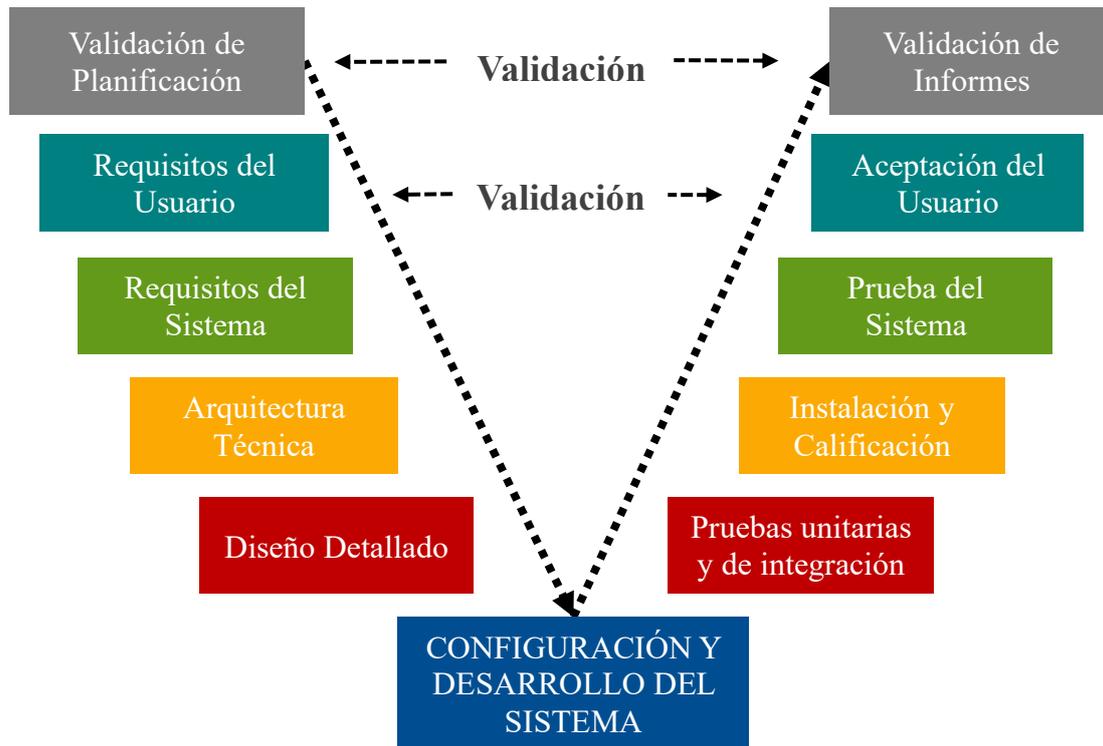
En efecto, basándose en el documento de requisitos el equipo de desarrolladores comienza a analizar y a trabajar en la fase de diseño. Una vez completado este paso, el equipo de desarrolladores comienza la fase de implementación y el equipo de pruebas comienza a trabajar en la planificación de las pruebas, los casos de prueba y los scripts de prueba, y la creación de scripts de prueba [52].

El modelo V típico muestra las actividades de desarrollo de software en la parte izquierda del esquema y el lado derecho describe las fases de prueba reales que se pueden realizar [52]:

- ❖ Pruebas unitarias
- ❖ Pruebas de integración
- ❖ Pruebas del sistema
- ❖ Pruebas de aceptación

El esquema del modelo de cascada en V se puede observar en la Ilustración 35.

Ilustración 35. Ciclo de vida en "V"



ELABORADO: AUTORES.

4.3. Etapa de planificación.

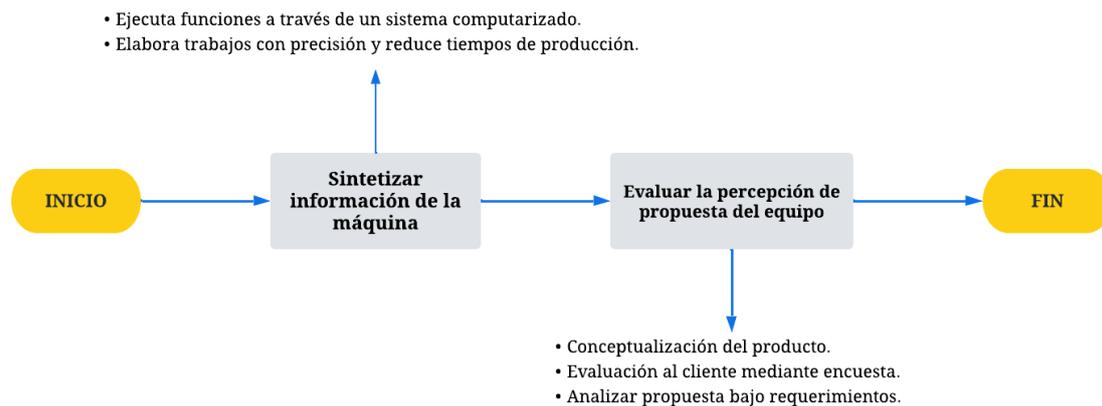
Esta etapa consiste en desarrollar una estrategia para llevar a cabo la elaboración del prototipo, la cual consiste en establecer consideraciones requeridas por parte del usuario con la finalidad de incluir dichos requisitos en el proceso de elaboración hasta la etapa funcional que conlleva el equipo.

De este modo para ejecutar su desarrollo se plantean las siguientes preguntas:

- ❖ ¿Cuál es el funcionamiento de la máquina?
- ❖ ¿Existe la posibilidad de que la máquina sea conocida a nivel de localización?
- ❖ ¿Cuáles son los requisitos de la máquina?

Al considerar estas interrogantes, se realiza una investigación con la finalidad de obtener resultados. Dichos resultados se estudian mediante herramientas de evaluación en donde se mantiene la relación directa con la parte interesada, con el propósito de que esta tenga un sentido de percepción del equipo acerca de su finalidad y los requerimientos para una adecuada funcionalidad. Por ello, se describe el proceso que se observa en la Ilustración 36.

Ilustración 36. Esquema de la etapa de planificación.



ELABORADO: AUTORES.

4.3.1. Sintetizar información de la máquina.

El equipo consta con características específicas que le permiten ejecutar sus funciones para lograr un objetivo, en tal caso, al contar con un sistema computarizado este le permite desarrollar una labor tras un proceso secuencial de órdenes o comandos que logran interpretarse a través de lenguaje incorporado en la programación del sistema.

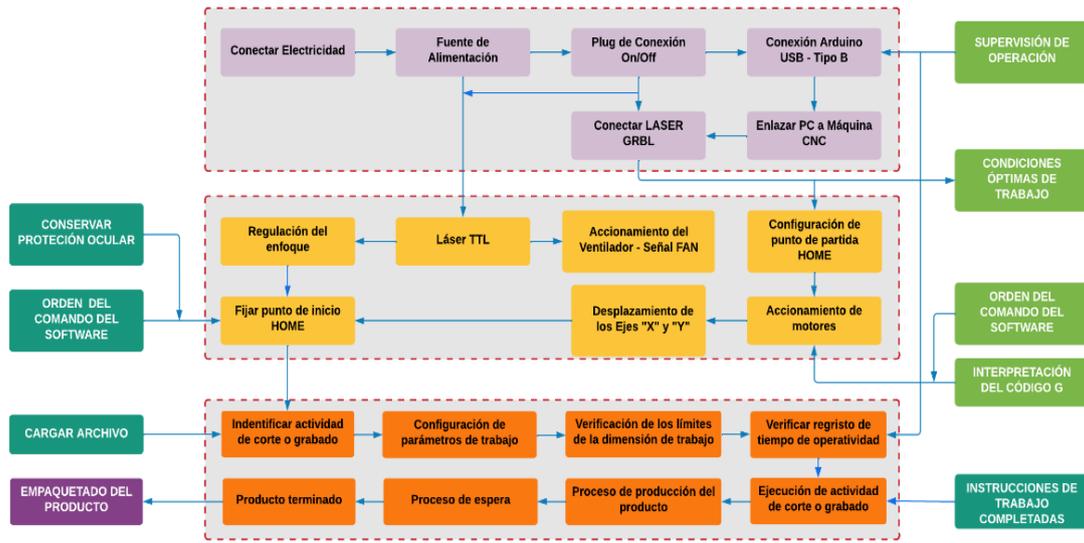
El equipo debe presentar las siguientes características:

- ❖ Lenguaje Arduino.
- ❖ Sistema de desplazamiento o accionamiento.
- ❖ Mecanismo de precisión.

Al contar con dichas características, el equipo logra reducir considerablemente los tiempos de producción en serie, dado que los trabajos extensos o de mayor complejidad son realizados por el método convencional por lo que requieren de mayor tiempo de elaboración.

De tal manera, la parte interesada debe informarse acerca de la propuesta del desarrollo de la máquina CNC, por ello, se realiza una esquematización del proceso de funcionamiento del equipo, en el cual se comprende una serie de actividades que se ejecutan con relación a la función individual de ciertos componentes con la finalidad de obtener un producto desarrollado. A continuación, se presenta un esquema estructurado del proceso de funcionamiento de la máquina CNC que se muestra en la Ilustración 37.

Ilustración 37. Esquematización del proceso de funcionamiento de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

4.3.2. Evaluar la percepción de la propuesta del equipo.

La elaboración del equipo se condiciona desde el requerimiento de éste, dicha información se evalúa a través de un método de recolección de datos mediante un procedimiento de encuesta realizada a las partes interesadas que se encuentra en el apartado del CAPÍTULO III, con la finalidad de dar a conocer la funcionalidad del equipo y qué beneficios pueden obtener a partir de la obtención de este.

4.3.3. Requisitos generales del usuario.

En este aspecto debe tomarse en cuenta los resultados suministrados por parte de la encuesta realizada, en la cual se describen los requisitos generales del equipo.

- ❖ Portabilidad
- ❖ Accesibilidad

- ❖ Diseño estético
- ❖ Adquisición económica

4.4. Requisitos del sistema.

Las finalidades que debe cumplir el equipo se relacionan directamente con su función, en la cual provee de ciertas características en su arquitectura que le permiten desempeñar una función viable. Para ello, deben cumplir con las necesidades presentes:

- ❖ Reducción de los tiempos de producción.
- ❖ Procesos de corte y grabado.
- ❖ Precisión en el proceso.
- ❖ Producción en serie.

4.5. Requisitos en la arquitectura.

El sistema del equipo debe constar con características que sobresalen en su arquitectura, las cuales le permitan realizar su desempeño pertinente a la actividad estipulada, por ello, se dividen entre dos tipos de arquitecturas:

Arquitectura mecánica: Este tipo de sistema le conforma el diseño mecánico, en la que se involucran los componentes estructurales, de accionamiento, a su vez, los elementos de fijaciones, entre otros, los cuales permiten elaborar un ensamble adecuado y resistente para la función que emplea.

- ❖ Estructura resistente.
- ❖ Uniones desarmables en la estructura.
- ❖ Soportes para los componentes.
- ❖ Sistema de movimiento.
- ❖ Desplazamiento lineal.

Arquitectura eléctrica: El conjunto de componentes electrónicos le permite acceder al control total de la máquina, la cual se encuentra dirigida a través de una codificación para que esta sea interpretada a través de los componentes electromecánicos, con la finalidad

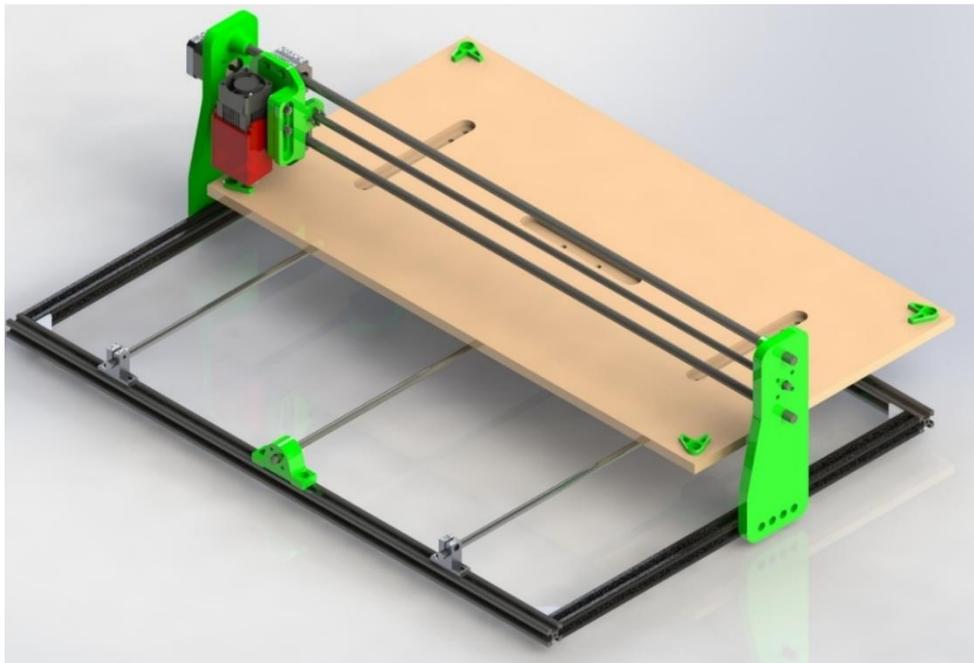
de trabajar en conjunto con los componentes de accionamiento para generar los movimientos del equipo.

- ❖ Programación Arduino.
- ❖ Interpretación del lenguaje de código G.
- ❖ Lectura USB.
- ❖ Potencia de láser adecuada.

4.6. Estimación de costos del equipo.

El proceso de esquematización de costos se realiza con base en el modelado CAD del equipo, para ello, se debe contar con los elementos necesarios de acuerdo con la materia prima que se puede localizar en el mercado, con la finalidad de agilizar las gestiones de compra para el desarrollo del equipo.

Ilustración 38. Ensamble de la estructura de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

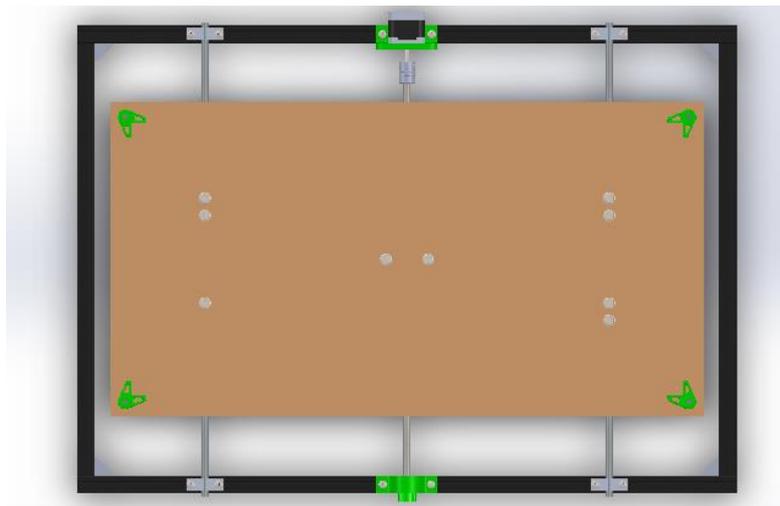
El diseño de la máquina de corte y grabado por control numérico debe contar con requisitos establecidos de acuerdo con su arquitectura, por ello, se parte desde el bosquejo del equipo, el mismo que debe ser analizado mediante criterios de diseño en el apartado del CAPÍTULO V.

El diseño del equipo cuenta con un modelado 3D de la parte inferior como se observa en la Ilustración 39. La cual presenta las siguientes características:

- ❖ Dimensiones generales de la máquina: 750mm x 535mm
- ❖ Eje Guía Y: 542 mm
- ❖ Husillo Eje Y: 495 mm
- ❖ Eje Guía X: 800 mm
- ❖ Husillo Eje X: 750 mm

Las dimensiones generales de la máquina CNC permiten abarcar una mayor área de trabajo, de tal manera se obtiene un dimensionamiento de área externa que permite realizar trabajos a mayor escala.

Ilustración 39. Esquema de la estructura inferior de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

La mesa de trabajo actualmente cuenta con un área determinada de acuerdo con sus dimensiones 675 mm x 360 mm.

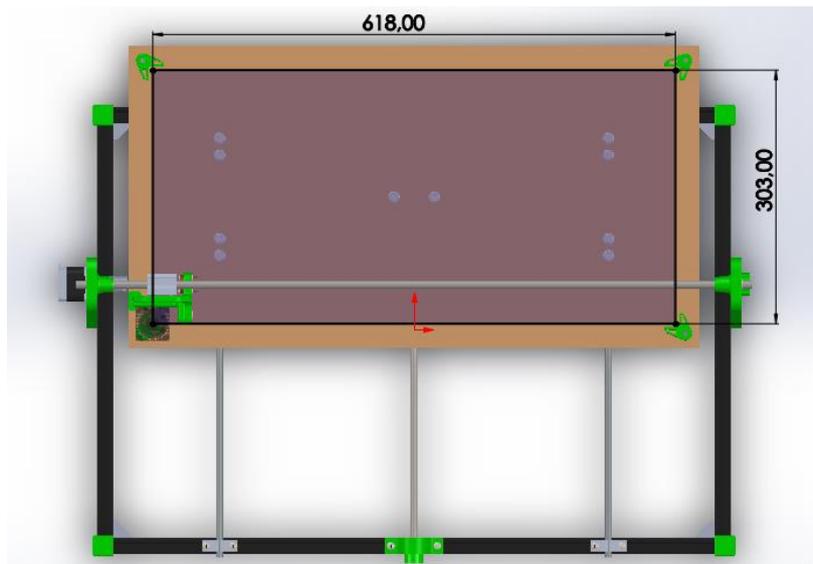
$$A_{MT} = b * h \quad \text{Ec. (1)}$$

$$A_{MT} = 0,67m * 0,360m$$

$$A_{MT} = 0,243m^2$$

De acuerdo con el área de recorrido del módulo láser presentan dimensiones de 618 mm x 303 mm como se identifican en la Ilustración 40, dado que este mantiene un libre desplazamiento para ejecutar su funcionamiento.

Ilustración 40. Área de desplazamiento del módulo láser.



ELABORADO: AUTORES.

$$A_{MT} = 0,618m * 0,303m$$

$$A_{MT} = 0,187m^2$$

Con el modelado CAD se establece un listado de los materiales implementados en la elaboración del equipo.

Arquitectura mecánica: Esta cuenta con los siguientes componentes que se muestran en la Tabla 14, de acuerdo con las dimensiones estimadas del modelo.

Tabla 14. Estimación de costos de la estructura de la máquina CNC.

Estimación de costos estructurales				
Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total	
Perfiles 20x20x1000mm	3	\$ 9,50	\$	28,50
Eje Ø 8 mm x 600mm	2	\$ 8,90	\$	17,80
Eje Ø 10 mm x 1000 mm	2	\$ 15,00	\$	30,00
Husillo Ø 8 mm x 600 mm	1	\$ 20,50	\$	20,50
Husillo Ø 8 mm x 1000 mm	1	\$ 38,50	\$	38,50
Tuerca para husillo	2	\$ 3,00	\$	6,00
Soportes para ejes	4	\$ 4,40	\$	17,60
Soportes de esquinas	4	\$ 2,50	\$	10,00

Acople flexible de 5 mm a 8 mm	2	\$	2,90	\$	5,80
Rodamiento SC8UU 8mm	4	\$	4,50	\$	18,00
Rodamiento SC10UU 10mm	2	\$	7,00	\$	14,00
Rodamiento de bola 8mm	2	\$	1,50	\$	3,00
Tuercas deslizantes M5	21	\$	0,25	\$	5,25
Tornillos M5 - M4 - M3	1	\$	6,00	\$	6,00
Bobina de filamento PLA	1	\$	22,00	\$	22,00
Total				\$	242,95

ELABORADO: AUTORES.

Arquitectura eléctrica: Esta cuenta con los siguientes componentes que se muestran en la Tabla 15, de acuerdo con las características que deben considerarse en la electrónica del equipo.

Tabla 15. Estimación de costos de la electrónica de la máquina CNC.

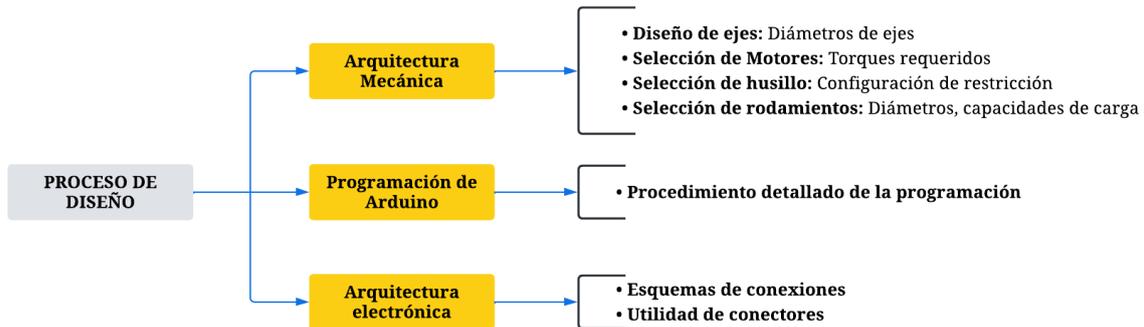
Estimación de costos electrónicos				
Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total	
Modulo láser	1	\$ 300,00	\$	300,00
Driver módulo láser	1	\$ 120,00	\$	120,00
Arduino UNO R3 ATMEGA	1	\$ 15,00	\$	15,00
Placa de control CNC Shield V3	1	\$ 5,50	\$	5,50
Driver motor a pasos A4988	2	\$ 2,50	\$	5,00
Switch interruptor	1	\$ 2,50	\$	2,50
Fuente de poder 12 VDC	1	\$ 10,00	\$	10,00
Motor Nema 17	2	\$ 15,75	\$	31,50
Total			\$	489,50

ELABORADO: AUTORES.

4.7. Diseño detallado.

La etapa de diseño detallado se encuentra subdividido en tres subprocesos como se observa en la Ilustración 41 que se relacionan entre sí, tanto el enfoque mecánico, eléctrico, hasta el proceso de integración de datos para desempeñar sus funciones establecidas.

Ilustración 41. Esquema de proceso de diseño detallado.



ELABORADO: AUTORES.

4.7.1. Subproceso de arquitectura mecánica.

Este apartado describe los análisis que se deben realizar con la finalidad de estudiar el comportamiento de los componentes de acuerdo a las condiciones que se someten, si bien se tiene en cuenta, que el sub proceso conlleva a una serie de actividades que permiten establecer ciertas condiciones de validez, lo cual garantiza el dimensionamiento adecuado del equipo, las condiciones de geometría, la selección de los materiales que se ven involucrados, así mismo como el estudio de los esfuerzos debido a cargas sometidas.

El estudio y la selección de ciertos componentes se describen de forma explícita en el apartado del CAPÍTULO IV, dado que se desglosa de manera analítica su comportamiento frente a condiciones establecidas. Por consiguiente, este apartado garantiza la viabilidad del equipo describiendo las teorías aplicadas, cómo las consideraciones establecidas por catálogos de selección.

4.7.2. Subproceso de programación.

Para ejecutar la programación es necesario dirigirse a la página oficial de Arduino UNO, con la finalidad de descargar el programa “Arduino IDE 1.8.19”. Dado que las librerías por defecto que conservan el software Arduino no contienen la carpeta Grbl, se procede

a descargar el archivo “Código Fuente” extensión Zip. Los archivos se pueden obtener mediante los siguientes enlaces:

Enlace de página Arduino.

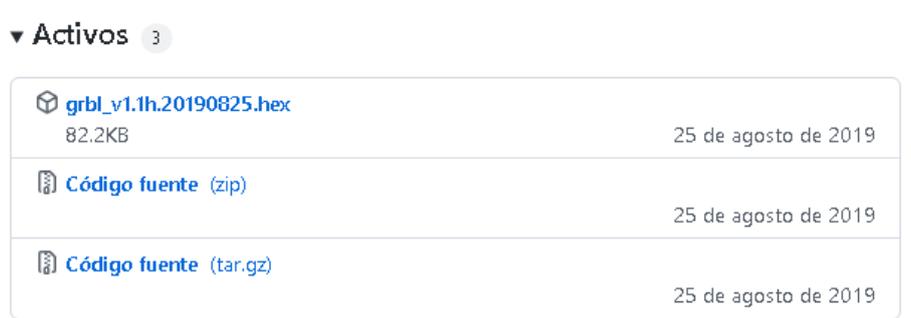
❖ <https://www.arduino.cc/en/donate/>

Enlace código fuente.

❖ <https://github.com/gnea/grbl/releases>

En la Ilustración 42 se puede observar el archivo código fuente, para lo cual se procede con la descarga.

Ilustración 42. Archivos de descarga.



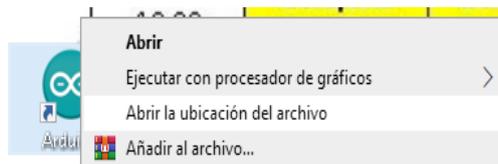
FUENTE: GITHUB, 2019 [53].

Al obtener el archivo rar se realiza lo siguiente:

Se descomprime directamente a escritorio y se realiza una copia de la carpeta “Grbl”.

Se dirige al ícono del “Arduino Uno” y se presiona clic derecho, para ir a su respectiva ubicación como se observa en la Ilustración 43.

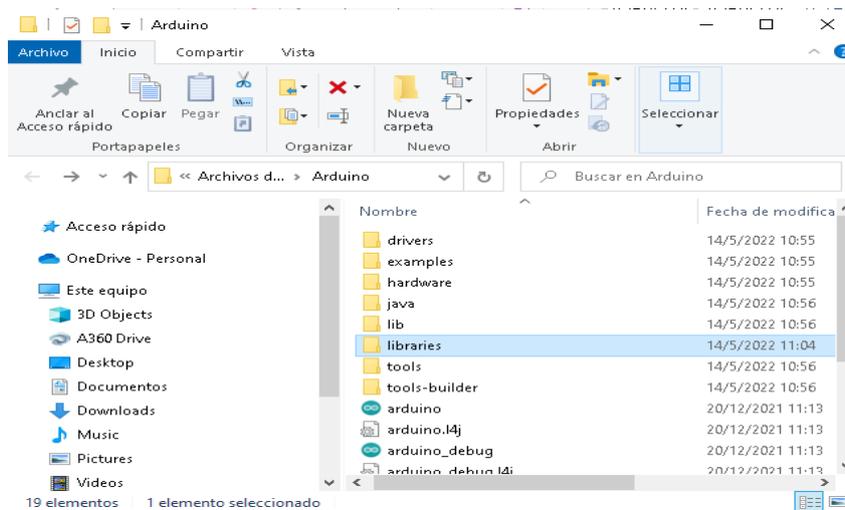
Ilustración 43. Ventana de acceso.



ELABORADO: AUTORES.

Se accede a la carpeta “libraries” para poder pegar el archivo “Grbl”, como se muestra en la Ilustración 44.

Ilustración 44. Carpeta Arduino.



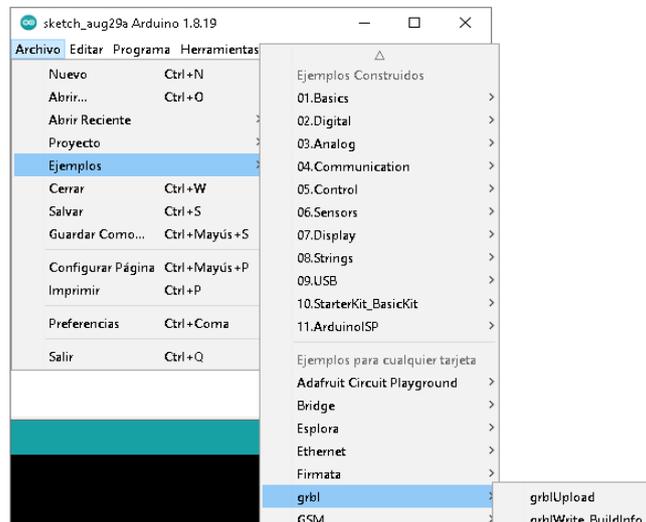
ELABORADO: AUTORES.

Se accede al software Arduino para verificar que el proceso realizado se haya concretado correctamente.

Se dirige a la casilla “Archivo”, para luego ubicarse en “Ejemplos”.

Se desplaza hacia a “Grbl” para dar clic en “grblUpload” cómo se puede observar en la Ilustración 45.

Ilustración 45. Interfaz de software Arduino.



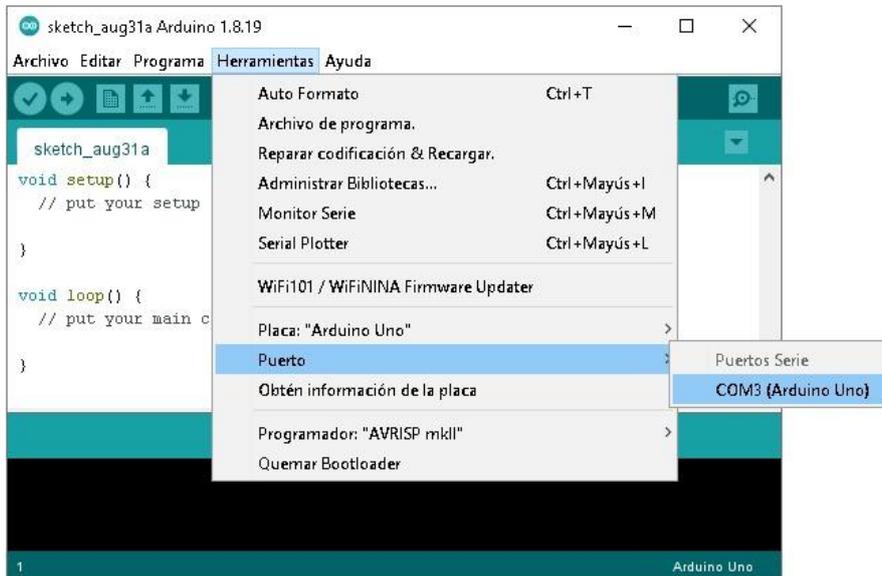
ELABORADO: AUTORES.

Se realiza la conexión mediante USB entre la placa Arduino y la computadora.

Se desplaza a la casilla herramientas y se accede a la opción “Puerto”.

El dispositivo lo registra como puerto “COM3 (Arduino Uno)” como se observa en la Ilustración 46.

Ilustración 46. Reconocimiento del puerto de conexión.



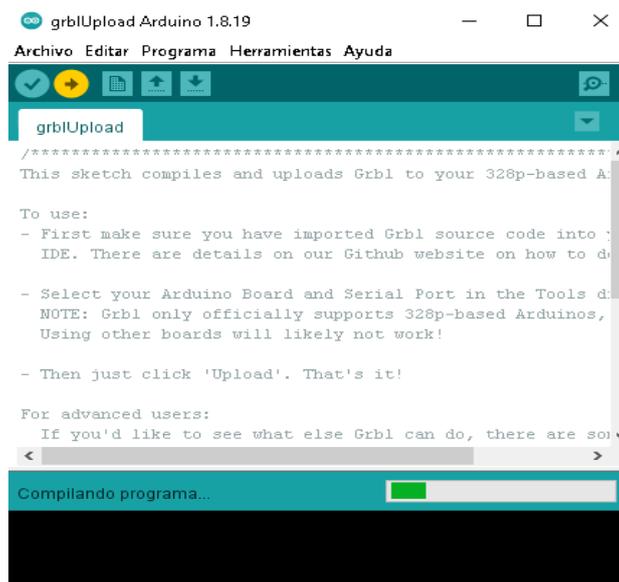
ELABORADO: AUTORES.

Al realizar los pasos anteriormente mencionados se procede con lo siguiente:

Se da clic en el indicador subir para cargar el archivo, el mismo que se reconoce como ícono de color amarillo que se ubica en la parte superior izquierda.

Una vez compilada la información, se procede a cerrar el software.

Ilustración 47. Compilación de la información.



ELABORADO: AUTORES.

4.7.3. Subproceso de arquitectura electrónica.

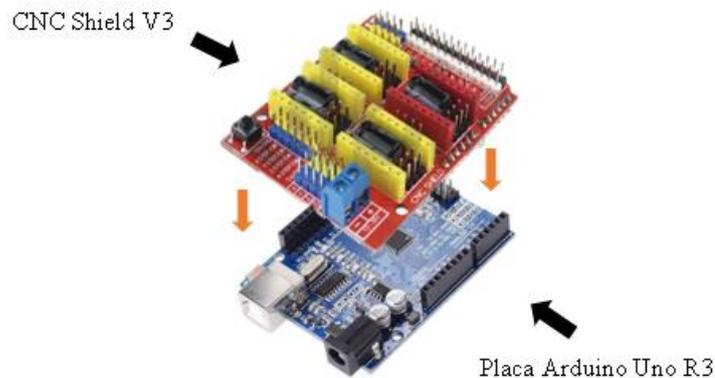
4.7.3.1. Ensamble de componentes electrónicos.

El procedimiento que se lleva a cabo para realizar el ensamble de la arquitectura electrónica debe considerarse a través de una serie de pasos, manteniendo la secuencia de los procesos, con la finalidad de evitar un daño irreversible en los elementos electrónicos.

Se realizan las siguientes actividades:

Se ensambla la placa CNC Shield V3 y el Arduino Uno R3 como se observa en la Ilustración 48.

Ilustración 48. Ensamble de la placa Arduino y CNC Shield V3.



ELABORADO: AUTORES.

Se conectan los drivers A4988 en la cabecera de unidad del módulo C1 y C2 de placa CNC Shield V3, como se muestra Ilustración 49, para interpretar la ubicación del módulo C1 y C2 dirigirse a la Ilustración 11.

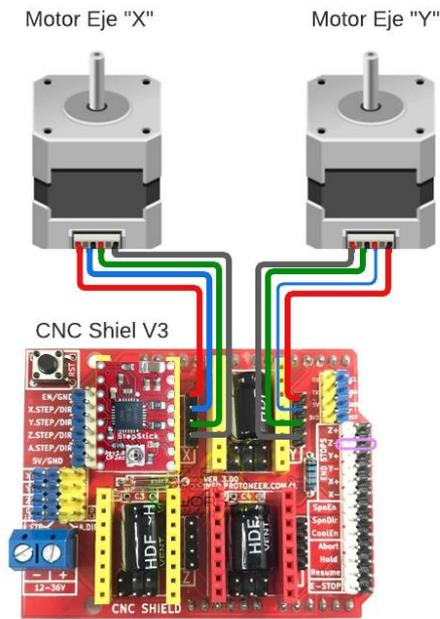
Ilustración 49. Ensamble de los Driver A4988.



ELABORADO: AUTORES.

Se realiza la conexión de los motores Nema 17 a los conectores “X” Header y “Y” Header mostrado en la Ilustración 50, para interpretar la ubicación del puerto de conexión del límite Z como se observa en la Ilustración 11.

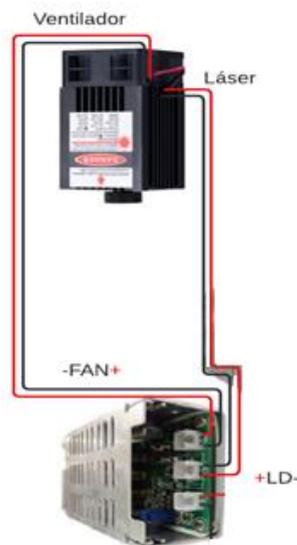
Ilustración 50. Conexión de los motores Nema 17.



ELABORADO: AUTORES.

Realizar la conexión del puerto “FAN” y “LD” del láser Diodo al controlador del láser como se observa en la Ilustración 51. Cabe recalcar que el cable rojo se conecta a positivo y el cable negro a negativo.

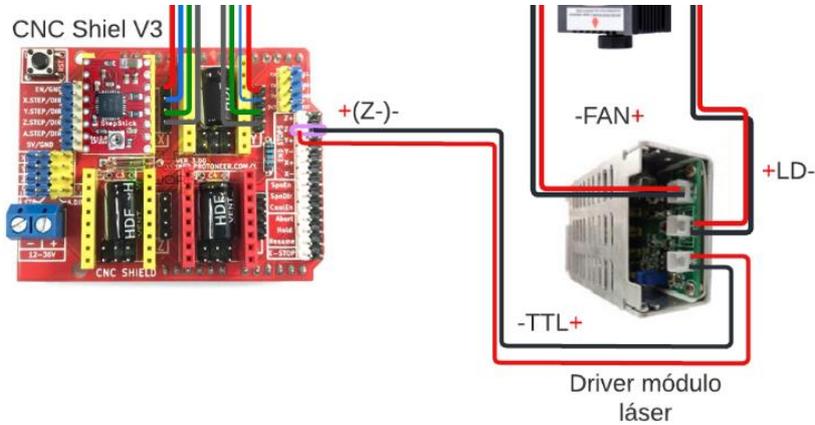
Ilustración 51. Conexión entre el módulo láser y el driver.



ELABORADO: AUTORES.

Conectar el puerto “TTL” del controlador láser al puerto “límite Z negativo” como se observa en Ilustración 52, para interpretar la ubicación del puerto de conexión del límite Z se observa la Ilustración 11.

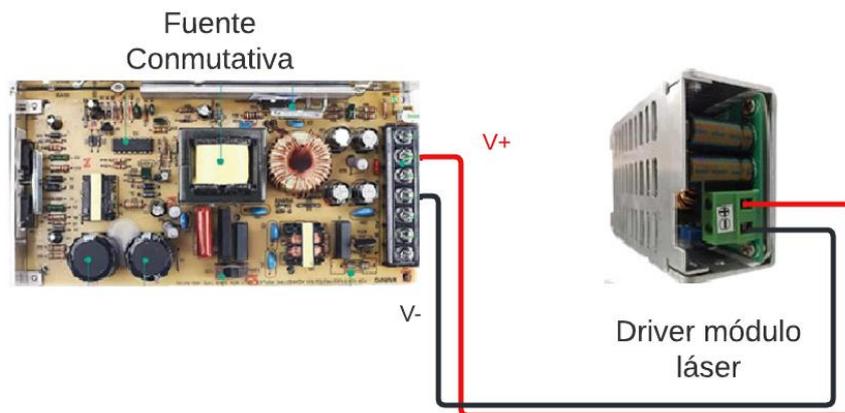
Ilustración 52. Conexión de señal TTL y placa CNC Shield V3.



ELABORADO: AUTORES.

Realizar conexión de voltaje “positivo” y “negativo” del controlador láser hacia la fuente de alimentación como se observa en la Ilustración 53.

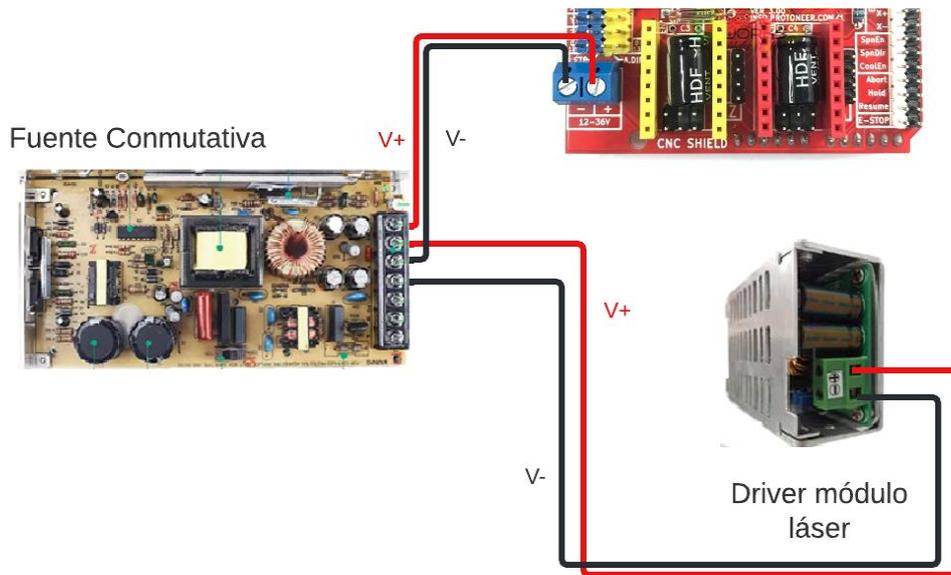
Ilustración 53. Conexión de voltaje del controlador hacia la fuente de alimentación.



ELABORADO: AUTORES.

Realizar conexión del suministrador a entrada de blindaje Dc12V “positivo” y “negativo” de la placa CNC Shield V3 hacia la fuente conmutativa como se observa en la Ilustración 54, para interpretar la ubicación del suministrador del voltaje dirigirse a la Ilustración 11.

Ilustración 54. Conexión de voltaje placa CNC Shield y fuente de alimentación.



ELABORADO: AUTORES.

Como se observa en la Ilustración 55 se realiza la conexión de la fase del enchufe macho de 250V CA a la Fase 1 del interruptor de 3 pines, previo a ello, unir el neutro del enchufe macho de 250V al neutro de 3 pines. Para conocer las partes de los dos componentes dirigirse a la Ilustración 18 e Ilustración 19.

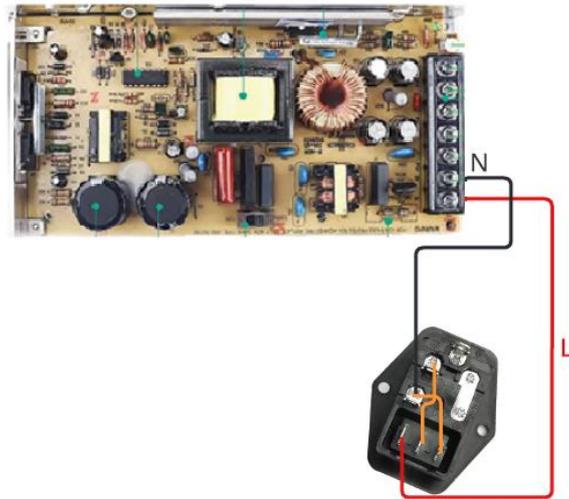
Ilustración 55. Configuración del plug de conexión.



FUENTE: JOOM, 2022 [46].

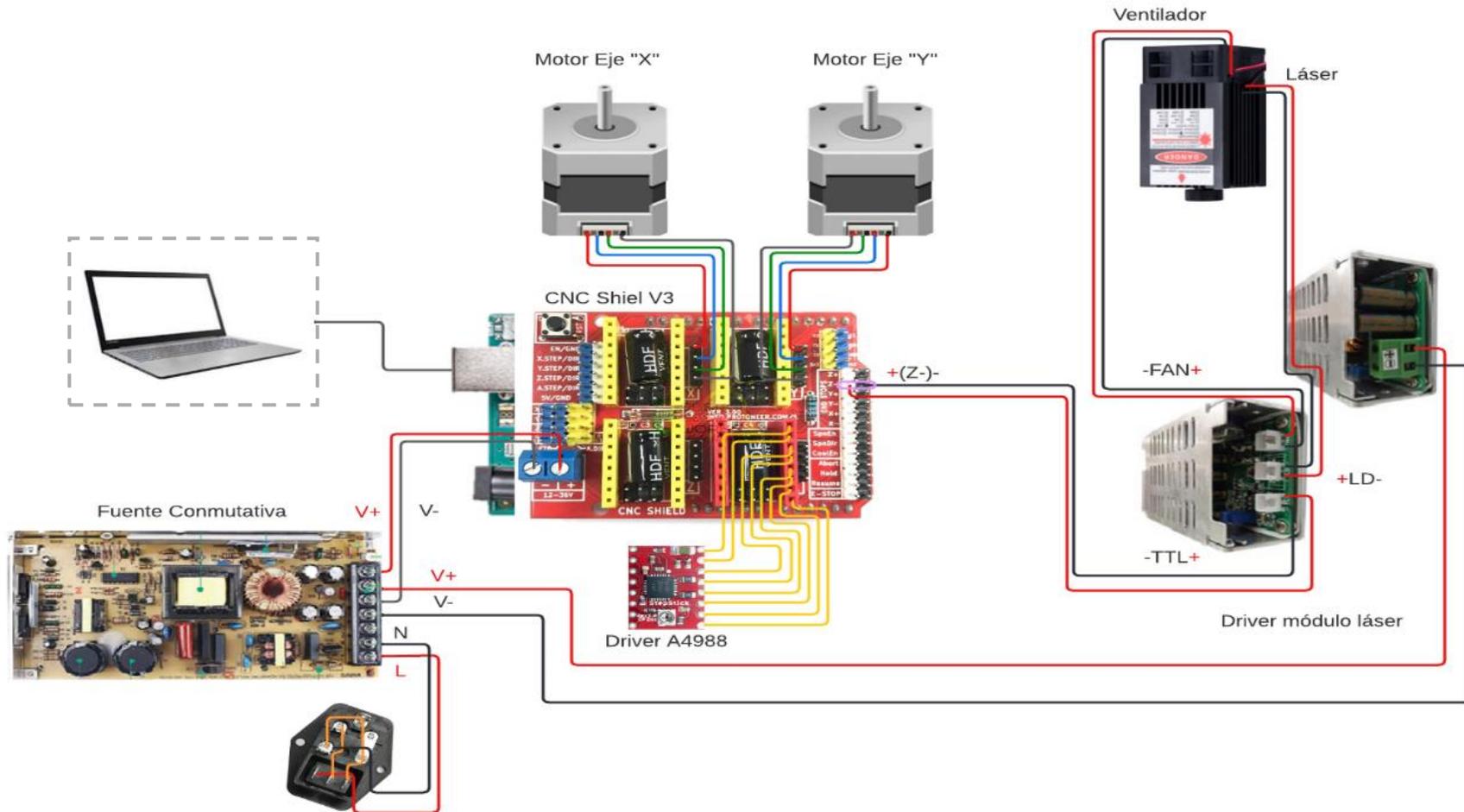
Conectar un cable a la fase 1.2 del interruptor de 3 pines para dirigirlo a “L” de la fuente conmutativa y otro cable al neutro del enchufe macho a “N” de la fuente conmutativa observado en la Ilustración 56. Para conocer las partes de los dos componentes dirigirse a la Ilustración 18 para el enchufe macho, Ilustración 19 e Ilustración 17 para la fuente conmutativa.

Ilustración 56. Conexión entre el plug y la fuente de alimentación.



ELABORADO: AUTORES.

4.8. Diagrama de conexión eléctrica.



ELABORADO: AUTORES.

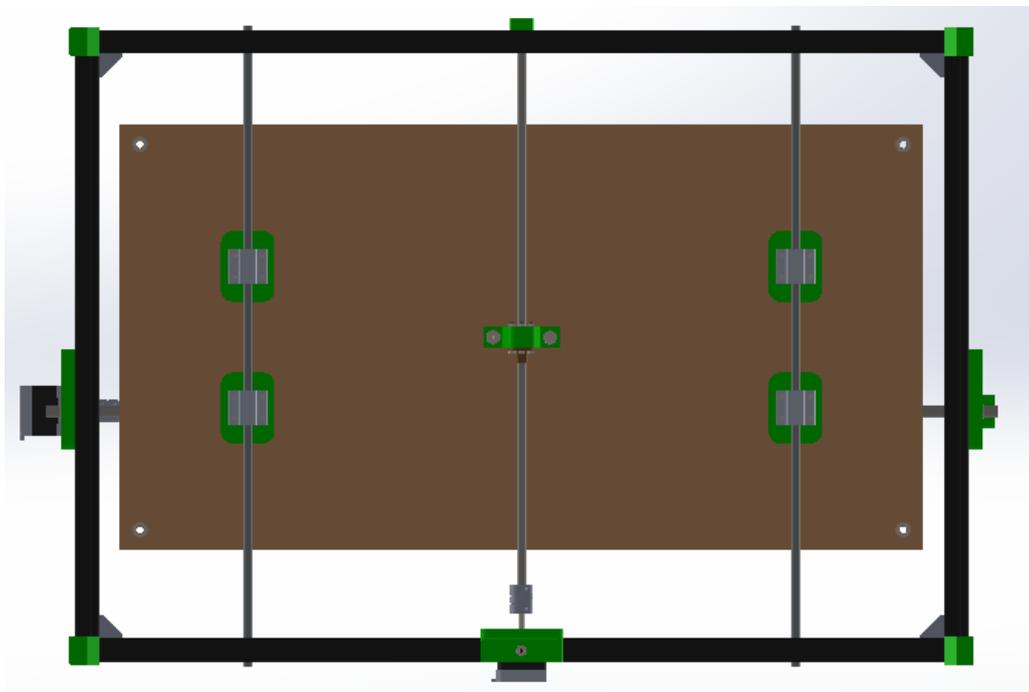
CAPÍTULO V
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados.

El modelado del equipo se ha elaborado a partir de los requisitos de su arquitectura en el apartado de CAPÍTULO IV en lo cual uno de ellos debe permitir la facilidad de ensamblaje a través de las uniones de sus componentes, por ello, la mesa de trabajo se encuentra sujeta a partir de dos soportes en cada uno de sus ejes guías, como se observa en la Ilustración 57.

Este tipo de mecanismo permite el desplazamiento lineal de la mesa de trabajo, ya que, en dicha dirección se le identifica como el eje “Y” de la máquina CNC.

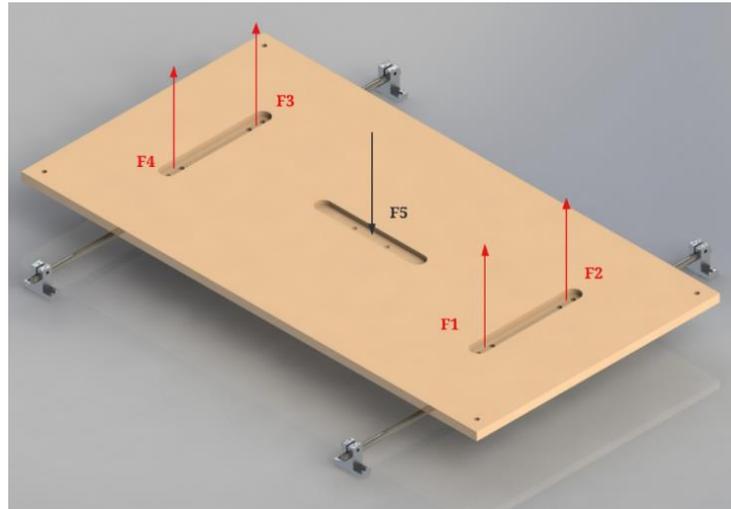
Ilustración 57. Vista inferior de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

De acuerdo con el caso presentado que se describe en la Ilustración 58, el mecanismo se encuentra apoyado en sus extremos, el cual es restringido en todas sus direcciones, a su vez, se presentan fuerzas que actúan en los centros de cada placa soporte conectada a la mesa, dado que estas incógnitas se buscan determinar a través de un análisis estático mediante el software SolidWorks, el cual permitirá arrojar valores según el caso presente.

Ilustración 58. Esquemas de fuerzas normales actuando en las uniones de los soportes.



ELABORADO: AUTORES.

Dado que se tiene como dato principal la masa total de la mesa de trabajo y del material trabajo, cuyos valores se observan en la Tabla 16. Los cuales se identifican en el Anexo 1 y Anexo 2.

Tabla 16. Valores de masas respectivas.

Descripción	Cantidad	Valor	Unidad
Mesa Trabajo	1	1,557	kg
Tabla de trabajo	1	0,800	kg

ELABORADO: AUTORES.

Por lo tanto, obteniendo el dato de la masa de la mesa de trabajo se encuentra una fuerza F5, que actúa de acuerdo con su gravedad como se observa en la Ilustración 58. Por ello, se obtiene un valor que se encuentra distribuido en sus puntos de apoyos tal y como se calcula en la Ec. (2).

Donde:

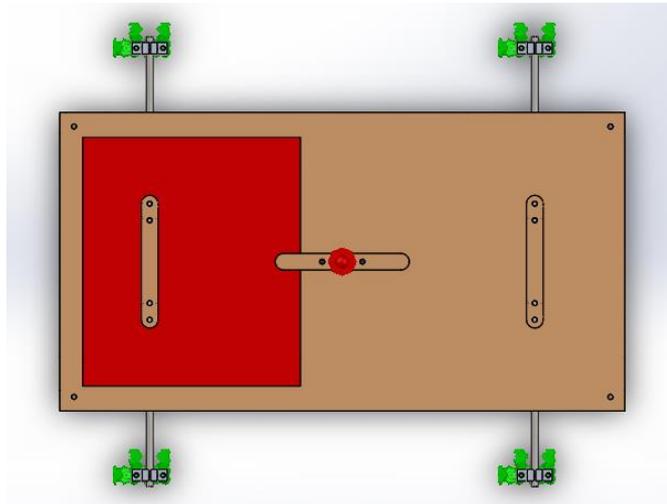
MT₁: Masa de la mesa de trabajo, (kg)

$$F5 = m_{MT1} * g \quad \text{Ec. (2)}$$

$$F5 = 1,557 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 15,27 \text{ N}$$

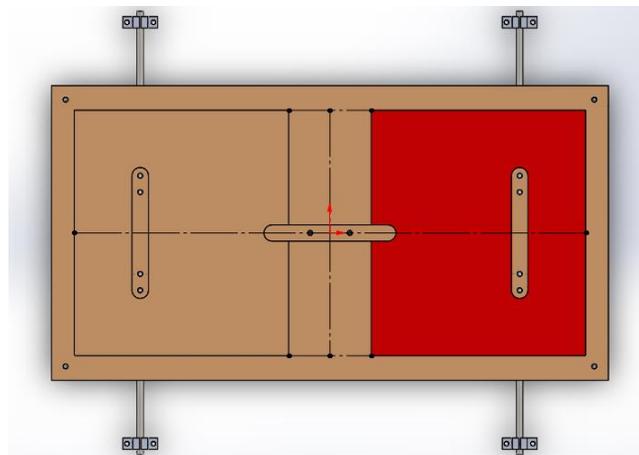
Además, el material de trabajo se encuentra ubicado en la superficie izquierda de la mesa de trabajo como se observa en la Ilustración 59. Dado que el modelo es simétrico los valores encontrados pueden reflejarse en la superficie derecha de la tabla, si la carga se aplicará en el lado opuesto de donde se encuentra, la cual se observa en la Ilustración 60.

Ilustración 59. Ubicación de la carga de la tabla de trabajo.



ELABORADO: AUTORES.

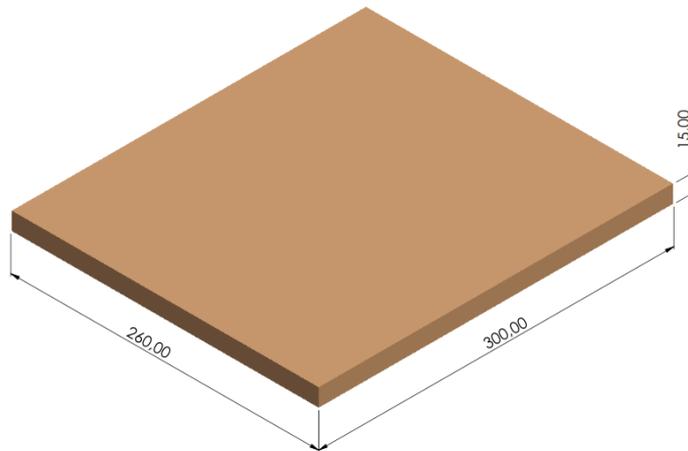
Ilustración 60. Simetría del área de la carga aplicada.



ELABORADO: AUTORES.

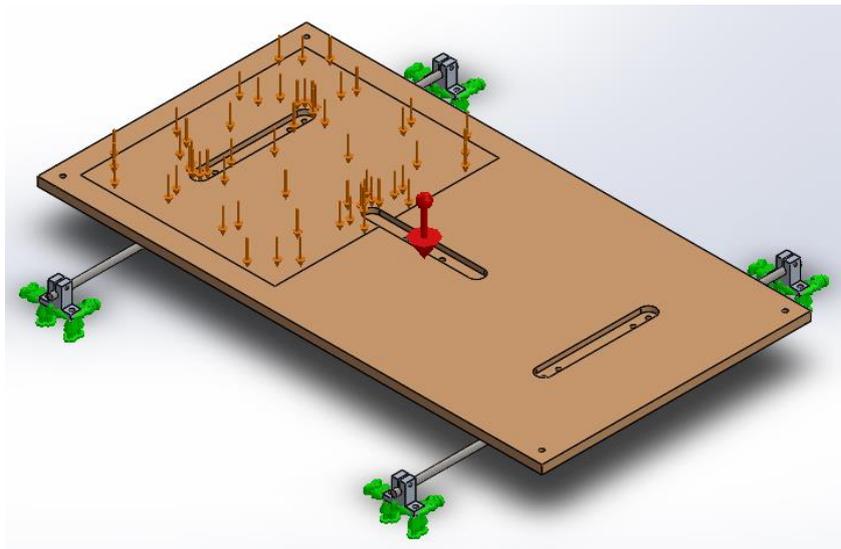
De acuerdo con las dimensiones correspondientes de 260 mm x 300 mm x 15mm para un material de trabajo de tipo MDF, que se identifica en la Ilustración 61. A su vez, se determina la carga emitida por este componente. La representación de la carga F6 se identifica en la Ilustración 62.

Ilustración 61. Dimensiones de la tabla de trabajo.



ELABORADO: AUTORES.

Ilustración 62. Carga del material del trabajo.



ELABORADO: AUTORES.

Donde:

MT_2 : Masa del material de trabajo, (kg)

$$F_6 = m_{MT_2} * g$$
$$F_6 = 0,800 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7,848 \text{ N}$$

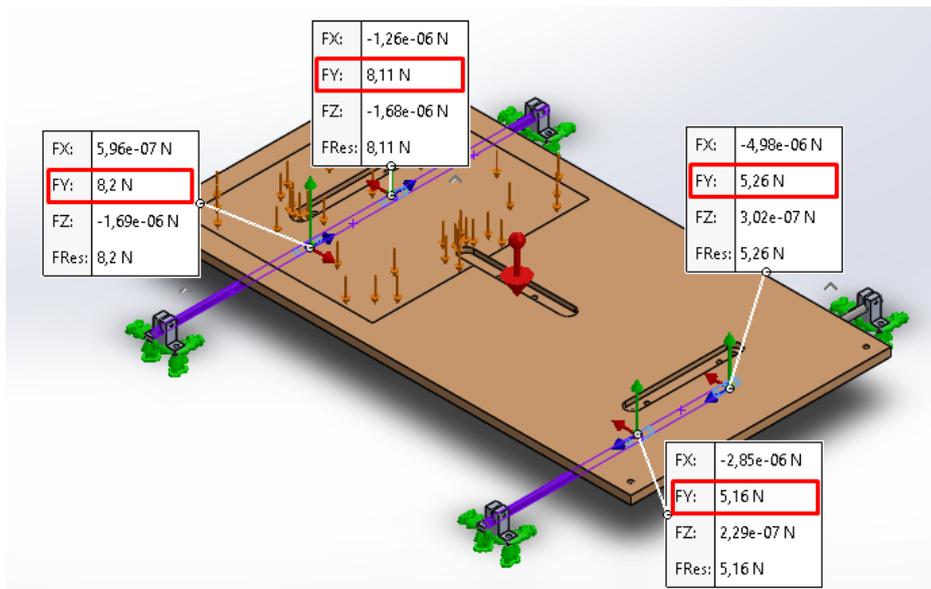
Ec. (3)

Según estos datos proporcionados, se efectúa un estudio estático en función de estas variables con la finalidad de encontrar las incógnitas, ya que dicha información es fundamental para comprobar el dimensionamiento de los diámetros de los ejes guía del mecanismo de accionamiento.

Dado el presente caso de estudio se obtuvieron valores de las fuerzas que actúan en los ejes guías del mecanismo, es decir en la superficie de contacto entre el eje y los elementos de sujeción de la mesa de trabajo. Los resultados de las fuerzas conocidas como F4, F3, F2, F1, se observan en la Ilustración 63, dichas incógnitas se identifican en la Ilustración 58.

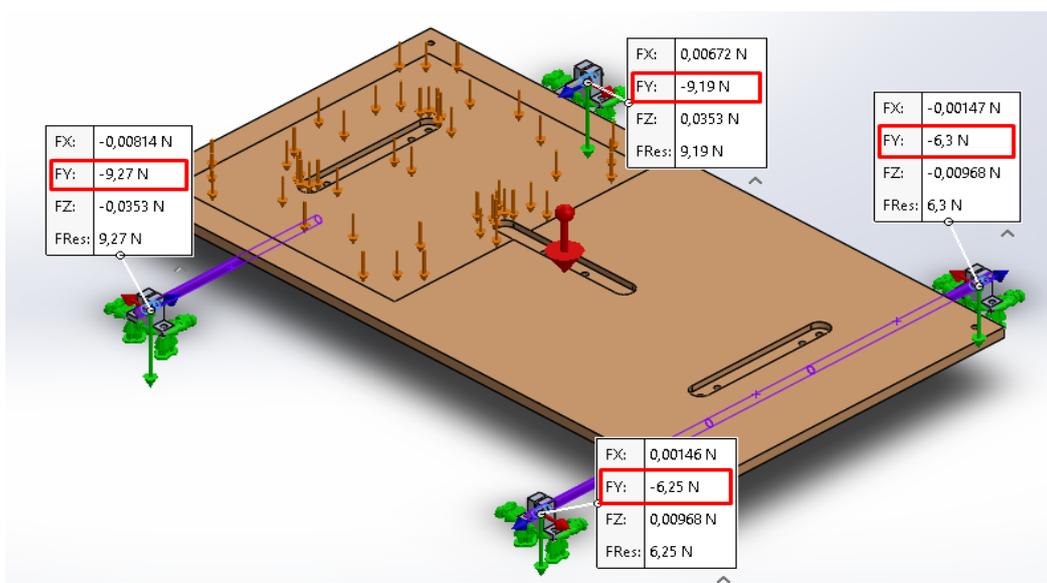
De igual forma con las reacciones producidas en la superficie de contacto entre los ejes y los soportes en cada uno de sus extremos apoyados como se observa en la Ilustración 64

Ilustración 63. Fuerzas normales que actúan en los ejes guías.



ELABORADO: AUTORES.

Ilustración 64. Reacciones en los extremos de los ejes.



ELABORADO: AUTORES.

Dado el caso seleccionado, se grafica el diagrama de cuerpo libre que se indica en la Ilustración 65, donde se observan las cargas que actúan en el eje “Y” correspondiente al movimiento de la mesa. Para ello, se consideran las masas de los elementos que se encuentran conectados en los ejes guías, cuyos valores se muestran en la Tabla 17. Estos valores se muestran en la Ilustración 93, junto con el Anexo 3 y Anexo 4 para las masas correspondientes de placa y eje.

Tabla 17. Masas de los elementos acoplados en las uniones de la mesa de trabajo.

Descripción	Valor	Unidad
Masa de los rodamientos SC8UU	0,052	kg
Masa de la placa soporte	0,039	kg
Masa del eje	0,213	kg

ELABORADO: AUTORES.

A su vez se presentan valores de las distancias en la Tabla 18, que influyen en la obtención de las cargas distribuidas.

Tabla 18. Distancias respectivas de las cargas distribuidas.

Tramo	Datos	Valor	Unidad
B-C	d1	0,1675	m
B-D	d2	0,1825	m
B-E	d3	0,1975	m
B-F	d4	0,2125	m
B-G	d5	0,2275	m
B-H	d6	0,2875	m
B-I	d7	0,3025	m
B-J	d8	0,3175	m
B-K	d9	0,3325	m
B-L	d10	0,3475	m
B-M	d11	0,515	m
A-N	d12	0,542	m

ELABORADO: AUTORES.

Donde:

M_R : Masa del rodamiento, (kg)

M_P : Masa de la placa soporte, (kg)

M_{Ey} : Masa del eje “y”, (kg)

q_R : Carga distribuida del rodamiento, $\left(\frac{N}{m}\right)$

q_P : Carga distribuida de la placa soporte, $\left(\frac{N}{m}\right)$

q_{Ey} : Carga distribuida del eje “y”, $\left(\frac{N}{m}\right)$

$$q_R = \frac{M_R * g}{d_4 - d_2} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$q_R = \frac{0,052 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,2125 \text{ m} - 0,1825 \text{ m}} = 17,004 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$q_P = \frac{M_P * g}{d_5 - d_1} \quad \text{Ec. (5)}$$

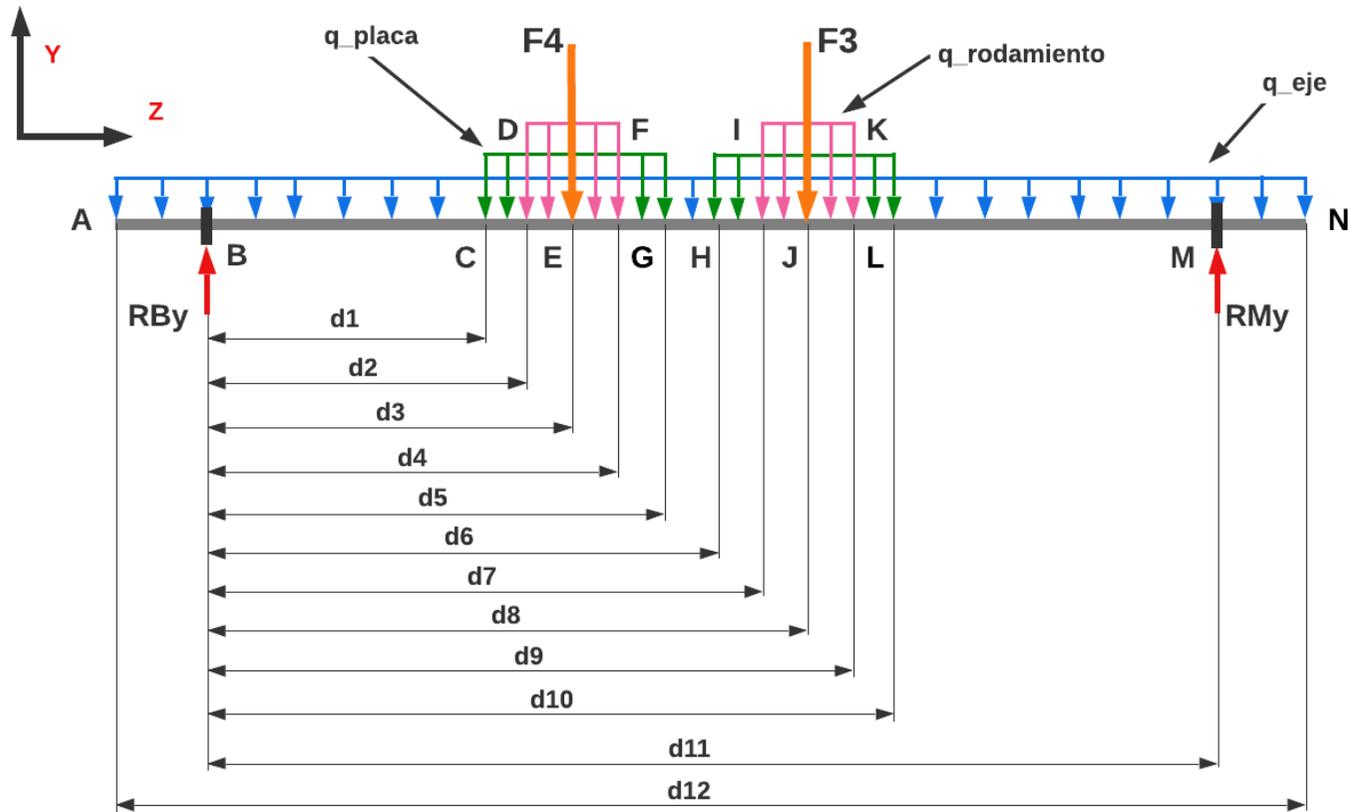
$$q_P = \frac{0,039 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,2275 \text{ m} - 0,1675 \text{ m}} = 6,376 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$q_{Ey} = \frac{M_{Ey} * g}{d_{12}}$$

Ec. (6)

$$q_{Ey} = \frac{0,213 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,542 \text{ m}} = 3,855 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Ilustración 65. Diagrama de cuerpo libre del eje "Y" de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

Donde:

P_{R1} : Carga puntual del rodamiento en unión de F4, (N)

P_{P1} : Carga puntual de la placa soporte en unión de F4, (N)

P_{R2} : Carga puntual del rodamiento en unión de F3, (N)

P_{P2} : Carga puntual de la placa soporte en unión de F3, (N)

P_{Ey} : Carga puntual del eje "Y", (N)

Considerando que:

$P_{R1} = P_{R2}$, y $P_{P1} = P_{P2}$.

$F_4 = 8,2$ N; $F_3 = 8,11$ N, observados en la **Ilustración 63**.

$$P_{R1} = [q_R * (d_4 - d_2)] \quad \text{Ec. (7)}$$

$$P_{R1} = \left[17,004 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0,2125 \text{ m} - 0,1825 \text{ m}) \right] = 0,510 \text{ N}$$

$$P_{P1} = [q_p * (d_5 - d_1)] \quad \text{Ec. (8)}$$

$$P_{P1} = \left[6,37 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0,2275 \text{ m} - 0,1675 \text{ m}) \right] = 0,382 \text{ N}$$

$$P_{Ey} = (q_{Ey} * d_{12}) \quad \text{Ec. (9)}$$

$$P_{Ey} = \left(3,85 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,542 \text{ m} \right) = 2,086 \text{ N}$$

Se determinan las reacciones:

$$\sum MB = 0$$

$$\left[(R_{My} * d_{11}) - (F_4 * d_3) - (P_{R1} * d_3) - (P_{P1} * d_3) - (F_3 * d_8) - (P_{R2} * d_8) - (P_{P2} * d_8) - \left(P_{Ey} * \frac{d_{11}}{2} \right) \right] = 0$$

$$R_{My} = 10,08 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

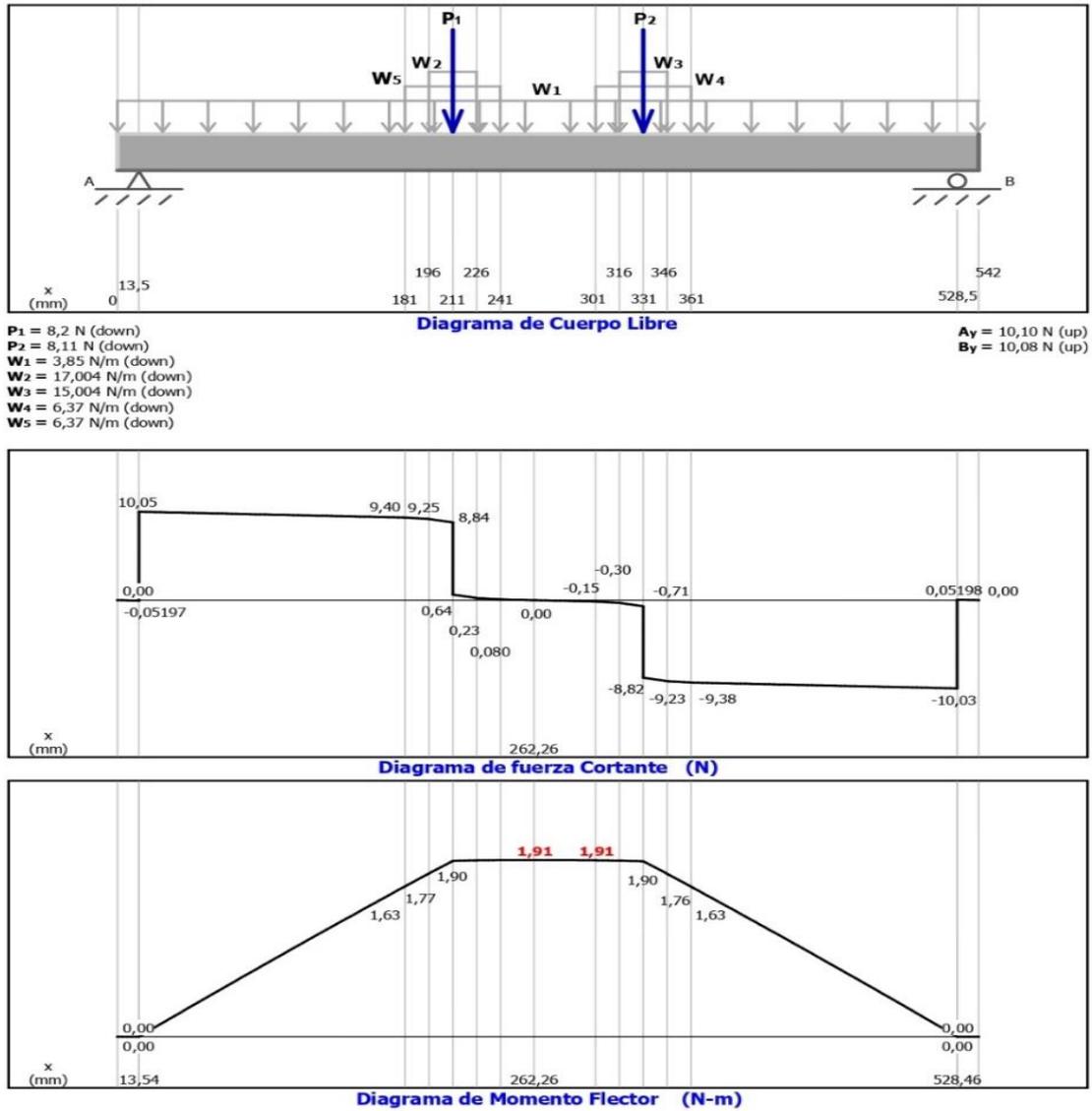
$$R_{By} + R_{My} - F_4 - F_3 - P_{R1} - P_{P1} - P_{R2} - P_{P2} - P_{Ey} = 0$$

$$R_{By} = 8,2 \text{ N} + 8,11 + 0,51 \text{ N} + 0,382 \text{ N} + 0,51 \text{ N} + 0,382 \text{ N} + 2,086 \text{ N} - R_{My}$$

$$\therefore R_{By} = 10,10 \text{ N}$$

De acuerdo con las condiciones descritas, se procede con la resolución de las variables mediante el software MdSolids, con la finalidad de comprobar los valores de las reacciones en sus apoyos. De igual importancia se debe de obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector del elemento como se observa en la Ilustración 66.

Ilustración 66. Diagramas de fuerza cortante y momento flector del eje “Y”



ELABORADO: AUTORES.

Conforme a los datos obtenidos mediante el software MdSolids se presentan los siguientes resultados:

$$R_{By} = 10,10 \text{ N}$$

$$R_{My} = 10,08 \text{ N}$$

$$M_{M\acute{a}x} = 1,91 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Los resultados previstos por el software SolidWorks que se observan en la Ilustración 64, presentan una variación con las reacciones obtenidas mediante el software MdSolids, dado que su incremento es debido a las consideraciones de cargas distribuidas de los componentes.

Para la selección del material se define según la disponibilidad que tiene en el mercado y el tipo de ejes que se implementan para este tipo de aplicaciones en las máquinas CNC. En la Tabla 19, se muestran las propiedades del material, así mismo se observan sus valores en el Anexo 6, dicha información fue extraída de la plataforma CM Total Material [54].

❖ Enlace de la plataforma: <https://portal.totalmateria.com>

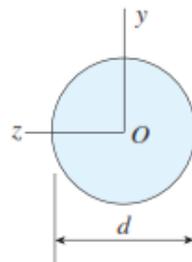
Tabla 19. Propiedades del Acero 46 Cr 13.

Propiedades del acero 46 Cr 13	Valor	Unidad
Módulo de Elasticidad	215	GPa
Límite elástico	700	MPa
Resistencia a la Tracción	900	MPa

ELABORADO: AUTORES.

El tipo de sección transversal se observa en la Ilustración 67. Dado que a partir de esta variable se determinan los diámetros requeridos.

Ilustración 67. Sección transversal del eje.



FUENTE: MECÁNICA DE MATERIALES, 2009 [55].

Considerando el esfuerzo permisible:

$$S_y = \sigma_{\text{per}} = 700 \text{ MPa}$$

Los diámetros de los ejes dependen del momento máximo producido, es por ello, que se desarrolla el siguiente procedimiento para la obtención de los valores requeridos.

$$S_{\text{req}} = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{per}}} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

S_{req} : Sección requerida, (m³)

σ_{per} : Esfuerzo permisible, (Pa)

$$S_{req} = \frac{1,91 \text{ N} \cdot \text{m}}{700 * 10^6 \text{ Pa}} = 2,728 * 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * S_{req}}{\pi}} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$\sqrt[3]{\frac{32 * 2,728 * 10^{-9}}{\pi}} = 0,003028 \text{ m}$$

$$d = 0,00302 \text{ m} = 3,028 \text{ mm}$$

El diámetro seleccionado debe ser mayor que el requerido, para no exceder el esfuerzo permisible. En lo que respecta a su selección, el eje presenta un diámetro de 8 mm considerando la apertura en el mercado, de acuerdo con su dimensión se debe determinar la sección transversal de acuerdo con la Ec. (12).

Donde:

d_s : Diámetro seleccionado, (m)

S_{cir} : Módulo de la sección, (m³)

$$S_{cir} = \frac{\pi * d_s^3}{32} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\frac{\pi * (0,008 \text{ m})^3}{32} = 5,0265 * 10^{-8} \text{ m}^3$$

Dado que se conoce el módulo de elasticidad que se observa en la Tabla 19, mediante el software MdSolids con la finalidad de obtener valores de deflexión y corroborar sus resultados.

Donde:

E: Módulo de elasticidad, $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$

I: Momento de inercia, (mm⁴)

$$E = 2,15 * 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Para ello se determina el momento de inercia del elemento. El resultado obtenido se observa en el Anexo 7.

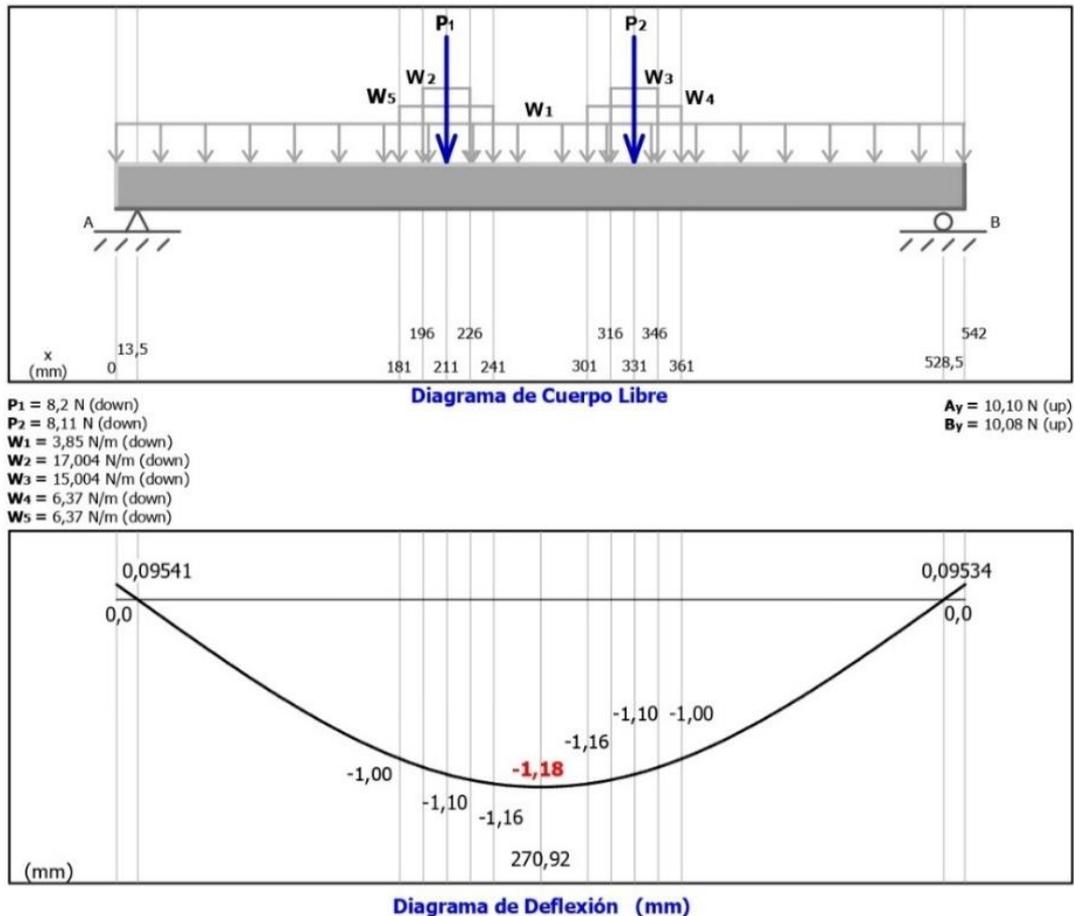
$$I = \frac{\pi * d_s^4}{64} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$I = \frac{\pi * (8 \text{ mm})^4}{64}$$

$$I = 201,0619 \text{ mm}^4$$

De acuerdo con las cargas actuantes en el elemento, la deflexión obtenida es de 1,18 mm a una distancia de 270,92 mm, es decir a 257,42 mm desde el apoyo en el extremo izquierdo del eje. El resultado se observa en la Ilustración 68.

Ilustración 68. Diagrama de deflexión.



ELABORADO: AUTORES.

De acuerdo con el análisis realizado, el eje presenta esfuerzos normales debido a que este se somete a flexión pura, a su vez como presenta una sección transversal constante en toda su longitud, la ecuación de esfuerzo se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{Z} \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde:

Z: Módulo de sección, (m³)

M_{máx}: Momento máximo flexionante, (N*m)

$$Z = S_{\text{cir}}$$

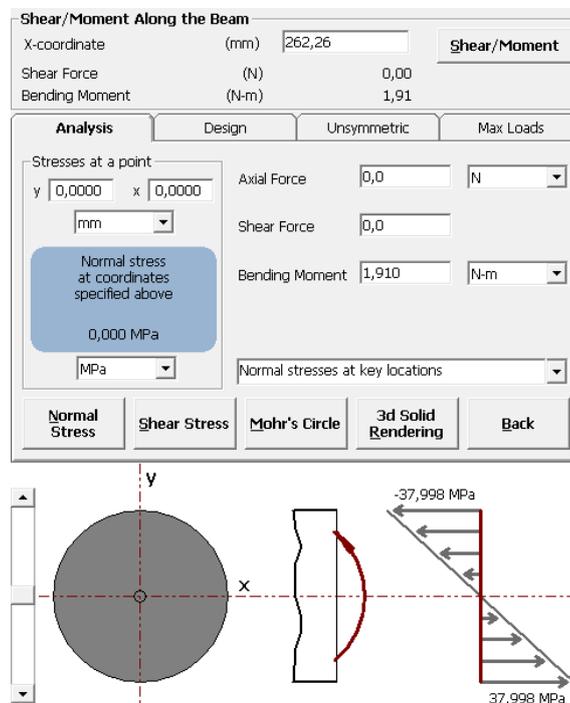
Entonces se obtiene que el esfuerzo máximo seleccionado mediante la Ec. (14).

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{S_{\text{cir}}}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{1,91 \text{ N} \cdot \text{m}}{5,0265 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3} = 37,998 \text{ MPa}$$

El software MdSolids corrobora el dato obtenido de acuerdo con el momento máximo. El valor de esfuerzo se puede identificar en la Ilustración 69.

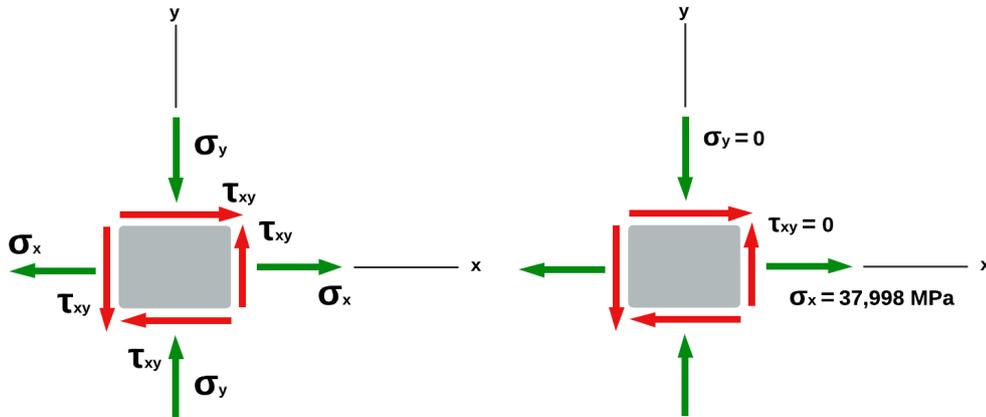
Ilustración 69. Esfuerzo máximo.



ELABORADO: AUTORES.

El caso de estudio presenta una condición de esfuerzo plano, este se lo puede observar en la Ilustración 70.

Ilustración 70. Plano de esfuerzos.



ELABORADO: AUTORES.

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (16)}$$

Se determinan los esfuerzos principales mediante la Ec. (15) y Ec. (16):

$$\sigma_1 = \frac{37,998 \text{ MPa} + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{37,998 \text{ MPa} - 0}{2}\right)^2 + 0}$$

$$\sigma_1 = 37,998 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{37,998 \text{ MPa} + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{37,998 \text{ MPa} - 0}{2}\right)^2 + 0}$$

$$\sigma_2 = 0 \text{ MPa}$$

Para evaluar el factor de seguridad del elemento se recurre a comprobar a través de la teoría de falla mediante el criterio de fluencia de la Energía de distorsión (ED). En lo que respecta al caso, el elemento presenta un comportamiento dúctil.

Donde se realizan las siguientes consideraciones:

$$\sigma_A = \sigma_1$$

$$\sigma_B = \sigma_2$$

σ' : Esfuerzo Von Mises, (MPa)

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A * \sigma_B + \sigma_B^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (17)}$$

Se determina el esfuerzo de Von Mises mediante la Ec. (17):

$$\sigma' = \{(37,998)^2 - [37,998 * (0)] + (0)^2\}^{\frac{1}{2}}$$
$$\sigma' = 37,998 \text{ MPa}$$

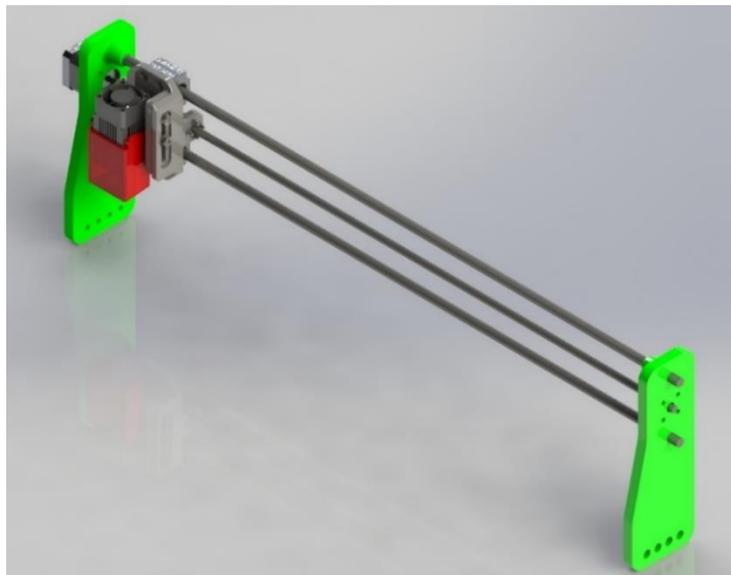
Se determina el factor de seguridad mediante la Ec. (18):

$$n = \frac{S_{sy}}{\sigma'} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\sigma'} = \frac{700 \text{ MPa}}{37,998 \text{ MPa}} = 18,422$$

El análisis de los ejes guías correspondientes al carro de desplazamiento del eje "X" de la máquina CNC, que se observa en la Ilustración 71. Se necesita la masa de cada uno de los componentes que soporta el eje guía superior e inferior del láser. El eje medio caracterizado como husillo no soporta ningún peso, por motivo a que este funciona como eje de dirección horizontal para desplazar la masa.

Ilustración 71. Estructura del carro de desplazamiento del eje "X"



ELABORADO: AUTORES.

Tabla 20. Masas de los elementos acoplados en las uniones del láser.

Descripción	Valor	Unidad
Placa soporte rodamientos lineales	0,113	kg
Placa soporte módulo láser	0,053	kg
Rodamientos SC10UU	0,184	kg
Módulo láser	0,300	kg

ELABORADO: AUTORES.

Para este caso la masa total de la Tabla 20 es de 0,65 kg, dado que esta se distribuye en sus dos ejes superior e inferior, de lo cual se obtiene un valor de $M_{CDx} = 0,325$ kg, que produce una carga distribuida en el área de contacto que se encuentra sujetado el carro de desplazamiento.

Los datos mencionados se pueden encontrar la Ilustración 93 para la masa del rodamiento, sin embargo se lo toma en cuenta dos veces el carro desplazamiento “X” que conforma con 2 rodamientos SC10UU, la masa de la placa de soporte se la encuentra en el Anexo 8 y el del láser en el Anexo 9. A su vez se presentan valores de las distancias en la Tabla 21, que influyen en la obtención de las cargas distribuidas.

Tabla 21. Distancias respectivas de las cargas distribuidas.

Tramo	Datos	Valor	Unidad
B-C	d1	0,3635	m
B-D	d2	0,3985	m
B-E	d3	0,762	m
A-F	d4	0,8	m

ELABORADO: AUTORES.

Donde:

M_{CDx} : Masa del carro de desplazamiento del eje “X”, (kg)

M_{Ex} : Masa del eje “X”, (kg)

q_{CDx} : Carga distribuida del carro de desplazamiento del eje “X”, $\left(\frac{N}{m}\right)$

q_{Ex} : Carga distribuida del eje “X”, $\left(\frac{N}{m}\right)$

$$q_{CDx} = \frac{M_{CDx} * g}{d_2 - d_1} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$q_{CDx} = \frac{0,325 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,3985 \text{ m} - 0,3635 \text{ m}}$$

$$q_{CDx} = 91,092 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

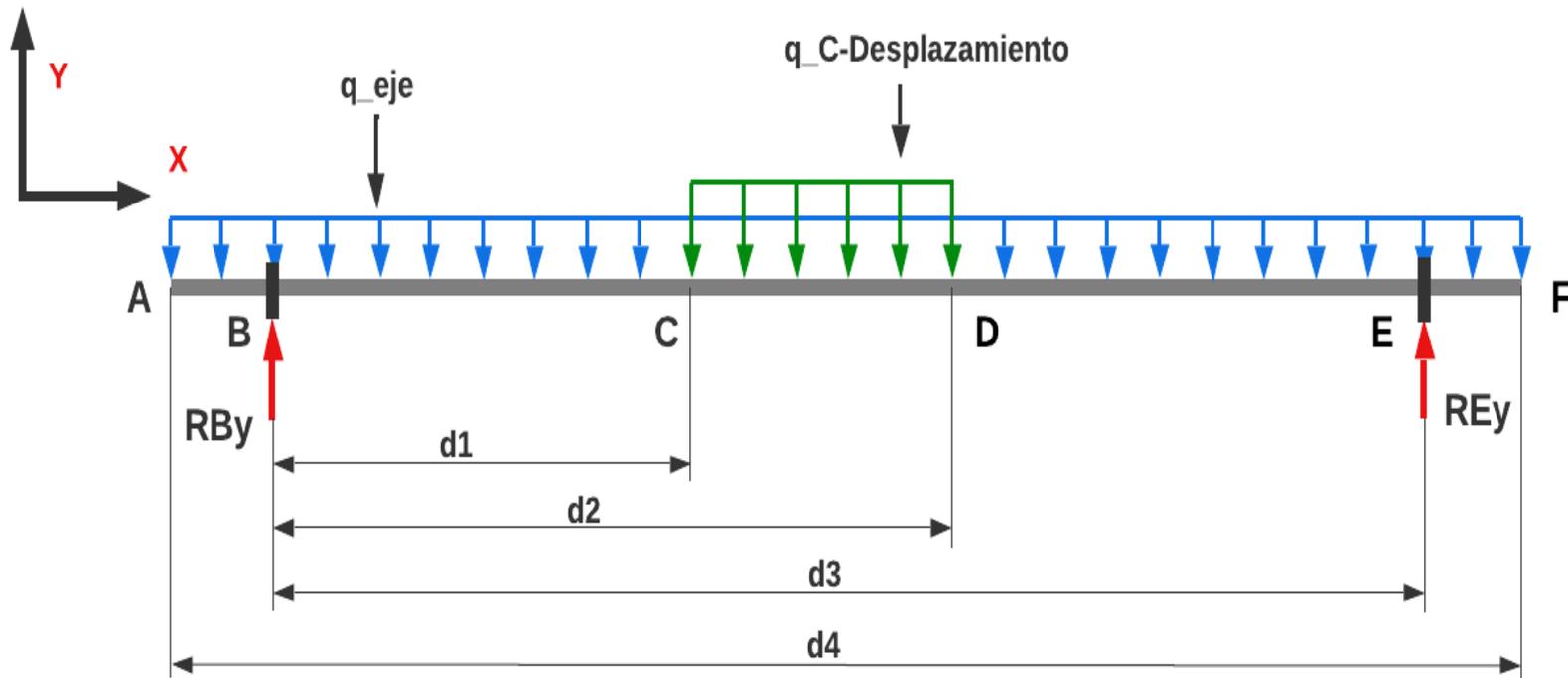
El valor de la masa del eje "X" se observa en el Anexo 5. Donde se determina la carga distribuida del mismo.

$$q_{Ex} = \frac{M_{Ex} * g}{d_4} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$q_{Ex} = \frac{0,503 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,8 \text{ m}}$$

$$q_{Ex} = 6,164 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Ilustración 72. Diagrama de cuerpo libre del eje "X" de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

Donde:

P_{CDx} : Carga puntual del carro de desplazamiento, (N)

P_{Ex} : Carga puntual del eje "X", (N)

$$P_{CDx} = [q_{CDx} * (d_2 - d_1)]$$
$$P_{CDx} = \left[91,092 \frac{N}{m} * (0,3985m - 0,3635) \right] = 3,188$$
$$P_{Ex} = (q_{Ex} * d_4)$$
$$P_{Ex} = \left(6,164 \frac{N}{m} * 0,8 m \right) = 4,931 N$$

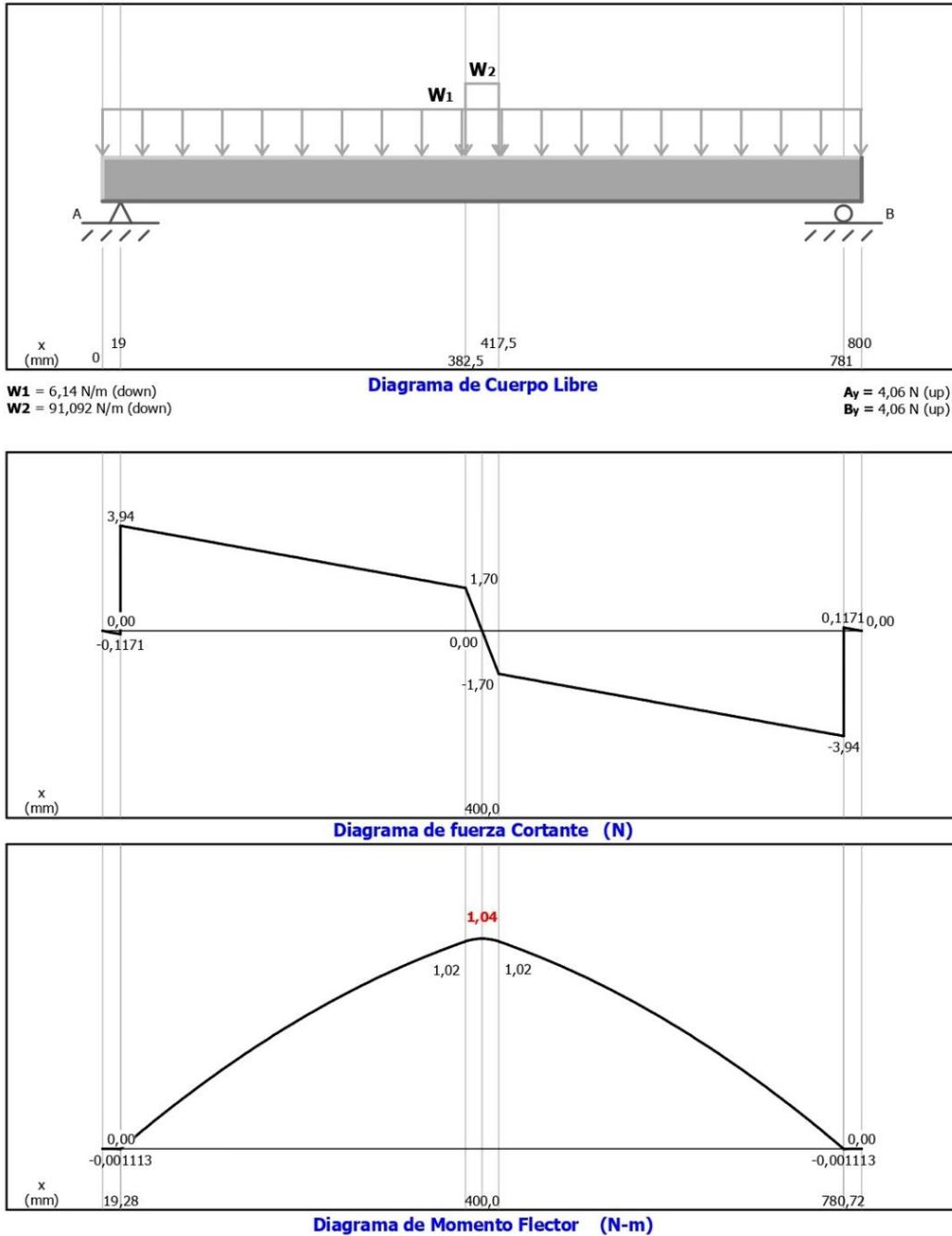
Se determinan las reacciones:

$$\sum MB = 0$$
$$\left[(R_{Ey} * d_3) - (P_{CDx} * \frac{d_3}{2}) - (P_{Ex} * \frac{d_3}{2}) \right] = 0$$
$$R_{Ey} = \frac{\left[(P_{CDx} * \frac{d_3}{2}) + (P_{Ex} * \frac{d_3}{2}) \right]}{d_3}$$
$$R_{Ey} = \frac{\left[(3,188 N * \frac{0,762}{2}) + (4,931 N * \frac{0,762}{2}) \right]}{0,762 m}$$
$$R_{Ey} = 4,06 N$$

$$\sum Fy = 0$$
$$R_{By} + R_{Ey} - P_{CDx} - P_{Ex} = 0$$
$$R_{By} = P_{CDx} + P_{Ex} - R_{Ey}$$
$$R_{By} = 3,188 N + 4,931 - 4,06$$
$$\therefore R_{By} = 4,06 N$$

Como se observa en la Ilustración 73, el software MdSolids desarrolla los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Ilustración 73. Diagrama de fuerza cortante y momento flector.



ELABORADO: AUTORES.

Conforme a los datos obtenidos mediante el software MdSolids se presentan los siguientes resultados:

$$R_{AY} = R_{BY} = 4,06 \text{ N}$$

$$M_{M\acute{a}x} = 1,04 \text{ N} \cdot \text{m}$$

De acuerdo con el caso descrito con las cargas suministradas, se desarrolla el siguiente procedimiento para la obtención del diámetro requerido de acuerdo con la sección obtenida.

Se determina el diámetro mínimo requerida por medio de la Ec. (10).

$$S_{\text{req}} = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{per}}}$$

$$S_{\text{req}} = \frac{1,04 \text{ N} \cdot \text{m}}{700 \times 10^6 \text{ Pa}} = 1,486 * 10^{-9} \text{ m}^3$$

El diámetro mínimo requerido utilizando la Ec. (11).

$$d^3 = \frac{32 * S_{\text{cir}}}{\pi}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * S_{\text{req}}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 1,486 * 10^{-9} \text{ m}^3}{\pi}} = 0,002473 \text{ m}$$

$$d = 0,002451 \text{ m} = 2,473 \text{ mm}$$

El diámetro seleccionado debe ser mayor que el requerido, para no exceder el esfuerzo permisible. En lo que respecta a su selección, el eje presenta un diámetro de 10 mm considerando la apertura en el mercado, de acuerdo con su dimensión se debe determinar la sección transversal.

Donde:

d_s : diámetro seleccionado, (m)

S_{cir} : Sección circular de selección, (m^3)

Para calcular la sección circular de selección se debe de utiliza la Ec. (12).

$$S_{\text{cir}} = \frac{\pi * (0,01 \text{ m})^3}{32} = 9,817 * 10^{-8} \text{ m}^3$$

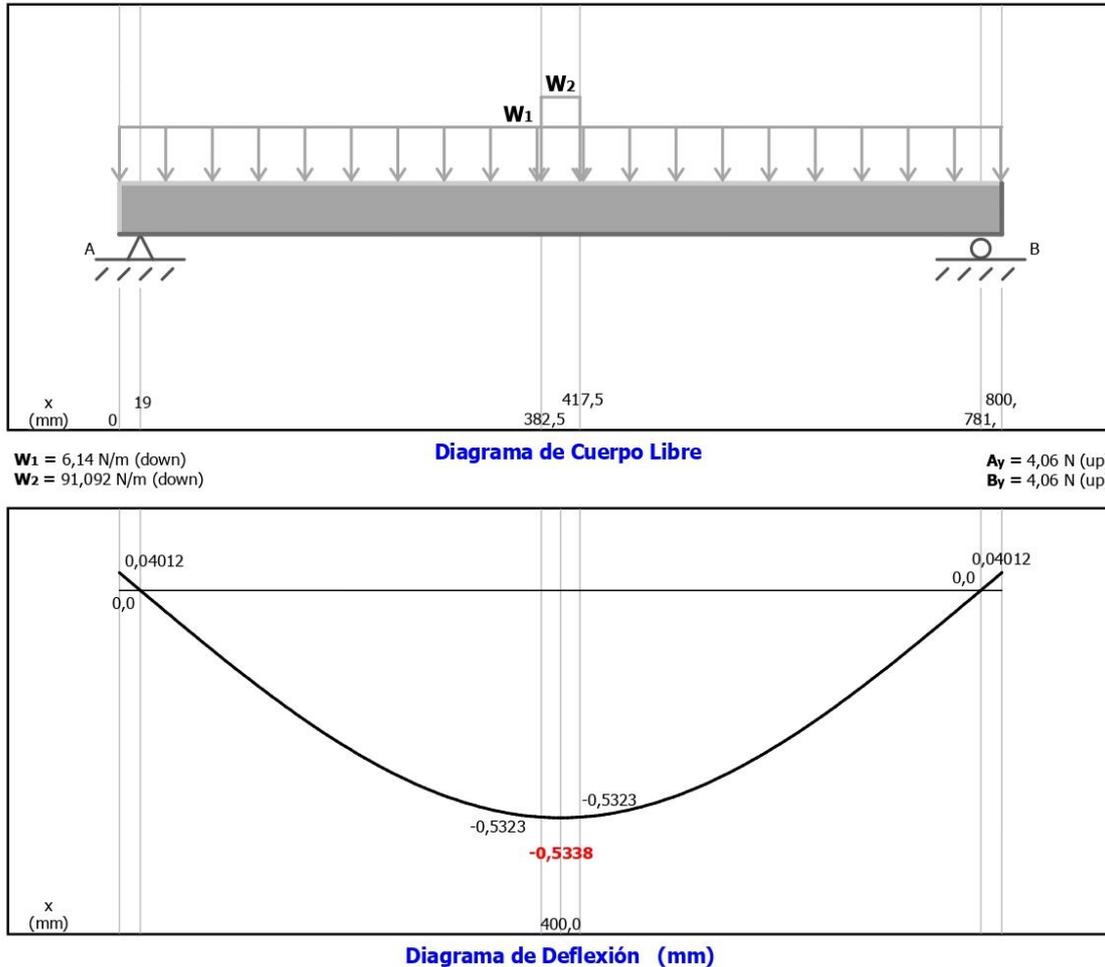
Por medio del software MdSolids se obtienen valores de deflexión, a su vez, se determina el momento de inercia del elemento según la Ec. (13). El resultado se muestra en el Anexo 11.

$$I = \frac{\pi * (10 \text{ mm})^4}{64}$$

$$I = 490,874 \text{ mm}^4$$

De acuerdo con las cargas que actúan en el elemento, la deflexión obtenida es de 0,5734 mm a una distancia de 400 mm como se observa en la Ilustración 74, es decir a 381 mm desde el apoyo en el extremo izquierdo del eje.

Ilustración 74. Diagrama de deflexión.



ELABORADO: AUTORES.

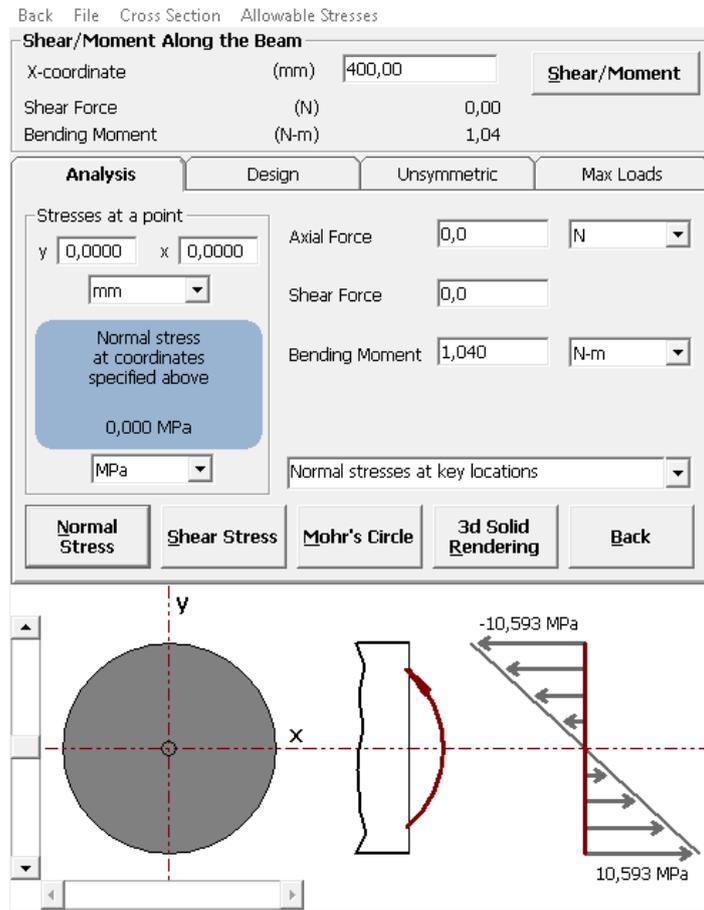
De acuerdo con el análisis realizado, el eje presenta esfuerzos normales debido a que este se somete a flexión pura, a su vez como presenta una sección transversal constante en toda su longitud.

Se determina el esfuerzo mediante la Ec. (14).

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{1,04 \text{ N} \cdot \text{m}}{9,817 * 10^{-8} \text{ m}^3} = 10,594 \text{ MPa}$$

El software MdSolids corrobora el dato obtenido de acuerdo con el momento máximo. El valor de esfuerzo se puede identificar en la Ilustración 75.

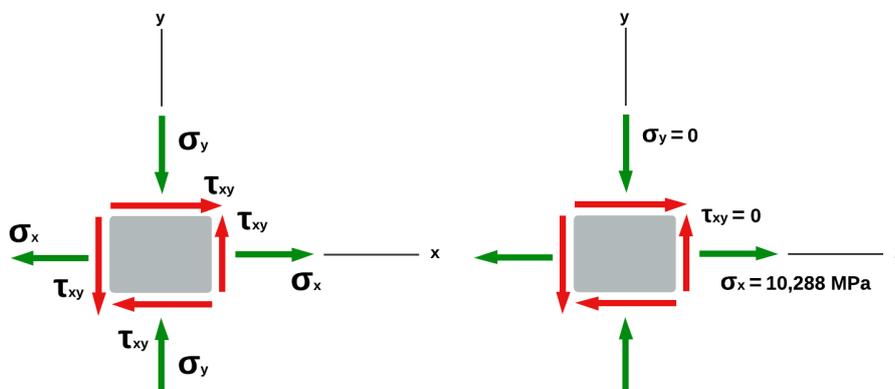
Ilustración 75. Esfuerzo máximo.



ELABORADO: AUTORES.

El caso de estudio presenta una condición de esfuerzo plano como se observa en la Ilustración 76, se determinan los esfuerzos principales que presenta el elemento.

Ilustración 76. Plano de esfuerzos.



ELABORADO: AUTORES.

Se determinan los esfuerzos principales que presenta el elemento por medio de la Ec. (15) y Ec. (16).

$$\sigma_1 = \frac{10,594 \text{ MPa} + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{10,594 \text{ MPa} + 0}{2}\right)^2 + 0}$$
$$\sigma_1 = 10,594 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{10,594 \text{ MPa} + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{10,594 \text{ MPa} + 0}{2}\right)^2 + 0}$$
$$\sigma_2 = 0 \text{ MPa}$$

Evaluando mediante la teoría de falla de la Ec. (17)

Se realizan las siguientes consideraciones:

$$\sigma_A = \sigma_1$$

$$\sigma_B = \sigma_2$$

$$\sigma' = \{(10,594)^2 - [10,594 * (0)] + (0)^2\}^{\frac{1}{2}}$$
$$\sigma' = 10,594 \text{ MPa}$$

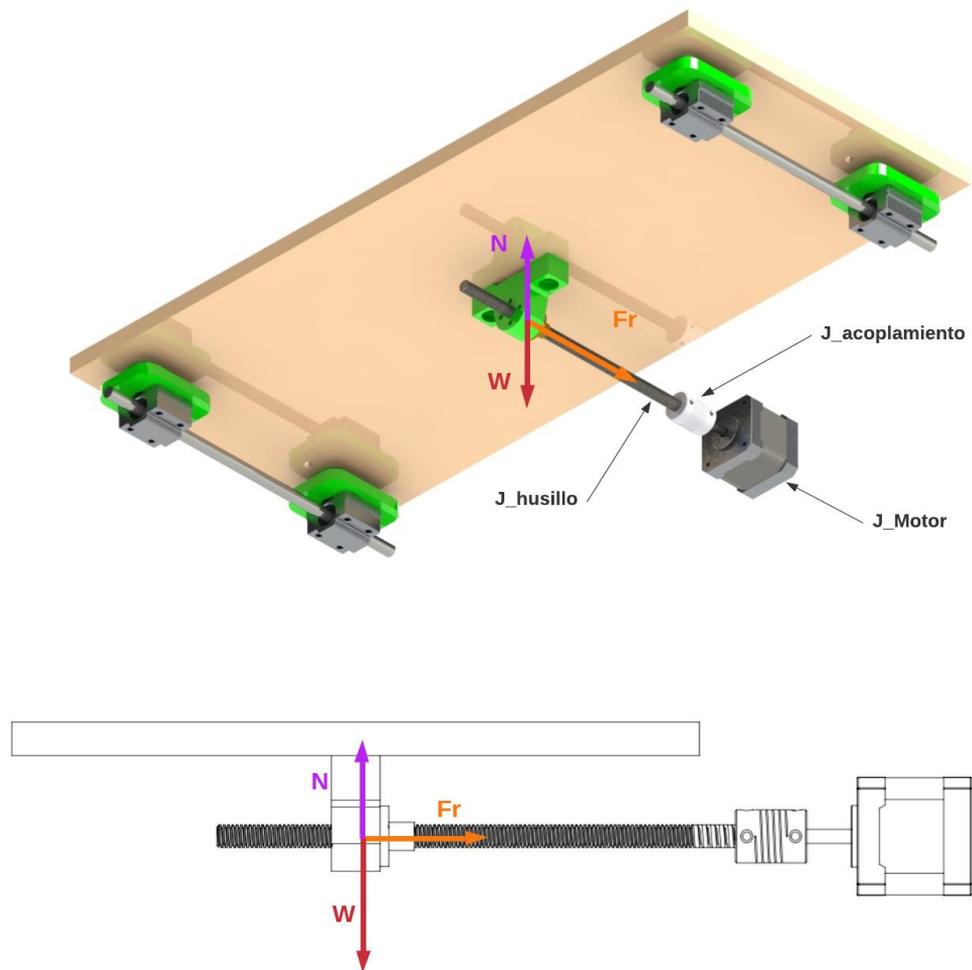
Se determina el factor de seguridad por medio de la Ec. (18)

$$n = \frac{S_{sy}}{\sigma'} = \frac{700 \text{ MPa}}{10,594 \text{ MPa}} = 66,075$$

5.1.1. Selección de motores.

El sistema de accionamiento cuenta con ejes de tipo husillo, con la finalidad de obtener un desplazamiento axial en los ejes respectivos de la máquina “X” y “Y”, por medio de la asistencia de motores paso a paso.

Ilustración 77. Esquema teórico del sistema de accionamiento del eje “Y”.



ELABORADO: AUTORES.

Para el caso respectivo que se muestra en la Ilustración 77. Los valores de masas respectivas de cada elemento se observan en la Tabla 22, a su vez el caso presenta un ángulo de inclinación $\theta = 0$, debido a que el sistema de accionamiento se encuentra sobre el plano horizontal.

Tabla 22. Componentes por desplazar de la mesa

Descripción	Valor	Unidad
Mesa de trabajo	1,557	kg
Tabla de trabajo	0,800	kg
Placa soporte del husillo	0,029	kg
Masa de la placa de soporte	0,155	kg
Rodamientos SC8UU	0,208	kg

ELABORADO: AUTORES.

La mesa de trabajo y tabla de trabajo se lo puede observar en la Tabla 16, la placa soporte del husillo está en el Anexo 10, la masa de la placa de soporte se encuentra en el Anexo 3, estas se consideran 4 veces su valor al constatar 4 elementos del mismo al igual en el rodamiento SC8UU que está ubicado en la Ilustración 93.

Donde:

M_T : Masa de la tabla de trabajo, (kg)

M_{MT} : Masa del material de trabajo, (kg)

M_{SH} : Masa del soporte del husillo, (kg)

M_P : Masa de la placa soporte, (kg)

M_R : Masa de los rodamientos, (kg)

M_{T1} : Masa total de los elementos a desplazarse, (kg)

θ : Ángulo de inclinación, ($^\circ$)

F_r : Fuerza de rozamiento, (N)

Se realiza la sumatoria de las masas de los componentes:

$$M_{T1} = M_T + M_{MT} + M_{SH} + M_P + M_R$$

$$M_{T1} = 2,75 \text{ kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$\therefore N = W$$

$$W = M_{T1} * g$$

Ec. (21)

Se determina el peso equivalente a la masa mediante la Ec. (21)

$$W = 2,75 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 26,98 \text{ N}$$

Este tipo de sistema presenta una carga F_r , para la cual su coeficiente de rozamiento se muestra en el Anexo 12, debido a que en el mecanismo de accionamiento tiene una correspondencia entre los materiales de husillo y tuerca. Por lo tanto, se interpreta la relación entre Acero-Bronce. Donde obtiene un valor promedio de:

$$\mu = 0,19$$

La fuerza de fricción se determina mediante la Ec. (22).

$$F_r = \mu * N$$

Ec. (22)

$$F_r = 0,19 * 26,98 = 5,126 \text{ N}$$

Se conoce que los motores NEMA desempeñan su función a un valor respectivo de $\theta_{\text{paso}} = 200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}}$ y los husillos permiten un deslizamiento de $d_{\text{carga}} = 8 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$, lo cual, es el recorrido que presenta por rotación del eje del actuador. Para estudiar el caso, se toma en cuenta ciertas consideraciones como dato requerido con la finalidad de proceder con el desarrollo del análisis. De tal manera que la distancia de movimiento requerida es de 70 mm.

Para el caso presentado de la razón de reducción del reductor de velocidad es $i = 1$, debido a que el sistema de accionamiento no cuenta con un componente reductor, es decir, es que el motor se encuentra directamente acoplado al eje, el cual entrega la cantidad de pasos requerida por accionamiento.

$$P_{\text{Total}} = \left[\left(\frac{D_{\text{Total}}}{\frac{d_{\text{carga}}}{i}} \right) * \theta_{\text{paso}} \right] \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

P_{Total} : Pulsos totales, (pulsos)

D_{Total} : Distancia total del movimiento, (mm)

d_{carga} : Distancia que se mueve la carga por rotación del eje del actuador, $\left(\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right)$

i : Razón de la reducción

θ_{paso} : Resolución del paso del accionamiento $\left(\frac{\text{pasos}}{\text{rev}} \right)$

Se obtienen los pulsos totales a partir de la Ec. (23).

$$P_{\text{Total}} = \left[\left(\frac{70 \text{ mm}}{8 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 1} \right) * 200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}} \right] = 1750 \text{ pulsos}$$

De igual forma se estima un valor de tiempo total para su accionamiento, el cual corresponde a un valor de $t_{\text{total}} = 4 \text{ s}$.

Se estima un valor del 25% de t_{total} , para determinar t_{acel} :

La Ec. (24) toma en cuenta el porcentaje del tiempo. Tiempo de aceleración o desaceleración

$$t_{\text{acel}} = t_{\text{total}} * 25\% \quad \text{Ec. (24)}$$

Donde:

t_{acel} : Tiempo de aceleración o desaceleración, (s)

t_{total} : Tiempo total, (s)

$$t_{\text{acel}} = 4 \text{ s} * 25\% = 1 \text{ s}$$

El perfil trapezoidal se lo puede terminar mediante la Ec. (25).

$$f_{\text{Trapez}} = \left[\frac{P_{\text{Total}} - (f_0 * t_{\text{acel}})}{t_{\text{total}} - t_{\text{acel}}} \right] \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde:

f_{Trapez} : Perfil trapezoidal, (Hz)

P_{Total} : Pulsos totales, (pulsos)

f_0 : Velocidad de partida, (Hz)

$$f_{\text{Trapez}} = \left[\frac{1750 \text{ pasos} - (40 \text{ Hz} * 1 \text{ s})}{4 \text{ s} - 1 \text{ s}} \right] = 570 \text{ Hz}$$

En la velocidad trapezoidal del eje del motor se debe llevar a RPM, donde se obtiene la siguiente expresión:

$$\omega = \left[570 \text{ Hz} * \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \right]$$

$$\omega = \left[570 \text{ Hz} * \left(\frac{\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}}{200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}}} \right) \right] = 171 \text{ RPM}$$

A continuación, se debe determinar la inercia total que presenta el sistema donde se considera que: $J_{\text{reductor}} = J_{\text{acoplamiento}} = J_{\text{motor}} = 0$. Dado que, la inercia del reductor es nula, debido a que se considera de que el sistema no cuenta con dicho dispositivo, a su vez, la unión entre el motor y el eje es directa, por medio de su acoplamiento. De tal manera que, las inercias de estos dos dispositivos serán despreciadas hasta considerar un motor que opere de acuerdo con la selección.

La inercia de la carga se la puede determinar mediante la Ec. (26).

$$J_w = \left[\left(\frac{M_{T1}}{e} \right) * \left(\frac{1}{2\pi P} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. (26)}$$

Se considera que, $e = 0,24$, ya que este valor representa la eficiencia de la tuerca metálica que se une al carro de deslizamiento ubicado en el Anexo 13. Paso del tornillo $8 \frac{\text{min}}{\text{rev}}$ se lo transforma a $\frac{\text{rev}}{\text{min}}$.

Donde:

J_w : Inercia de la carga, (kgm^2)

M_{T1} : Masa total de los elementos a desplazarse, (kg)

e : Eficiencia

P : Paso del tornillo, $\left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right)$

$$J_w = \left[\left(\frac{2,75 \text{ Kg}}{0,24} \right) * \left(\frac{1}{2\pi * \left(\frac{1}{8 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,001} \right)} \right)^2 \right] = 1,858 * 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Para los valores de ρ y r , se escogen de manera teórica, debido a que son variables no definidas, ya que depende directamente de la selección del material y el diámetro de eje de tornillo, por donde se escoge un material AISI 304, su $\rho = 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, cuyo eje corresponde a un diámetro teórico de $\emptyset = 8\text{mm}$

De acuerdo con la Ec. (27) se determinará la inercia del tornillo:

$$J_{\text{tornillo}} = \left[\frac{(\pi * L * \rho * r^4)}{2} \right] \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde:

J_{tornillo} : Inercia del tornillo, (kgm^2)

L: Longitud del tornillo (m)

ρ : Densidad (kg/m^3)

r: Radio (m)

$$J_{\text{tornillo}} = \left[\frac{\pi * 0,495\text{m} * 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (0,004\text{m})^4}{2} \right] = 1,592 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Para la inercia del motor se puede determinar mediante la Ec. (28).

$$J_{\text{Total}} = \left[J_{\text{motor}} + J_{\text{reductor}} + \frac{(J_{\text{acoplamiento}} + J_{\text{tornillo}} + J_{\text{W}})}{i^2} \right] \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde:

J_{Total} : Inercia del motor más inercia de la carga, (kgm^2)

J_{motor} : Inercia del motor, (kgm^2)

J_{reductor} : Inercia del reductor, (kgm^2)

$J_{\text{acoplamiento}}$: Inercia del acoplamiento, (kgm^2)

$$J_{\text{Total}} = \left[\frac{1,592 * 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 1,858 * 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{1^2} \right] = 2,017 * 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Se busca determinar el torque de aceleración mediante la Ec. (29).

$$T_{\text{acel}} = J_{\text{total}} * \left[\left(\frac{\omega}{t_{\text{acel}}} \right) * \left(\frac{2\pi}{60} \right) \right] \quad \text{Ec. (29)}$$

$$T_{\text{acel}} = 2,017 * 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 * \left[\left(\frac{171 \text{ RPM}}{1 \text{ s}} \right) * \left(\frac{2\pi}{60} \right) \right] = 3,611 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para el caso de $T_{\text{precarga}} = 0$, se considera en la Ec. (30) dicho valor debido a que se desprecia el retroceso ejercido por los componentes sin accionamiento del sistema.

$$T_{\text{resist}} = \left[\frac{\left(\frac{F_r}{2\pi P} + T_{\text{precarga}} \right)}{i} \right] \quad \text{Ec. (30)}$$

$$T_{\text{resist}} = \frac{\left[\frac{5,126 \text{ N}}{2\pi * \left(\frac{1}{8 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,001} \right)} + 0 \right]}{1} = 6,526 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque total se obtiene mediante la Ec. (31).

$$T_{\text{Total}} = T_{\text{acel}} + T_{\text{resist}} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$T_{\text{Total}} = 3,611 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} + 6,526 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 6,887 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

La corrección del torque de aceleración correspondiente al motor del eje “Y” se obtiene mediante la Ec. (32). La inercia del motor es igual a $6,8 * 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ [56].

$$T_{\text{acel}} = (J_{\text{total}} + J_{\text{motor}}) * \left[\left(\frac{\omega}{t_{\text{acel}}} \right) * \frac{2\pi}{60} \right] \quad \text{Ec. (32)}$$

Donde:

$$J_{\text{motor}} = 6,8 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$T_{\text{acel}} = (2,017 * 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 + 6,8 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2) * \left[\left(\frac{171 \text{ RPM}}{1 \text{ s}} \right) * \frac{2\pi}{60} \right]$$

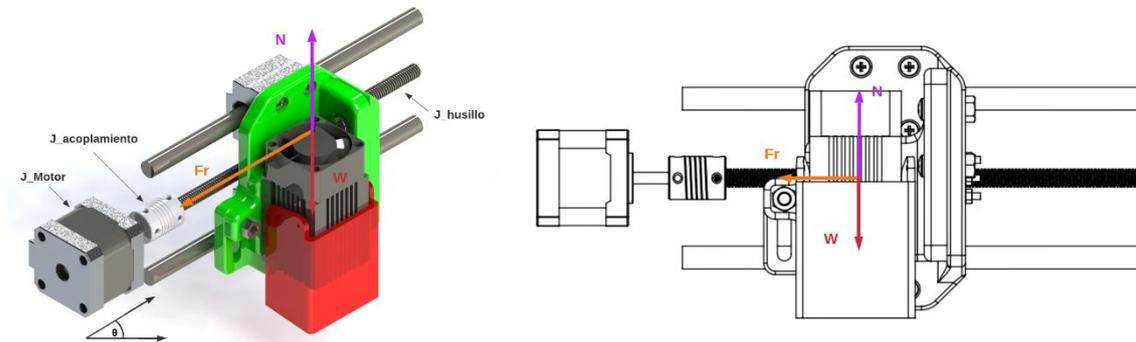
$$T_{\text{acel}} = 4,829 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque total requerido se lo recalcula mediante la Ec. (31).

$$T_{\text{Total}} = 4,829 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} + 6,526 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 7,01 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con respecto a la Ilustración 78, se observan las fuerzas que se involucran en el sistema de accionamiento del eje “X” de la máquina. Dado el caso presente, se procede a realizar el análisis a dichas consideraciones.

Ilustración 78. Esquema teórico del sistema de accionamiento del eje “X”.



ELABORADO: AUTORES.

La masa total viene a ser la suma de los componentes de la Tabla 20, a su vez, el caso presenta un ángulo de inclinación $\theta = 0$ debido a que el sistema de accionamiento se encuentra sobre el plano horizontal.

Donde:

M_{T2} : Masa total de los elementos a desplazarse, (kg)

θ : Ángulo de inclinación, ($^{\circ}$)

F_r : Fuerza de rozamiento, (N)

Se realiza la sumatoria de las masas de los componentes:

$$M_{T2} = 0,65 \text{ kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$\therefore N = W$$

Se determina el peso equivalente a la masa mediante la Ec. (33)

$$W = M_{T2} * g$$

Ec. (33)

$$W = 0,65 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 6,38 \text{ N}$$

Al usar los mismos materiales del husillo y tuerca el valor del coeficiente fricción promedio es de:

$$\mu = 0,19$$

A su vez, su fuerza de fricción se determina mediante Ec. (22)

$$F_r = 0,19 * 6,38 \text{ N} = 1,212 \text{ N}$$

Considerando los valores para el caso de estudio anteriormente descrito del sistema de accionamiento, se tienen valores de:

$$\theta_{\text{paso}} = 200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}}$$

$$d_{\text{carga}} = 8 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$D_{\text{Total}} = 70 \text{ mm}$$

Para el caso presentado de la razón de reducción del reductor de velocidad es $i = 1$, debido a que el sistema de accionamiento no cuenta con un componente reductor, es decir, es que el motor se encuentra directamente acoplado al eje, el cual entrega la cantidad de pasos requerida por accionamiento.

Los pulsos totales se determinan a partir de la Ec. (23)

$$P_{\text{Total}} = \left[\left(\frac{70 \text{ mm}}{8 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} \right) * 200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}} \right] = 1750 \text{ pulsos}$$

De igual forma se estima un valor de tiempo total para su accionamiento, el cual corresponde a un valor de $t_{\text{total}} = 4 \text{ s}$ y 25% de su tiempo de aceleración.

Considerando el resultado de la Ec. (24)

$$t_{\text{acel}} = 4 \text{ s} * 25\% = 1 \text{ s}$$

El perfil trapezoidal se puede terminar mediante la Ec. (25).

$$f_{\text{Trapez}} = \left[\frac{1750 \text{ pasos} - (40 \text{ Hz} * 1 \text{ s})}{4 \text{ s} - 1 \text{ s}} \right] = 570 \text{ Hz}$$

En la velocidad trapezoidal del eje del motor se debe llevar a RPM, donde se obtiene la siguiente expresión:

$$\omega = \left[570 \text{ Hz} * \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}}} \right) \right] = 171 \text{ RPM}$$

A continuación, se debe determinar la inercia total que presenta el sistema donde se considera que: $J_{\text{reductor}} = J_{\text{acoplamiento}} = J_{\text{motor}} = 0$. Dado que, la inercia del reductor es nula, debido a que se considera que el sistema no cuenta con dicho dispositivo, a su vez, la unión entre el motor y el eje es directa, por medio de su acoplamiento. De tal manera que, las inercias de estos dos dispositivos serán despreciadas hasta considerar un motor que opere de acuerdo con la selección. Se considera que, $e = 0,24$, ya que este valor representa la eficiencia de la tuerca metálica que se une al carro de deslizamiento.

Se determina la inercia de la carga respecto a la masa total 2 mediante la Ec. (26)

$$J_w = \left[\left(\frac{0,65 \text{ Kg}}{0,24} \right) * \left(\frac{1}{2\pi * \left(\frac{1}{8 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,001} \right)} \right)^2 \right] = 4,391 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Para los valores de ρ y r , se escogen las mismas variables, ya que depende directamente de la selección del material y el diámetro de eje de tornillo, por donde se asume que para un material AISI 304 su $\rho = 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, cuyo eje corresponde a un diámetro teórico de $\varnothing = 8\text{mm}$

La inercia de carga respecto al tornillo se la puede determinar mediante la Ec. (27)

$$J_{\text{tornillo}} = \left[\frac{\pi * 0,750\text{m} * 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (0,004\text{m})^4}{2} \right] = 2,413 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

La inercia total del motor es dada por la Ec. (28).

$$J_{\text{Total}} = \left[\frac{2,413 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 + 2,468 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2}{1^2} \right] = 6,803 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Se determina el torque de aceleración por medio la Ec. (29).

$$T_{\text{acel}} = 6,803 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 * \left[\left(\frac{171 \text{ RPM}}{1 \text{ s}} \right) * \frac{2\pi}{60} \right] = 1,218 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para la Ec. (30) el $T_{\text{precarga}} = 0$, debido a que se desprecia el retroceso ejercido por los componentes sin accionamiento del sistema.

$$T_{\text{resist}} = \frac{\left[\frac{1,212 \text{ N}}{2\pi * \left(\frac{1}{8 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,001} \right)} + 0 \right]}{1} = 1,543 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque total se obtiene mediante la Ec. (31)

$$T_{\text{Total}} = 1,218 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} + 1,543 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 1,664 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Una vez que se determina el torque total requerido del motor, se debe obtener la corrección de este valor, debido a que debe incluirse la inercia del motor. Dado el caso sus valores se encuentran dentro del torque de diseño para el motor Nema 17,

La corrección del torque de aceleración correspondiente al motor del eje “X” se obtiene mediante la Ec. (32).

Donde:

$$J_{\text{motor}} = 6,8 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$T_{\text{acel}} = (6,803 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 + 6,8 * 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2) * \left(\left(\frac{171 \text{ RPM}}{1 \text{ s}} \right) * \frac{2\pi}{60} \right)$$

$$T_{\text{acel}} = 2,436 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque total requerido se lo recalcula mediante la Ec. (31).

$$T_{\text{Total}} = 2,436 * 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} + 1,543 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 1,794 * 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Mediante el análisis realizado para los casos respectivos, se obtuvieron resultados siguientes:

Tabla 23. Valores de los torques requeridos en los sistemas de accionamiento.

Descripción	Variable	Valor	Unidad
Sistema de accionamiento en el eje “X”	Torque requerido	0,00179	N-m
Sistema de accionamiento en el eje “Y”	Torque requerido	0,00701	N-m

ELABORADO: AUTORES.

De acuerdo con la disponibilidad en el mercado, se encuentran motores NEMA a partir de torques de 0,4 N-m, por lo tanto, se selecciona un motor NEMA 17 el cual cumple con el requerimiento previsto, a su vez es adecuado para el sistema debido a que no se encuentra sometido a cargas que lleven al límite o incluso excedan el par de torsión entregado por el motor.

Ilustración 79. Motor NEMA 17.



FUENTE: DIDÁCTICAS ELECTRÓNICAS, 2022 [57].

Tabla 24. Especificaciones del motor NEMA 17.

Ficha Técnica	
Carcasa	NEMA 17
Pasos por revolución	200
Consumo de corriente por fase	1,2A
Voltaje nominal	2V
Resistencia	1,7 Ω \pm 10% por fase
Torque	0,4N-m (Torque de diseño)
Inductancia	4,5mH \pm 20% por fase
Masa	250gr
Número de cables	4-Verde: A1; Gris: A2; Amarillo: B1; Rojo: B2.

FUENTE: DIDÁCTICAS ELECTRÓNICAS, 2022 [57].

5.1.2. Selección de tuercas y husillos.

Para el criterio de dimensionamiento hay que tener en cuenta tres puntos de vista, los cuales son:

- ❖ Dimensionamiento para el desgaste.
- ❖ Dimensionamiento para la carga crítica de flexión.
- ❖ Dimensionamiento para las velocidades críticas.

5.1.2.1. Selección de tuerca.

El caso descrito a continuación, hace referencia al eje “Y” de la máquina, debido a que se realiza un análisis a los elementos más críticos por utilizar los mismos componentes en ambos ejes respecto a sus masas, en el cual se analizan las mismas consideraciones para su selección.

Dimensionamiento para el desgaste: Este primer punto está relacionado para la pareja del husillo/tuerca trapezoidal en la transformación de movimiento giratorio en desplazamiento lineal de acuerdo con la eficiencia del sistema, este depende del coeficiente de fricción entre ambas superficies de contacto.

Por tal motivo, es necesario calcular la presión de contacto obtenida por medio de la Ec. (34)

$$p = \frac{F_{Ay}}{A_t} \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

p: Presión superficial de contacto, (N/mm²)

F_{Ay}: Fuerza axial, (N)

A_t: Superficie de apoyo total entre los dientes del husillo y los dientes de la tuerca, (mm²)

La fuerza axial hace referencia a la masa que se debe desplazar horizontalmente, dicho dato se le conoce como M_{T1} = 2,75 kg. de los componentes de la Tabla 22. La fuerza axial se la puede calcular por medio de la Ec. (35).

$$\begin{aligned} F_{Ay} &= M_{T1} * g && \text{Ec. (35)} \\ F_{Ay} &= 2,75\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ F_{Ay} &= 26,98\text{N} \end{aligned}$$

La superficie de apoyo total de acuerdo con la selección de la tuerca FEU 908 A R con brida de bronce Tr8x1,5 mostrado en el Anexo 14. Su selección es debido a que esta es adecuada para movimientos continuos, teniendo en cuenta una buena resistencia al desgaste.

Por lo tanto, la superficie de apoyo total se le denomina un valor de A_t = 235 mm².

Entonces la presión superficial de contacto se obtiene por medio de la Ec. (34)

$$p = \frac{26,98\text{N}}{235 \text{ mm}^2}$$
$$p = 0,083 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Se determina la velocidad de deslizamiento que se expresa mediante la Ec. (36)

$$V_{st} = \frac{N * P}{1000 * \text{Sen}\alpha} \quad \text{Ec. (36)}$$

Donde:

V_{st}: Velocidad de deslizamiento, $\left(\frac{\text{m}}{\text{min}}\right)$

N: Número de vueltas al minuto del husillo, $\left(\frac{\text{vueltas}}{\text{min}}\right)$

P: Paso de la rosca, (mm)

α : Ángulo de inclinación de la hélice de la rosca

La tuerca trapezoidal FEU 908 A R con brida de bronce tiene un paso de 1,5 mm con un ángulo de hélice de 3°46' del husillo, como se muestra en el Anexo 13. El número de vueltas del husillo corresponde a un valor de 171 rev/min, el cual se encuentra descrito en la resolución del apartado de selección de motores de la transformación del perfil trapezoidal a velocidad angular de la Ec. (25).

$$V_{st} = \frac{171 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * (1,5\text{mm})}{1000 * \text{Sen}(3^\circ 46')}$$
$$V_{st} = 3,90 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Se determina la velocidad de traslación mediante la Ec. (37)

$$V_{st} = \frac{V_{tr}}{\text{Sen}\alpha} \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

V_{tr}: Velocidad de traslación, (m/min)

$$V_{tr} = V_{st} * \text{Sen}\alpha$$
$$V_{tr} = 3,90 \frac{\text{m}}{\text{min}} * \text{Sen}(3^\circ 46')$$

$$V_{tr} = 0,256 \frac{m}{min}$$

El producto entre la presión de superficie de contacto y la velocidad de deslizamiento $p \cdot V_{st}$, es un indicador que debe encontrarse por debajo de la admisible o máxima con la finalidad de validar su selección [58].

$$p \cdot V_{st} \quad \text{Ec. (38)}$$

$$0,083 \frac{N}{mm^2} * 3,90 \frac{m}{min}$$

$$p \cdot V_{st} \cong 0,323 \frac{N}{mm^2} * \frac{m}{min}$$

Para ello se debe de controlar las fuerzas de inercia que se presenten en la aceleración y desaceleración, estas deben encontrarse dentro del valor de $p \cdot V_{st_{am}}$ que se obtiene a través de la Ec. (38), así mismo un valor de $p \cdot V_{st_{m\acute{a}x}}$ el cual se obtiene mediante el área de la gráfica que se muestra Anexo 15, en el que se realiza una corrección con el coeficiente de seguridad “fi” correspondiente al caso.

Tabla 25. Coeficientes de seguridad respecto a las fuerzas de inercia

Tipo de carga	f i
Carga constante con rampas acel/desac	De 1 a 0,5
Cargas constantes con arranque y detenciones a tirones	De 0,5 a 0,33
Cargas muy variables y velocidades muy variables	De 0,33 a 0,25
Cargas en presencia de golpes y vibraciones	De 0,25 a 0,17

FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Acorde con la Tabla 25, el sistema se opera con motores NEMA a cargas constantes y perfil trapezoidal, por lo que el coeficiente de seguridad presenta un valor de:

$$f i = \frac{1 + 0,5}{2}$$

$$f i = 0,75$$

De acuerdo con el material por defecto de la tuerca, se realiza un trazado en la gráfica mostrada en la Anexo 15, ya que esta al encontrarse en la primera zona denominada A, esta indica que ejecuta su funcionalidad en óptimas condiciones por mantener un servicio

continuo, con una cantidad de calor producido en $p * V_{st}$ bastante reducido. A su vez, indica que la tuerca tiene una larga duración.

Donde:

$$p * V_{st_{m\acute{a}x}} = 21 \frac{N}{mm^2} * \frac{m}{min}$$

$$p * V_{st_{am}} = p * V_{st_{m\acute{a}x}} * f_i$$

$$p * V_{st_{am}} = 21 \frac{N}{mm^2} * \frac{m}{min} * 0,75$$

$$p * V_{st_{am}} = 15,75 \frac{N}{mm^2} * \frac{m}{min}$$

Dado que se obtiene un valor de $p * V_{st_{am}} > p * V_{st}$, de acuerdo con la correspondencia mencionada la selección se entiende que es adecuada para la tuerca FEU 908 A R con brida de bronce Tr8x1,5 siendo excelente para el uso tanto del eje “Y” como el eje “X” [58].

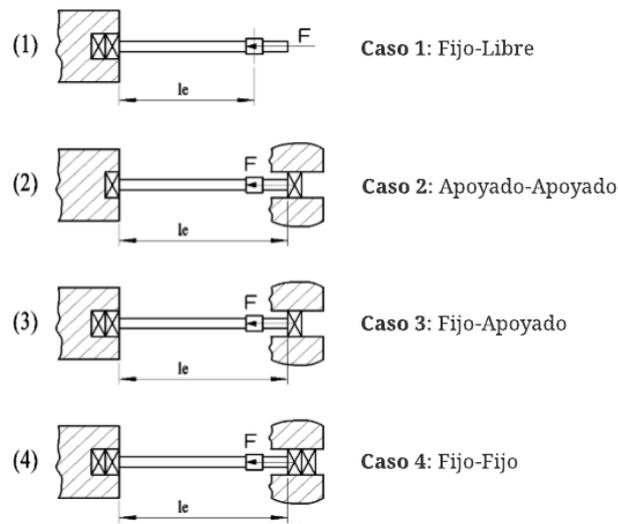
5.1.2.2. Selección de husillo.

Dimensionamiento para la carga crítica de flexión: En este punto se presenta la carga axial crítica cuyo valor se dispone mediante especificación de catálogo, a su vez la carga axial que se determina de acuerdo con el caso de estudio debe encontrarse dentro de los valores dispuestos por el fabricante [58].

Dicha carga depende del diámetro central d_3 del husillo, en conjunto con la configuración de las restricciones, rodamientos y de la longitud denominada como “le”. Cada uno de estos puntos deben ser dimensionados correctamente para que la pareja de husillo/tuerca se encuentre en condición de óptimo funcionamiento con un factor de seguridad de ≥ 2 .

Para un diseño convincente se debe realizar un análisis previo por medio de las consideraciones mencionadas, por ello, el husillo es configurable en diferentes casos de restricciones como se observa en la Ilustración 80.

Ilustración 80. Configuraciones de restricción del husillo.



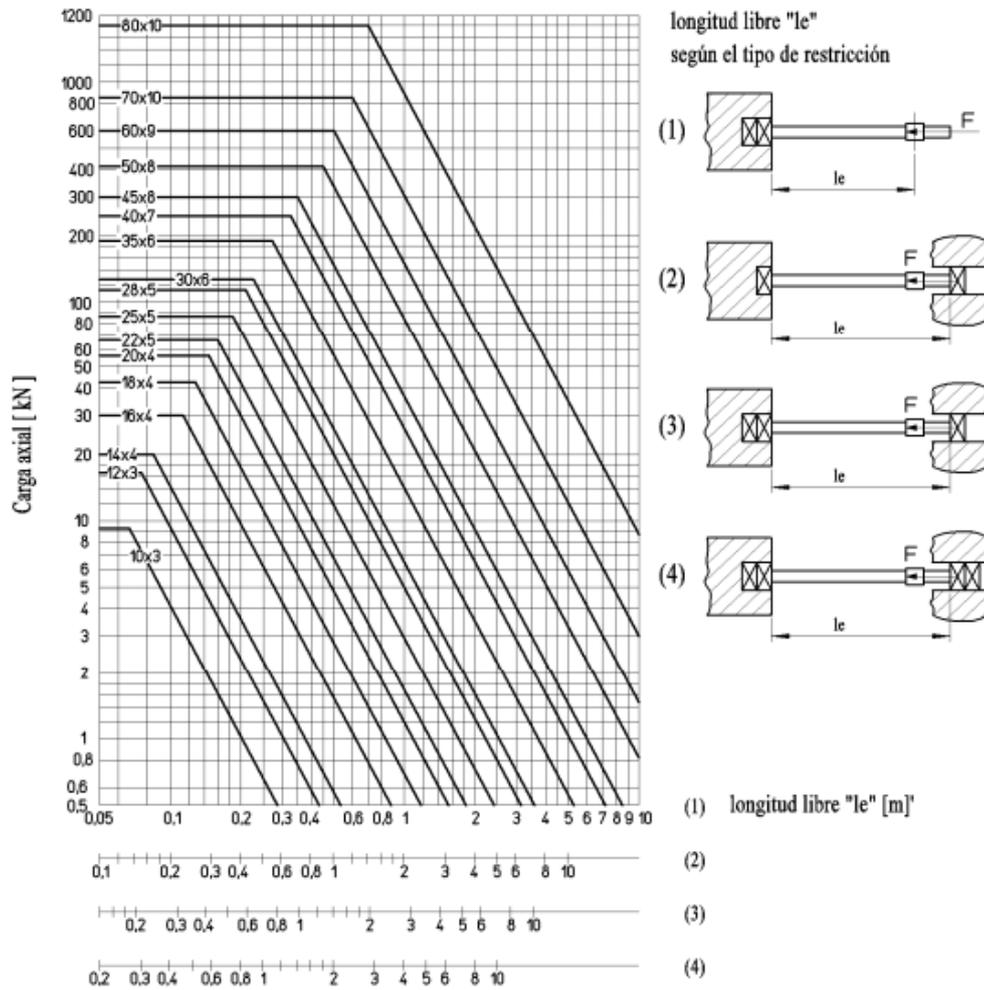
FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Este tipo de configuraciones del husillo le permite obtener un óptimo funcionamiento a longitudes mayores. Por lo consiguiente, para adaptar dicho análisis al caso que se estudia, se toma en cuenta el husillo de mayor longitud de la máquina al ser más crítico, el mismo que es correspondiente el eje “X”.

Considerando la apertura en el mercado del Tr8x1,5 se encuentra en longitudes máximas de 1000 mm, en lo cual se realiza un análisis con base a una restricción crítica correspondiente al caso 4 que se muestra en la Ilustración 80, ya que esta permite cumplir un funcionamiento a mayores longitudes y verificar que el tipo de restricción es adecuada para los ejes respectivos de la máquina.

Se busca realizar una extrapolación de datos de acuerdo con la consideración mencionada en la gráfica del catálogo que se muestra en la Ilustración 81.

Ilustración 81. Carga axial crítica vs longitud libre



FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Cabe recalcar que el valor de 1 en el caso 4 como se muestra en la Ilustración 81, representa la longitud libre de este husillo, dado que ese valor se ve reflejado en los casos anteriores. Al obtener un dato por defecto según lo obtenido mediante la apertura del mercado, no es adecuado utilizar este tipo de componentes a medidas estándar, por lo consiguiente se debe realizar una reducción de longitud, sin embargo, para el análisis se lo realiza de esta forma, con la finalidad de obtener valores que permitan obtener datos que se encuentren dentro de la zona de selección.

La gráfica al mantener un comportamiento lineal, se realiza una extrapolación de datos para encontrar la zona de selección de acuerdo con el dato considerado. Dado que, para encontrar la pendiente los valores de longitud libre están reflejados por distintos casos, en la ecuación

de la recta. Para el análisis se tomarán datos del caso 3 que se ven reflejados en los valores más exactos de la gráfica. Dichos valores representan al husillo Tr 10x3 y Tr 30x6.

Donde se realiza la siguiente consideración:

❖ Puntos A (0,8;9,3).

❖ Punto B (10;130,91).

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$
$$m = \frac{130,91 - 9,3}{10 - 0,8}$$
$$m = 13,218$$

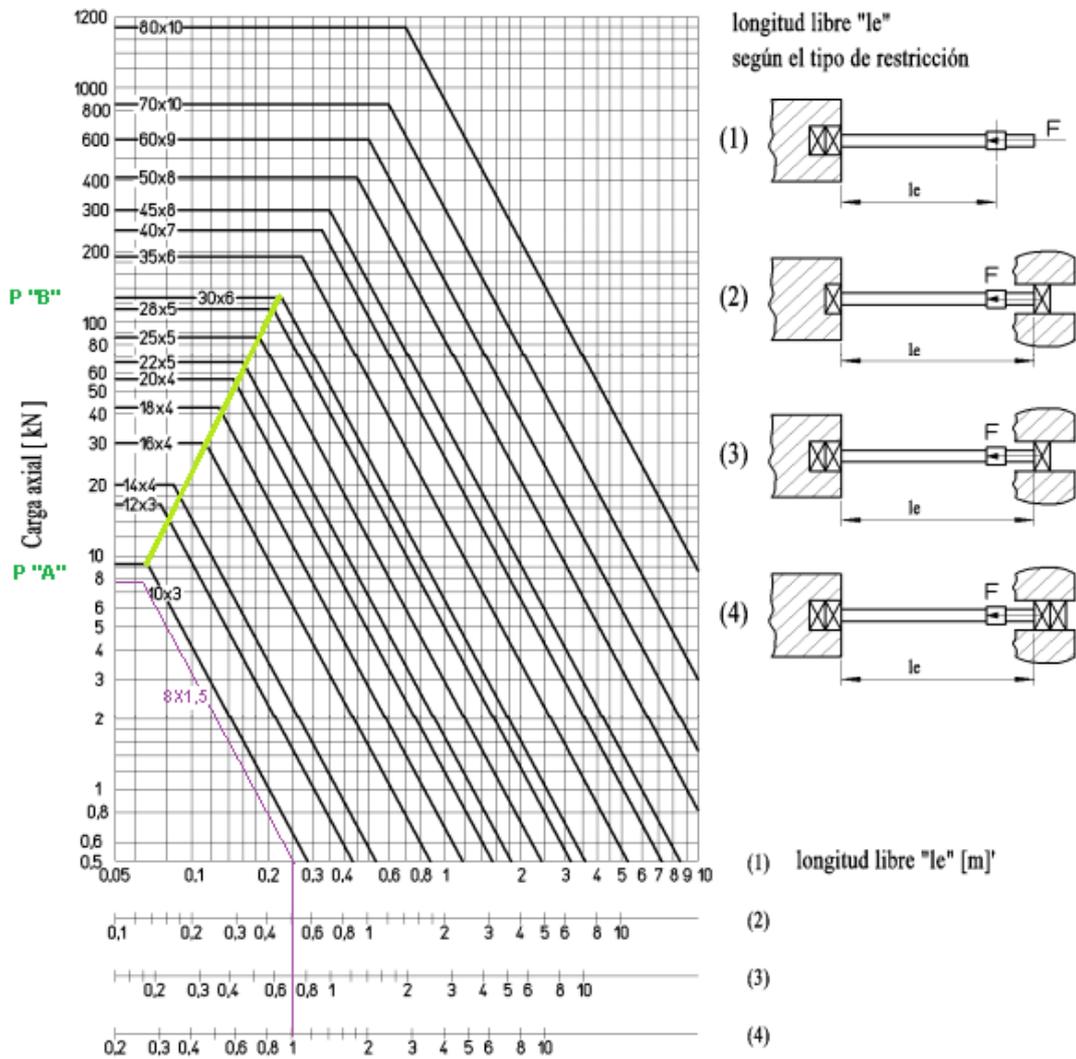
Se sustituye el valor de la pendiente en la ecuación de la recta:

$$y = m(X - X_1) + Y_1$$
$$y = 13,218(X - 0,8) + 9,3$$
$$y = 13,218X - 10,57 + 9,3 \quad y = 13,218X - 1,274$$

De acuerdo con la Ilustración 82 del caso 4 el valor de 1 m de longitud se puede observar que las longitudes que se refleja en el caso 3, representa a un valor de 0,72 el cual hace concordancia a las medidas respectivas según a los puntos seleccionados por lo que el valor de la ecuación de la recta es:

$$y = 13,218(0,72) - 1,274$$
$$y = 8,24$$

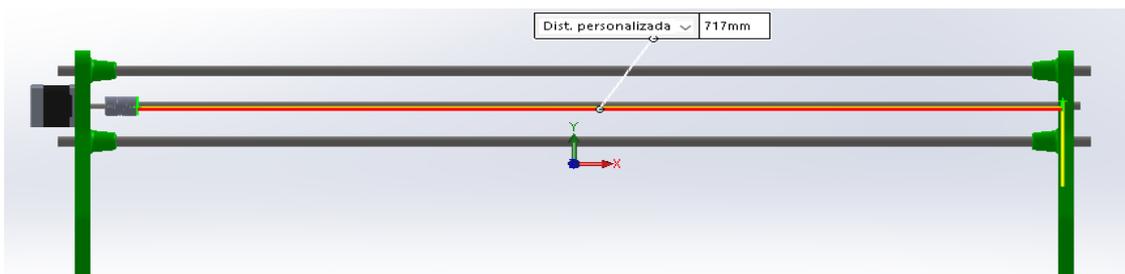
Ilustración 82. Punto crítico del husillo Tr8x1,5



FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

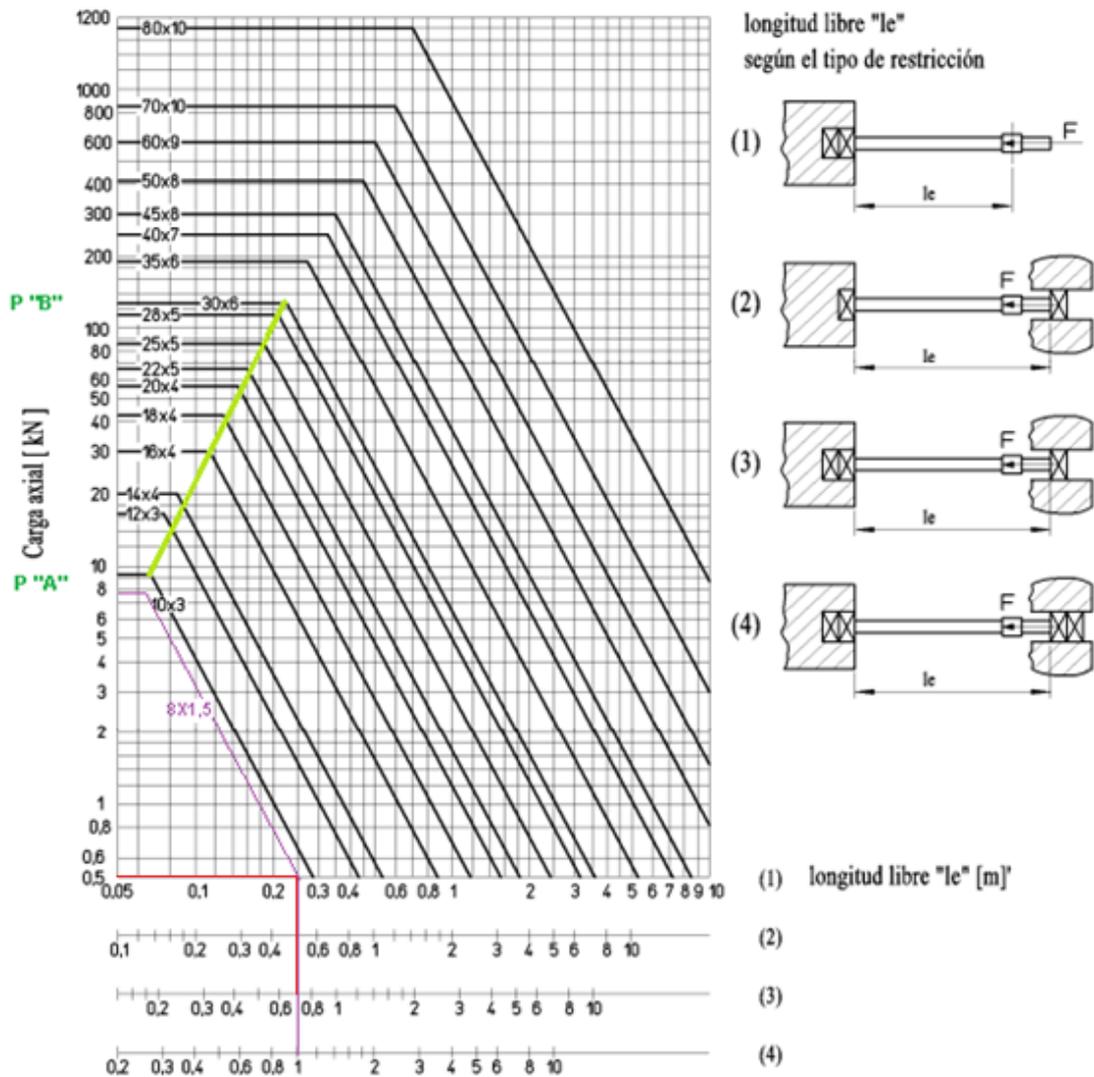
Para calcular la carga axial admisible del husillo Tr8x1,5 la longitud libre del husillo del eje "X" es de 0,717 m que se muestra en la Ilustración 83, ya que con dicho valor se obtiene la F_{max} del husillo que permite el movimiento de la mesa.

Ilustración 83. Longitud libre del eje "X"



ELABORADO: AUTORES

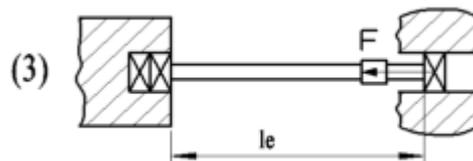
Ilustración 84. Carga crítica del husillo de la mesa y láser.



FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

El caso para la longitud libre "le" corresponde al caso 3, debido a que este tipo de configuración mantiene una restricción de empotramiento-apoyo. La selección está dentro del límite para el eje "X" y "Y" de la máquina CNC.

Ilustración 85. Configuración de restricción del modelo seleccionado.



ELABORADO: AUTORES

La longitud libre que se tiene respecto a este eje es de 0,717 m da una estimación de 0,5 kN en F_{max} tal y como se observa en la Ilustración 84.

$$L_{cg} = \frac{F_{max}}{n} \quad \text{Ec. (39)}$$

Se obtiene la limitación de la carga da como resultado:

Donde:

L_{cg} : Limitación de carga, (kN)

n: Coeficiente de seguridad

$$\frac{0,5}{2}$$

0,25 kN

Como la fuerza axial no sobrepasa el valor de 0,25 kN para ambos ejes por lo que el husillo Tr8x1,5 es adecuado para su uso.

Dimensionamiento para las velocidades críticas: En este punto se trata sobre la frecuencia de rotación en la que se manifiestan las vibraciones del husillo, es necesario no llegar a esta velocidad para evitar graves irregularidades de funcionamiento [58].

El número de vueltas crítico se puede obtener según el caso que corresponda de acuerdo con el husillo Tr8x1,5 con su longitud libre respectiva como se observa en la Ilustración 86.

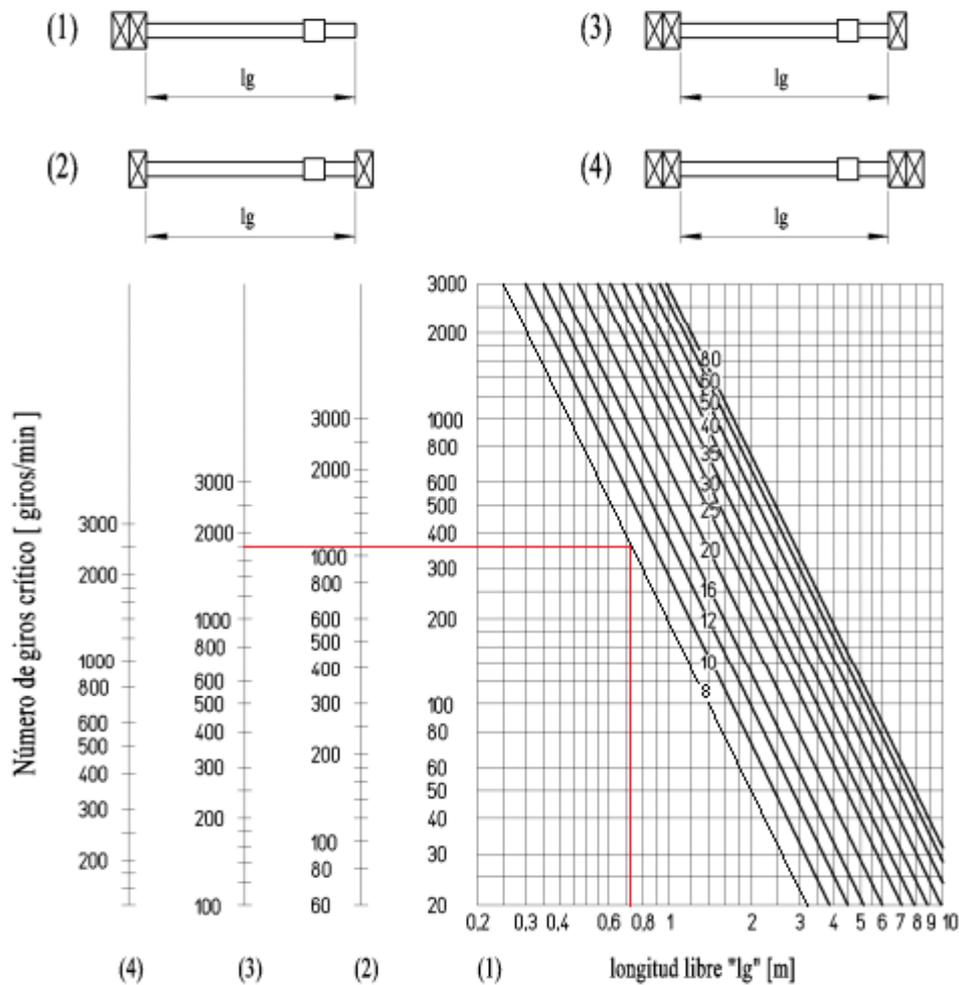
Es necesario considerar un coeficiente de seguridad relativo a la precisión del montaje. Dado el análisis de la máquina CNC debe presentar una exactitud en su sistema, dado el caso se elige un montaje de buena precisión respecto al primer caso que se observa en el Anexo 16.

Se determina el factor de seguridad tiene promedio:

$$\frac{1,3 + 1,6}{2}$$

1,45

Ilustración 86. Número de vueltas crítico



FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

El número de giro da como valor de $1800 \left(\frac{\text{giro}}{\text{min}}\right)$ tal y como se observa en la Ilustración 86.

Entonces el número de vueltas máximo se lo obtiene por medio de la Ec. (40)

$$n^{\circ}. \text{m} \acute{a}x = \frac{\text{Número de giros crítico}}{\text{Factor de seguridad promedio}} \quad \text{Ec. (40)}$$

$$n^{\circ}. \text{m} \acute{a}x = \frac{1800}{1,45}$$

$$n^{\circ}. \text{m} \acute{a}x = 1241,38 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}}$$

De acuerdo con el par calculado de la Tabla 23 del eje “X” de la selección de los motores es de un valor de:

$$T_{\text{Total}} = C = 1,79 * 10 - 3 \text{ Nm}$$

La potencia necesaria para el accionamiento de los husillos se obtiene por medio de Ec. (41).

$$Pt = \frac{C * N}{9550} \quad \text{Ec. (41)}$$

Donde:

Pt: Potencia, (W)

T_{Total}: Torque total, (Nm)

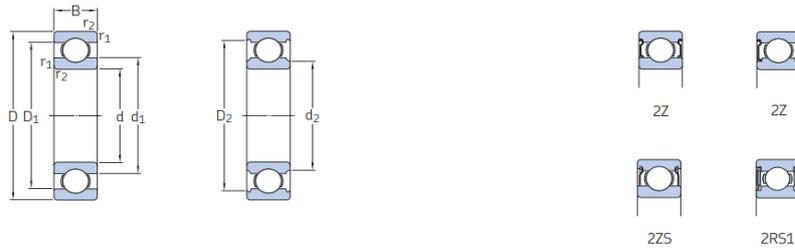
N: Número de vueltas/minuto

$$Pt = \frac{1,79 * 10^{-3} \text{ Nm} * 171 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} * 10^3}{9550}$$
$$Pt = 0,032 \text{ W}$$

5.1.3. Selección de rodamiento.

El proceso de selección de rodamientos se analiza desde las consideraciones proporcionadas mediante catálogos, lo cual permite una elección y análisis del componente a partir del caso de estudio presentado.

Ilustración 87. Rodamiento de bolas de acero inoxidable.



FUENTE: SKF, 2019 [59].

Ilustración 88. Datos técnicos de rodamiento rígido de bolas.

Dimensiones principales			Capacidades de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones
d	D	B	C	Co	Pu	Velocidad de referencia	Velocidad límite		Rodamiento o tapado en ambos lados
mm			KN		KN	r.p.m		g	---
8	12	3,5	0,312	0,14	0,006	100000	53000	1,05	W 637/8-2Z
8	16	4	0,715	0,3	0,012	90000	56000	3,1	W 618/8

FUENTE: SKF, 2019 [59].

El siguiente análisis corresponde directamente al caso del sistema inferior de accionamiento a través del husillo establecido anteriormente mencionado, el mismo que requiere de equipo complementario para llevar a cabo su operación de manera eficiente.

5.1.3.1. Rodamiento de bolas de una hilera W 637/8-2Z.

5.1.3.1.1. Diámetro medio del rodamiento.

El diámetro medio del rodamiento se obtiene mediante la Ec. (42) de las medidas del rodamiento W 637/8-2Z observado en la Ilustración 88.

$$dm = 0,5(d + D) \quad \text{Ec. (42)}$$

Donde:

dm: Diámetro medio del rodamiento, (mm)

d: Diámetro interior del rodamiento, (mm)

D: Diámetro exterior del rodamiento, (mm)

$$dm = 0,5(8\text{mm} + 12\text{mm})$$

$$dm = 10 \text{ mm}$$

Por medio de la Ec. (43). Se obtiene la carga mínima de acuerdo con el rodamiento W 637/8-2Z:

$$F_{rm} = Kr \left(6 + \frac{4N}{Nr} \right) \left(\frac{dm}{100} \right)^2 \quad \text{Ec. (43)}$$

Donde:

F_{rm} : Carga mínima, (kN)

Kr: Factor de carga mínima

N: Velocidad de giro, (rpm)

Nr: Velocidad de referencia, (rpm)

dm: Diámetro medio del rodamiento, (mm)

El factor de cálculo Kr de carga mínima se obtiene por medio de la página SKF rodamientos.

De acuerdo con el rodamiento seleccionado su factor es de 0,02 y la velocidad de referencia

o $Nr = 100000 \frac{r}{\text{min}}$ [60].

Donde, $N = 171 \text{ rpm}$. Dato que se encuentra descrito en la resolución del apartado de selección de motores en la Ec. (25)

$$F_{rm} = \left(0,02 \left(6 + \frac{4(171\text{rpm})}{100000 \text{ rpm}} \right) \left(\frac{10}{100} \right)^2 \right) * 10^3$$
$$F_{rm} = 1,201 \text{ N}$$

Para la resolución y el proceso de selección del rodamiento, se debe considerar el análisis de las reacciones que se obtiene en el apoyo. Por ello, se establece el valor de $M_{Hy} = 0,199 \text{ kg}$.

El valor respectivo de la masa se observa en el Anexo 17.

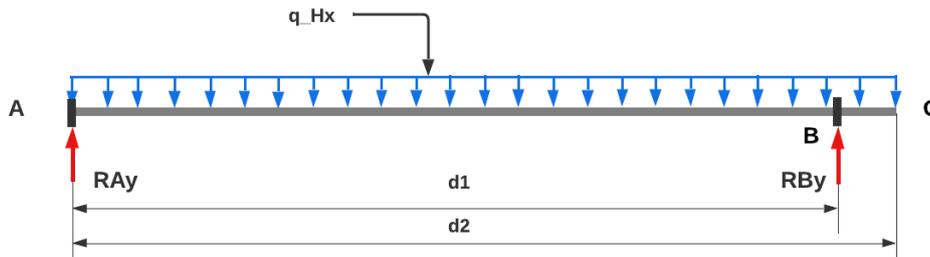
$$q_{Hy} = \frac{M_{Hy} * g}{d} \quad \text{Ec. (44)}$$

Donde:

q_{Hy} : Carga distribuida del husillo eje "Y", (N/m)

$$q_{Hy} = \frac{0,199 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,495} = 3,943 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Ilustración 89. Diagrama del husillo del eje "X" y eje "Y"



ELABORADO: AUTORES.

Tabla 26. Distancias respectivas en el husillo eje "Y"

Tramo	Datos	Valor	Unidad
A-B	d1	0,4765	m
B-C	d2	0,495	m

ELABORADO: AUTORES.

Se obtiene la carga puntual de acuerdo con la Ec. (45).

$$P_{Hy} = (q_{Hy} * d_2) \quad \text{Ec. (45)}$$

$$P_{Hy} = \left(3,943 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,495 \text{ m} \right) = 1,951 \text{ N}$$

Se determinan las reacciones por medio de la Ec. (46) de la sumatoria de momentos en A en el eje "Y"

$$\sum MA = 0 \quad \text{Ec. (46)}$$

$$(R_{By} * d_1) - \left(P_{Hy} * \frac{d_2}{2} \right) = 0$$

$$R_{By} = \left(\frac{P_{Hy} * \frac{d_2}{2}}{d_1} \right)$$

$$R_{By} = \left(\frac{1,951 \text{ N} * \frac{0,495 \text{ m}}{2}}{0,4765 \text{ m}} \right) = 1,013 \text{ N}$$

Sumatoria de fuerzas en “Y” determina por medio de la Ec. (47)

$$\sum Fy = 0 \quad \text{Ec. (47)}$$

$$R_{Ay} + R_{By} - P_{Hy} = 0$$

$$R_{Ay} = P_{Hy} - R_{By}$$

$$R_{Ay} = 1,951 \text{ N} - 1,013 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 0,938 \text{ N}$$

Tabla 27. Resumen de resultados de la reacción ejercida en el rodamiento W637/8-2Z.

Descripción	Husillo	Valor	Unidad
R _{By}	Eje “Y” Mesa	1,013	N

ELABORADO: AUTORES.

De acuerdo con el análisis realizado se procede con la selección respectiva de los rodamientos. Como se observa en la Tabla 27, la fuerza radial del soporte o rodamiento del eje “Y” es igual a 1,013 N. La cual no cumple con la carga requerida de 1,201 N ocasionando un deslizamiento en el eje, para ello es necesario realizar una optimización mediante la aplicación de precarga con el objetivo de reducir ruidos y de mantener más rígido el rodamiento.

5.1.3.1.2. Precarga mediante muelle.

La precarga mediante muelle o resorte ondulado es el método más simple ya que actúa sobre el aro exterior del rodamiento. La fuerza de la precarga requerida se puede determinar mediante la Ec. (48).

$$F = kd \quad \text{Ec. (48)}$$

Donde:

F: Fuerza de precarga, (kN)

k: Factor de precarga

d: diámetro del agujero del rodamiento, (mm)

En motores eléctricos pequeños el factor de precarga puede considerarse de 0,005 y el diámetro del eje es de 8mm.

$$F = 0,005 * 8\text{mm}$$

$$F = 0,04 \text{ kN}$$

La precarga mediante resorte ondulado trabaja como fuerza axial por lo que es necesario realizar un recálculo para su comprobación con la combinación de las dos cargas mediante la carga equivalente

Cuando el rodamiento está sometido a diferentes cargas, la carga equivalente se obtiene a partir de la Ec. (49)

$$P_o = X * F_r + Y * F_a \quad \text{Ec. (49)}$$

Donde:

P_o: Carga estática equivalente del rodamiento, (kN)

X: Factor de carga radial del rodamiento

F_r: Fuerza radial real del rodamiento, (kN)

Y: Factor de carga axial del rodamiento

F_a: Carga axial real del rodamiento, (kN)

Donde:

Si $F_a/F_r > e$ o factor de límite deben ser consideradas las cargas radiales y axiales

$$Fl = \frac{F_a}{C_o} \quad \text{Ec. (50)}$$

Donde:

Fl: Factor límite

F_a: Carga axial real del rodamiento, (kN)

C_o: Carga estática, (kN)

Manteniendo las siguientes consideraciones:

- ❖ Carga estática de 0,14 kN. Se obtiene en la Ilustración 88.
- ❖ Factor de cálculo de 8,2 está en el análisis del rodamiento W 637/8-2Z [60].

La relación de cargas de acuerdo con la carga estática se obtiene mediante la Ec. (50).

$$\frac{0,04 \text{ kN}}{0,14 \text{ kN}} = 0,285$$

La relación de carga se puede determinar mediante la Ec. (51).

$$R_c = \frac{F_a}{F_r} \quad \text{Ec. (51)}$$

Donde:

Rc: Relación de carga

Fa: Carga axial real del rodamiento, (kN)

Fr: Carga radial real del rodamiento, (kN)

$$\frac{0,04 \text{ kN}}{0,00103 \text{ kN}} = 38,834,237 > e$$

Ilustración 90. Factores de cálculos para rodamientos rígidos de bolas.

Normal clearance / Holgura normal					
Fa/Co	e	F _v /F _r <e		F _v /F _r >e	
		X	Y	X	Y
0,025	0,22	1	0	0,56	2
0,04	0,24	1	0	0,56	1,8
0,07	0,27	1	1	0,56	1,6
0,13	0,31	1	0	0,56	1,4
0,25	0,37	1	0	0,56	1,2

FUENTE: FERSA, 2022 [61].

Como se puede observar en la Ilustración 90, el factor límite es mayor que “e” de los factores de cálculos para rodamientos rígidos de bolas en el juego normal.

Donde:

X=0,56

Y=1,2

Se determina la carga estática equivalente mediante la Ec. (49).

$$P_o = (0,56 * 0,00097 \text{ kN} + 1,2 * (0,04 \text{ kN})) * 10^3$$

$$P_o = 48,543 \text{ N}$$

Considerando que $F_{rm} < P_o$, se prosigue con la selección del rodamiento. Si k se encuentra entre 0,1 y 4 determina vida nominal SKF y factor de seguridad estático. Por lo consiguiente, se observa en el Anexo 19, se tiene un área n_{d_m} baja por lo que necesita aditivos AW o EP para mejorar la condición de lubricación y prolongar la vida útil del rodamiento al tener una viscosidad aproximada de 185 mm²/s.

A continuación, se determina la viscosidad real de funcionamiento V de acuerdo la temperatura del rodamiento, la temperatura no sobrepasa de los 60°C. Dado que se considera un promedio con la temperatura mínima, para obtener un valor de 40°C. Como se puede observar en el Anexo 20, el lubricante para el rodamiento lineal es el ISO VG150.

La vida nominal básica posee una confiabilidad del 90% y se puede obtener mediante la Ec. (52).

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60N} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{Ec. (52)}$$

Donde:

L_{10h} : Vida nominal básica, (millones de revoluciones)

C: Capacidad de carga dinámica básica, (kN)

P: Carga dinámica básica, (kN)

N: Velocidad de giro, (r.p.m.)

p: Exponente de la ecuación de vida

Donde el exponente de la ecuación de vida presenta un valor de [59]:

$$p = 3.$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60(171 \text{ rpm})} \right) \left(\frac{0,312 \text{ KN}}{0,048543 \text{ KN}} \right)^3$$

$$L_{10h} = 25878,35 \text{ h}$$

De acuerdo con el rango de vida especificada en el Anexo 21, se elige la cuarta opción debido a que se considera que el equipo mantiene 8 horas de operación. Donde: $L_{10h} > 25000$ es adecuado para su uso.

5.1.3.1.3. Condiciones de lubricación.

Al presentar una lubricación ISO VG 150 como se observa en el Anexo 22 , la viscosidad cinemática límite corresponde a un valor de $150 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$.

La condición de lubricación del rodamiento K viene a ser determinada por la Ec. (53).

$$K = \frac{V}{V1} \quad \text{Ec. (53)}$$

Donde:

V: Viscosidad real de funcionamiento del aceite o del aceite de la grasa, $\left(\frac{\text{mm}^2}{\text{s}}\right)$

V1: Viscosidad nominal en función del diámetro medio del rodamiento y la velocidad de giro, $\left(\frac{\text{mm}^2}{\text{s}}\right)$

$$K = \frac{185 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}}{150 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}}$$

$$K = 0,81$$

5.1.3.1.4. Factor de contaminación.

El rodamiento opera a condiciones de contaminación normal. Por lo tanto, el factor n_c se encuentra entre 0,6 a 0,5 que se muestra en el Anexo 23. De tal manera, se obtiene como resultado un promedio de $n_c = 0,55$.

Donde:

F_{ct}: Factor de contaminación.

$$F_{ct} = n_c \frac{Pu}{P} \quad \text{Ec. (54)}$$

$$F_{ct} = (0,55) \frac{0,006 \text{ kN}}{0,0485 \text{ kN}}$$
$$0,068$$

Para determinar el factor a_{SKF} , se lo realiza mediante la siguiente gráfica que se observa en el Anexo 24. Donde el factor a_{SKF} presenta un valor estimado de 1,1.

La vida nominal SKF se calcula mediante la Ec. (55).

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h} \quad \text{Ec. (55)}$$

$$L_{10mh} = 1,1 * 25878,35 \text{ h}$$

$$L_{10mh} = 28466,185 \text{ h}$$

5.1.3.1.5. Factor de seguridad estática.

El factor de seguridad estática está dado por la Ec. (56).

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \quad \text{Ec. (56)}$$

Donde:

S_o : Factor de seguridad estática

C_o : Capacidad de carga estática básica requerida, (kN)

P_o : Carga estática equivalente del rodamiento, (kN)

$$S_o = \frac{0,14 \text{ kN}}{0,0485 \text{ kN}}$$

$$S_o = 2,886$$

5.1.3.2. Rodamiento de bolas de una hilera W 618/8.

El siguiente análisis corresponde directamente al caso del sistema superior de accionamiento a través del husillo establecido anteriormente mencionado. A su vez la selección procede con el rodamiento W 618/8, ubicado en la Ilustración 88. En el cual su proceso de análisis es el siguiente:

Se obtiene un diámetro por medio de la Ec. (42).

$$d_m = 0,12 \text{ mm}$$

Se determina un factor de cálculo K_r de la pág. SKF [62].

$$K_r = 0,02$$

Se deduce un valor de velocidad de referencia por medio de la pág. SKF [62].

$$N_r = 90000 \text{ rpm}$$

Por medio de la Ec. (25) se determina que:

$$N = 171 \text{ rpm}$$

Manteniendo las consideraciones descritas se procede a obtener el valor de carga mínima mediante la Ec. (43).

$$F_{rm} = 1,763 \text{ N}$$

Para la resolución y el proceso de selección del rodamiento, se considera el análisis de las reacciones que se obtienen en el apoyo. Por ello, se establece el valor de $M_{Hx} = 0,302 \text{ kg}$. El valor respectivo de la masa se observa en el Anexo 18.

$$q_{Hx} = \frac{M_{Hx} * g}{d} \quad \text{Ec. (57)}$$

Donde:

q_{Hx} : Carga distribuida del husillo del eje "X"

M_{Hx} : Masa del husillo eje "X", (kg)

$$q_{Hx} = \frac{0,302 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,750} = 3,95 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

La Ilustración 89 es la misma representación para el husillo del eje "Y" por lo que las distancias se observan en la Tabla 28.

Tabla 28. Distancias respectivas en el husillo eje "X"

Tramo	Datos	Valor	Unidad
A-B	d1	0,7385	m
B-C	d2	0,750	m

ELABORADO: AUTORES

Se obtiene la carga puntual del elemento de acuerdo con la Ec. (45) Respecto al eje "X"

$$P_{Hx} = \left(3,95 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,750 \text{ m} \right) = 2,963 \text{ N}$$

Se determinan las reacciones mediante la Ec. (46) de la sumatoria de momentos en A.

$$(R_{By} * d_1) - \left(P_{Hx} * \frac{d_2}{2} \right) = 0$$

$$R_{By} = \left(\frac{2,963 \text{ N} * \frac{0,750 \text{ m}}{2}}{0,7385 \text{ m}} \right)$$

$$R_{By} = \left(\frac{P_{Hx} * \frac{d_2}{2}}{d_1} \right) = 1,50 \text{ N}$$

Sumatoria de fuerzas en “Y” determina por medio de la Ec. (47)

$$R_{Ay} + R_{By} - P_{Hx} = 0$$

$$R_{Ay} = P_{Hx} - R_{By}$$

$$R_{Ay} = 2,963 \text{ N} - 1,50 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 1,463 \text{ N}$$

Tabla 29. Resumen de resultado de la reacción ejercida en el rodamiento W618/8

Descripción	Husillo	Valor	Unidad
R_{By}	Eje “X” láser	1,50	N

ELABORADO: AUTORES

De acuerdo con el resultado del análisis realizado que se observa en la Tabla 29. Se presenta una condición de: $R_{By} < F_{rm}$; por ello, no cumple con la carga mínima requerida, a su vez, requiere un análisis de precarga para aumentar la rigidez en el rodamiento. A continuación, se realiza el siguiente procedimiento. Donde:

Se estima un factor de precarga de [59]:

$$k = 0,01$$

Se determina la fuerza de precarga mediante la Ec. (48).

$$F = 0,08 \text{ N.}$$

Considerando el dato de la carga estática en la Ilustración 88:

$$C_o = 0,3 \text{ kN}$$

Se estima un factor de cálculo de [62]:

Donde:

fo: Factor de cálculo

$$f_0 = 7,5$$

Para determinar la carga equivalente por medio de la Ec. (49), se realiza el siguiente procedimiento:

Donde:

$$F_r = 1,50 \text{ N}$$

e: límite para la relación de carga, según la relación $\frac{f_0 * F_a}{C_0}$ [62].

A su vez, se define la relación de cargas mediante la Ec. (51)

$$\frac{F_a}{F_r} = 53,33$$

Considerando que $\frac{F_a}{F_r} > e$, se asignan factores de cálculo "X" y "Y".

Donde:

Fcfo: Producto de factor de cálculo y relación de carga.

$$Fcfo = \frac{f_0 * F_a}{C_0} \quad \text{Ec. (58)}$$

$$Fcfo = \frac{f_0 * F_a}{C_0} = 2$$

A su vez, se identifican los factores de cálculo "X" y "Y" en la Ilustración 91.

Ilustración 91. Factores de cálculo "X" y "Y"

$f_0 F_a / C_0$	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3
0,345	0,22	0,56	1,99
0,689	0,26	0,56	1,71
1,03	0,28	0,56	1,55
1,38	0,3	0,56	1,45
2,07	0,34	0,56	1,31

FUENTE: IKASTAROAK, 2022 [63].

Donde:

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,31$$

Una vez obteniendo los factores de cálculo "X" y "Y", se determina la carga equivalente mediante la Ec. (49):

$$P_o = 0,105 \text{ kN}$$

Considerando que $F_{rm} < P_o$, se prosigue con la selección del rodamiento.

5.1.3.2.1. Viscosidad nominal.

En el Anexo 19 se observa que mantiene un área nd_m baja por lo que necesita aditivos AW o EP, para mejorar la condición de lubricación y prolongar la vida útil del rodamiento al tener una viscosidad aproximada de $185 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$.

5.1.3.2.2. Grado de viscosidad de la ISO.

Al determinar viscosidad real de funcionamiento V de acuerdo la temperatura que puede estar el rodamiento, la temperatura no sobrepasa de los 60°C , dado que se considera un promedio con la temperatura mínima, para obtener un valor de 40°C . Como se puede observar en el Anexo 20, el lubricante para el rodamiento lineal es el ISO VG150.

Luego del análisis realizado se busca determinar la vida nominal básica, donde la velocidad de giro presenta un valor de $N = 171 \text{ rpm}$, es el mismo que se obtuvo mediante la Ec. (25).

Donde el exponente de la ecuación de vida presenta un valor de [59]:

$$p = 3.$$

Mediante la Ec. (52) se determina la vida nominal básica:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60(171 \text{ rpm})} \right) \left(\frac{0,715 \text{ KN}}{0,105 \text{ KN}} \right)^3$$
$$L_{10h} = 30775,34 \text{ h}$$

5.1.3.2.3. Tiempo de vida especificado en diferentes tipos de máquinas.

De acuerdo con el rango de vida especificada en el Anexo 21, se elige la cuarta opción debido a que se considera que el equipo mantiene 8 horas de operación. Donde: $L_{10h} > 25000$ es adecuado para su uso.

5.1.3.2.4. Condiciones de lubricación.

Al presentar una lubricación ISO VG 150 como se observa en el Anexo 22, la viscosidad cinemática límite es de $150 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$. Por lo tanto, la condición de lubricación del rodamiento se determina mediante la Ec. (53), obteniendo un valor de $K = 0,81$.

5.1.3.2.5. Factor de contaminación.

El rodamiento W 618/8 opera a condiciones de contaminación ligera por no mantener una capacidad de sellado. Por lo tanto, el factor n_c se encuentra entre 0,5 a 0,3 que se muestra en el Anexo 23.

Donde:

$$n_c = 0,4$$

Se determina la siguiente relación mediante la Ec. (54).

$$F_{ct} = (0,4) \frac{0,012 \text{ kN}}{0,105 \text{ kN}} \\ 0,046$$

Para determinar el factor a_{SKF} , se lo realiza mediante la siguiente gráfica de la Anexo 24. Se debe considerar:

- ❖ Factor de contaminación
- ❖ Condición de lubricación

$$F_{ct} = 0,046$$

$$K = 0,81$$

La vida nominal SKF se determina por medio de la Ec. (55):

$$L_{10mh} = 24620,272 \text{ h}$$

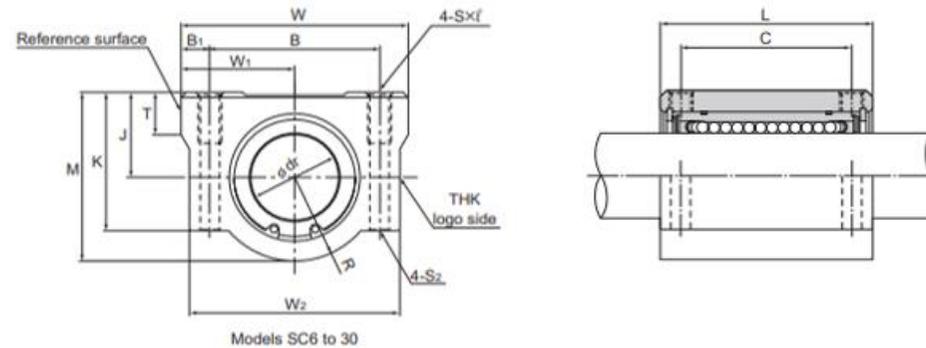
El factor de seguridad estática está determinado por la Ec. (56):

$$S_o = 2,84$$

5.1.3.3. Rodamiento lineal de bolas.

A continuación, se realiza el proceso de análisis para los rodamientos SC8UU.

Ilustración 92. Modelo SC8UU y SC10UU



FUENTE: TECNICO, 2022 [64].

Ilustración 93. Modelos de rodamientos lineales de bolas.

Modelo No.	Dimensiones exteriores			Dimensiones de la carcasa													Capacidad de carga básica		Unit
	Altura	Ancho	Largo	Posición de orificio de montaje			Tap SXℓ	Tornillo pasante Modelo No, S ₂	Altura del centro J ±0.02	W ₁ ±0.02	K	W ₂	T	R	Diámetro interior inscrito		C	C ₀	
				B	B ₁	C									dr	Tolerancia			N
	M	W	L	B	B ₁	C													
SC 8UU	22	34	30	24	5	18	M4x8	M3	11	17	18	32	6	11	8	0	265	402	52
SC 10UU	26	40	35	28	6	21	M5X12	M4	13	20	22	37	8	13	10	-0.009	373	549	92

FUENTE: TECNICO, 2022 [64].

5.1.3.3.1. Vida nominal.

La vida nominal o casquillo lineal se obtiene mediante la siguiente la Ec. (59).

$$L = \left(\frac{f_H * f_T * f_c}{f_w} * \frac{C}{P_c} \right)^3 * 50 \quad \text{Ec. (59)}$$

Donde:

L: Vida nominal, (km)

C: Capacidad de carga dinámica básica, (N)

P_c: Carga calculada, (N)

f_t: Factor de temperatura; (°C)

f_c: Factor de contacto

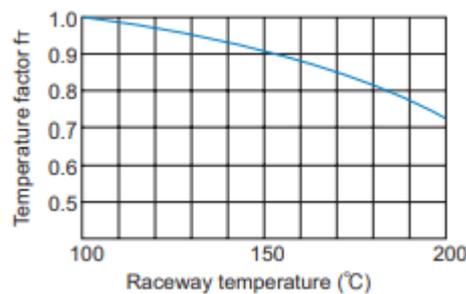
f_w: Factor de carga

f_H: Factor de dureza

Para el rodamiento SC8UU se tiene una carga calculada de 8,2 N de acuerdo con la simulación en el software SolidWorks, como se muestra en la Ilustración 63.

5.1.3.3.2. Factor de temperatura.

Ilustración 94. Factor de temperatura (ft)

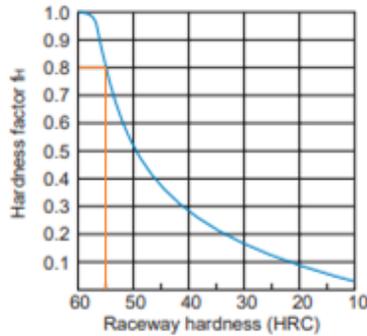


FUENTE: TECHNICO, 2022 [64].

La temperatura de entorno se la considera de acuerdo con la temperatura ambiente, el funcionamiento de la máquina no trabajará a las 24 horas, sino en un promedio de 8h diarias por lo que no sobrepasa de los 100°C. Por lo tanto, el factor será considerado de 1, como se muestra en la Ilustración 94.

5.1.3.3.3. Factor de dureza.

Ilustración 95. Factor de dureza (f_H)



FUENTE: TECHNICO, 2022 [64].

El eje por el cual se desplaza viene a ser un acero inoxidable X46Cr13 (1.4034) con una dureza superficial de HRC 55, cómo se puede observar en la Ilustración 95, el factor de dureza es de 0,8 [65].

5.1.3.3.4. Factor de contacto.

Tabla 30. Factor de contacto (f_c).

Número de rodamientos de bolas montados juntos	Factor de contacto f_c
2	0,81
3	0,72
4	0,66
5	0,66
Uso habitual	1

FUENTE: TECHNICO, 2022 [64].

En el eje “Y” se ocupan 4 rodamientos, dos pares con una corta separación en ambos ejes por lo que el factor de contacto presenta un valor de 0,81 por medio de la Tabla 30.

5.1.3.3.5. Factor de carga.

Tabla 31. Factor de carga (fw).

Vibraciones/impacto	Velocidad (V)	fw
Tenue	Muy lento $V \leq 0,25$ m/s	1 a 1,2
Débil	Lento $0,25 \leq v \leq 1$ m/s	1,2 a 1,5
Medio	Medio $1 \leq v \leq 2$ m/s	1,5 a 2
Fuerte	Alto $V > 2$ m/s	2 a 3,5

FUENTE: TECNICO, 2022 [64].

En el factor de carga de la Tabla 31, la máquina presenta movimientos oscilatorios durante su funcionamiento. Dado que trabaja en condiciones de funcionamiento tenues por lo que el factor de carga promedio corresponde a 1,1.

Por lo tanto, la vida nominal es:

$$L = \left(\frac{0,8 * 1 * 0,81}{1,1} * \frac{265 \text{ N}}{8,2 \text{ N}} \right)^3 * 50$$

$$L = 344995,1829 \text{ km}$$

5.1.3.3.6. Tiempo de vida útil.

Al obtener la vida nominal, el tiempo de vida útil se obtiene mediante la Ec. (60).

$$L_h = \frac{L * 10^3}{2 * \ell_{SM} * n_1 * 60} \quad \text{Ec. (60)}$$

Donde:

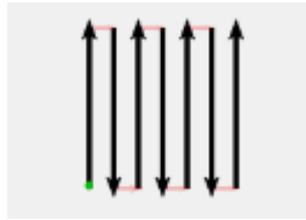
L_h : Tiempo de vida de servicio, (h)

ℓ_{SM} : Longitud de carrera, (m)

n_1 : Número de reciprocidades por minuto o frecuencia de carrera (min^{-1})

La frecuencia de carrera es un valor definido por el usuario, se comprende que es el número de recorridos o ciclos que cumple, de acuerdo con una unidad de tiempo como se observa en Ilustración 96.

Ilustración 96. Número de reciprocidades.

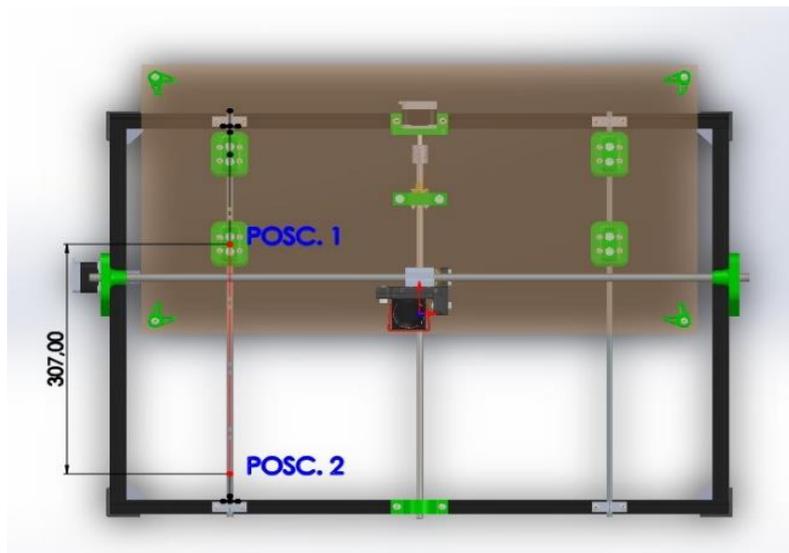


ELABORADO: AUTORES.

Para obtener dicho valor, se realiza una prueba de control de desplazamiento de los ejes de la máquina CNC, como resultado se adquiere un valor de $n=17$ ciclos, el mismo que se realiza una consideración de incremento de tres veces su valor por defecto con la finalidad de definir un parámetro crítico para el análisis.

La longitud de carrera de la mesa de la máquina presenta un valor de 0,307 m, se observa en la Ilustración 97.

Ilustración 97. Longitud de carrera de eje "Y"



ELABORADO: AUTORES.

Se determina el tiempo de vida de servicio:

Donde:

$$n_1 = 3 * n$$

$$L_h = \frac{344995,1829 \text{ km} * 10^3}{2 * 0,307\text{m} * 51 * 60}$$

$$L_h = 183621,37 \text{ h}$$

El valor de vida útil del rodamiento SC8UU es elevado debido a que la carga que somete al componente es sumamente mínima mediante especificación de catálogo.

Rodamiento SC10UU.

Para el rodamiento SC10UU se realiza el mismo procedimiento implementando las fórmulas que se utilizaron para el análisis del rodamiento lineal SC8UU.

Se mantienen las siguientes consideraciones:

$$P_c = 3,75 \text{ N}$$

$$f_T = 1$$

$$f_H = 0,8$$

$$f_c = 1$$

$$f_w = 1,1$$

$$C = 373 \text{ N}$$

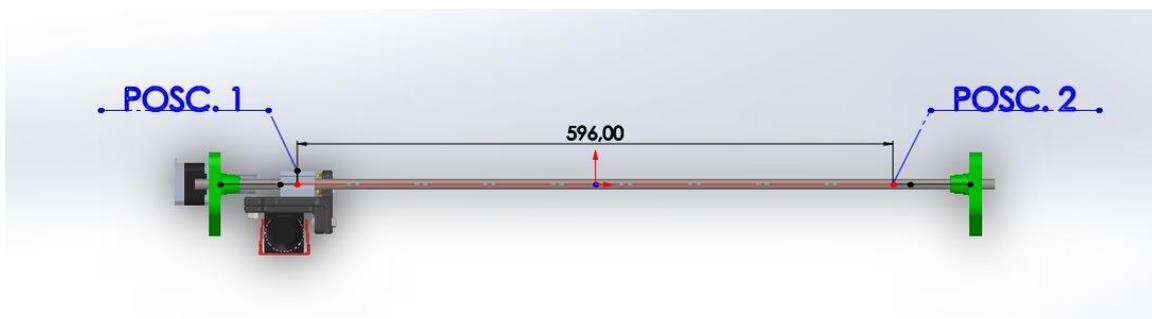
Por lo tanto, la vida nominal corresponde a un valor de:

$$L = \left(\frac{0,8 * 1 * 1}{1,1} * \frac{373\text{N}}{3,75\text{N}} \right)^3 * 50$$

$$L = 18927558,72 \text{ km}$$

La longitud de carrera mantiene un valor de $l_{sL} = 0,596 \text{ m}$, cómo se observa en la Ilustración 98.

Ilustración 98. Longitud de carrera de eje "X"



ELABORADO: AUTORES.

El tiempo de vida de se calcula por medio de la Ec. (60):

Considerando que: $n_1 = 3 * n$

$$L_h = \frac{18927558,72 \text{ km} * 10^3}{2 * 0,596 \text{ m} * 51 * 60}$$
$$L_h = 5189158,31 \text{ h}$$

El valor de vida útil del rodamiento SC10UU es elevado debido a que la carga que somete el componente es sumamente mínima mediante especificación de catálogo.

5.1.4. Instalación y calificación.

En este apartado se desarrollan las pruebas que se relacionan directamente con la arquitectura del equipo que se clasifican en:

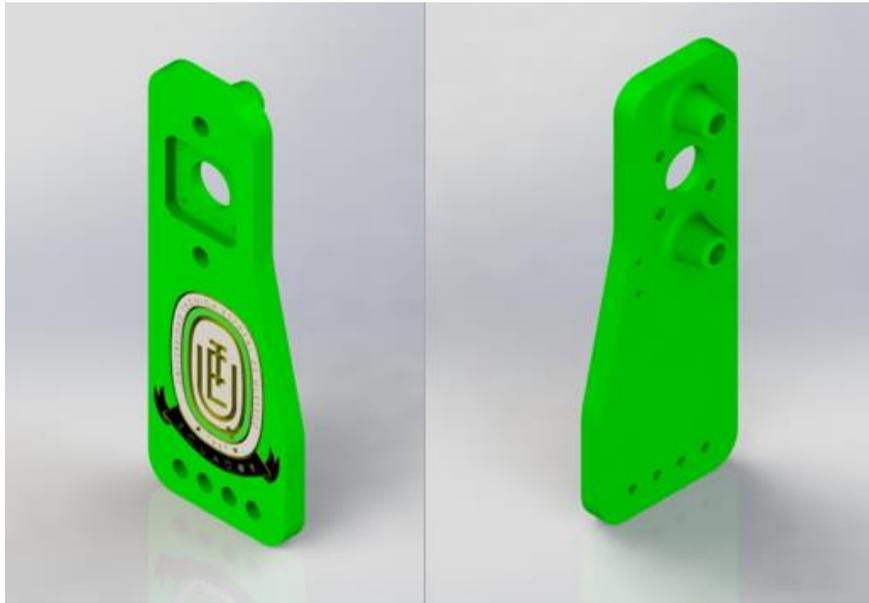
- ❖ Arquitectura mecánica
- ❖ Arquitectura electrónica

Es claro que, en todo desarrollo de equipos, se constan de ciertos procesos para llevar a cabo un objetivo definido, que se trata de realizar un control de ensamblaje y pruebas de funcionalidad de la maquinaria.

5.1.5. Elaboración de elementos impresos.

El equipo cuenta con ciertos componentes elaborados a través de impresiones 3D, se escogió esta alternativa debido a que es viable económicamente. De tal forma, la finalidad de estos componentes impresos que actúan como soporte, es de mantener una estructura rígida para que los elementos que se encuentren en funcionamiento presenten una estabilidad y gran precisión dentro del modelo elaborado. A continuación, se observa en la Ilustración 99, uno de los componentes elaborados en impresión 3D.

Ilustración 99. Soporte lateral.



ELABORADO: AUTORES.

5.1.5.1. Especificaciones técnicas del PLA.

Según la plataforma Total Materia se especifican las propiedades mecánicas y físicas del material que se observan en la Tabla 32 y Tabla 33 [66].

Tabla 32. Propiedades mecánicas del PLA.

Propiedades Mecánicas del PLA		
Variable	Valor	Unidad
Resistencia a la tracción	64,4	MPa
Resistencia a la fluencia	85	MPa
Deformación por tracción	15,3	%

ELABORADO: AUTORES.

Tabla 33. Propiedades físicas del PLA.

Propiedades Físicas del PLA		
Variable	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad	3,1	GPa
Densidad	1,24	kg/dm ³
Temperatura de fusión	168	°C

ELABORADO: AUTORES.

5.1.5.2. Condiciones de trabajo.

Los parámetros que se establecen en el software Ultimaker Cura son de gran importancia, ya que de acuerdo con estas condiciones se ven reflejadas en una pieza terminada. Para condiciones de ensamble entre varias piezas, es viable realizar pruebas para determinar las consideraciones más apropiadas a la hora de producir la pieza.

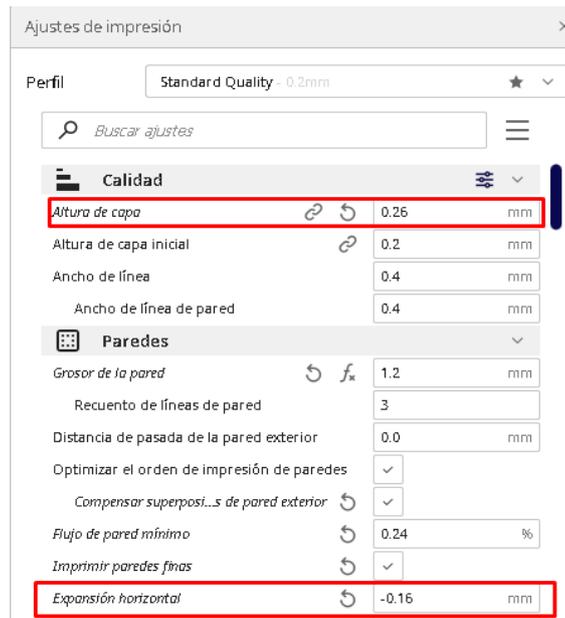
Dentro de los ajustes de impresión se encuentran:

- ❖ **Calidad:** Esta consideración permite obtener un mejor acabado en la pieza, sin embargo, aumenta el tiempo de elaboración del componente.
- ❖ **Expansión:** Este parámetro permite realizar una reducción o aumento de área en la pieza, es decir, que para condiciones de encajes se deben imprimir los componentes con expansiones negativas, ya que al elaborarse reduce de manera significativa el área que es expuesta a ajustes con otros elementos. Por ejemplo: perforaciones para uniones pernadas.
- ❖ **Densidad de relleno:** La condición de porcentaje de relleno permite que la pieza tenga mayor solidez, debido a que mantiene mayor porcentaje de material de manera interna en el componente.
- ❖ **Patrón de relleno:** El patrón de relleno depende directamente de la utilidad del componente impreso.
- ❖ **Temperatura de impresión:** La temperatura se centra específicamente en la cama de impresión y en el sistema de extrusión del filamento, el cual depende directamente del tipo de material que se esté empleando.

5.1.5.3. Configuración de parámetros.

La calidad de impresión se ajusta a un valor de 0,26 con la finalidad de reducir tiempos impresión, dado que si este valor decrece se puede obtener un elemento con mejor acabado, sin embargo, aumenta considerablemente su tiempo de elaboración. De acuerdo con el valor de la expansión se puede obtener mediante pruebas, debido a que estos valores trabajan en intervalos de 0,2 a -0,2.

Ilustración 100. Ajuste de parámetros de calidad.



ELABORADO: AUTORES.

Se conoce que las placas que sirven como soportes de los componentes que se encuentran en el eje “X” de la máquina, debe mantener una estructura sólida y de gran resistencia. Para ello, se conoce que los rodamientos se encuentran en constante accionamiento y necesitan que el eje guía se encuentre sujeto a la superficie.

Para garantizar la efectividad de un ensamble sin desperdiciar materia prima, se ejecuta una prueba en las zonas de perforaciones con la finalidad de realizar un pequeño subensamble y establecer un valor por defecto.

Para este tipo de ajuste se evidencia que el elemento que se ensambla a la placa de tipo soporte debe configurarse a un parámetro de expansión de -0,16 mm con la finalidad de obtener una restricción total del elemento como se muestra en la Ilustración 101.

Ilustración 101. Prueba de sujeción del eje guía.



ELABORADO: AUTORES.

De acuerdo en la Ilustración 102 se evidencia que con el parámetro establecido anteriormente los elementos de sujeción no tienen ninguna interferencia en la pieza, así mismo como el acople del motor paso a paso.

Ilustración 102. Prueba de las uniones pernadas a la placa.



ELABORADO: AUTORES.

Las temperaturas de impresión para el PLA por lo general se encuentran en un rango de 190 a 220 °C para el sistema de extrusión. A su vez, la temperatura de cama suele ajustarse en un rango de 55 a 70 °C [67].

Ilustración 103. Ajuste de parámetros de temperaturas.

Ajustes de impresión

Perfil: Standard Quality - 0.2mm

Buscar ajustes

Material

Temperatura de impresión	↻	205.0	°C
Temperatura de la placa de impresión	🔗	60	°C
Flujo	↻	98.0	%

Velocidad

Velocidad de impresión	↻	40.0	mm/s
Velocidad de relleno		40.0	mm/s
Velocidad de pared		20.0	mm/s
Velocidad de pared exterior		20.0	mm/s
Velocidad superior/inferior		20.0	mm/s
Velocidad de desplazamiento		150.0	mm/s
Velocidad de capa inicial		20.0	mm/s
Activar control de aceleración	🔗	<input checked="" type="checkbox"/>	
Aceleración de la impresión	↻	400.0	mm/s ²

ELABORADO: AUTORES.

El patrón de relleno es de gran importancia en estos elementos impresos en 3D, ya que de acuerdo con su configuración de relleno le permite mantener una resistencia en particular. Dado que las piezas son de carácter funcional, se debe considerar una estructura reforzada para soportar todos los componentes que se alojen en la misma.

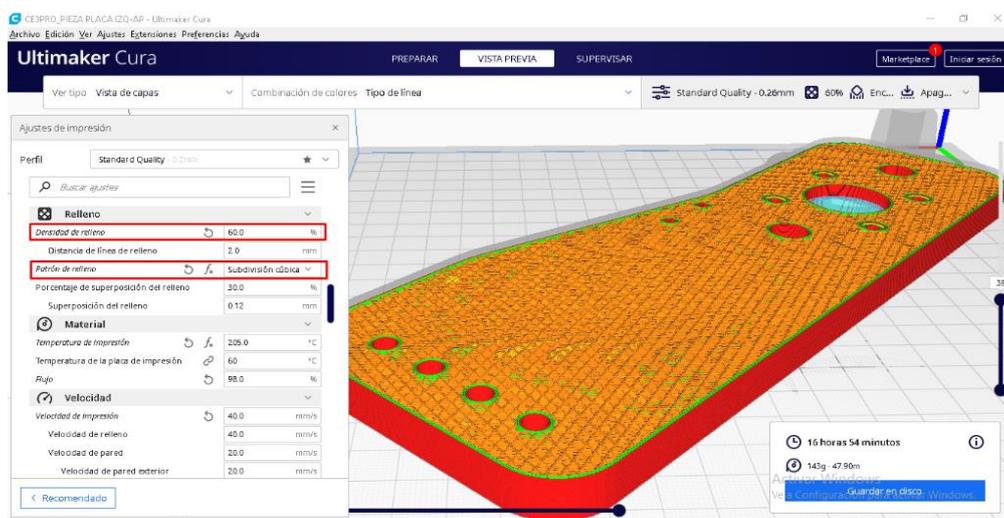
Para piezas funcionales se debe considerar un patrón de relleno mayor al 50%. Esto debido a que requieren una alta dureza en varias direcciones en las que las cargas pueden actuar. Los patrones de relleno más adecuados se clasifican [68]:

- ❖ Cúbico: Patrón 3D formado por cubos apilados e inclinados.
- ❖ Subdivisión cúbica: Esta variación del patrón cúbico utiliza menos material.
- ❖ Octeto: También denominado relleno tetraédrico, en este patrón se apilan formas piramidales.

El tipo de patrón de relleno seleccionado para elaborar las piezas impresas en 3D, es de configuración subdivisión cúbica debido a que se encuentra dentro de la categoría de patrones de mayor dureza y resistencia. A su vez, esta permite reducir los tiempos de impresión y cantidad de material consumido frente a las otras configuraciones.

Para todas las piezas que se realizaran, van a corresponder con un parámetro establecido de una densidad de mallado del 60%. A su vez, se observa en la Ilustración 104 la configuración, el porcentaje de relleno y el tiempo de elaboración del componente.

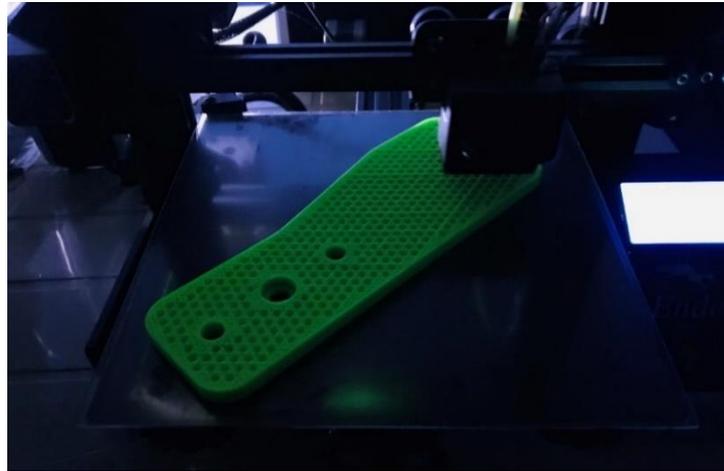
Ilustración 104. Porcentaje de la densidad de mallado.



ELABORADO: AUTORES.

Una vez que se establecen todos los parámetros, prosigue la elaboración de la placa tipo soporte mediante impresión 3D como se muestra en la Ilustración 105.

Ilustración 105. Impresión 3D de la placa soporte de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

5.1.5.4. Ensamble del equipo.

El proceso de ensamble se llevó a cabo mediante la unión de todos los componentes, para ello se constaba con piezas impresas en 3D y los elementos estructurales de la máquina, así mismo, como aquellos que permiten el accionamiento de los ejes “X” y “Y” de la máquina CNC. En la Ilustración 106, se muestran los componentes utilizados en la elaboración de la máquina CNC.

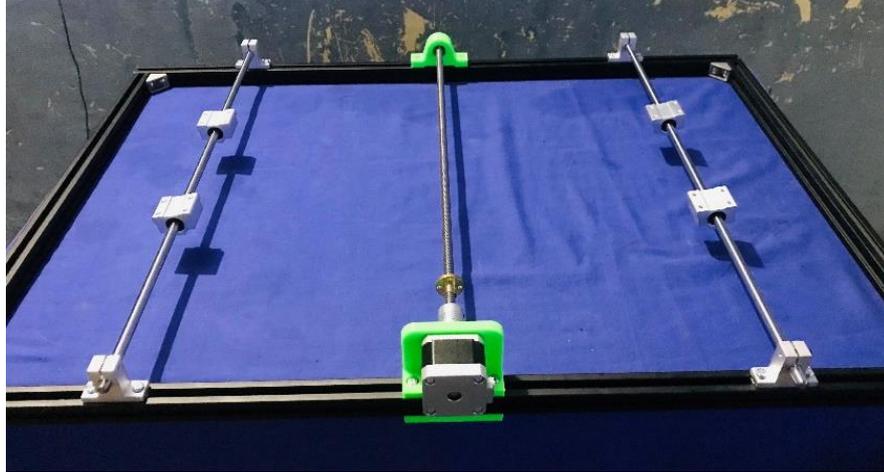
Ilustración 106. Elementos utilizados en la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 107 se muestra la parte inferior de la máquina CNC. La cual cuenta con el marco estructural y los equipos que permiten el deslizamiento de la mesa de trabajo correspondiente al eje “Y” de la máquina.

Ilustración 107. Subensamble de la parte inferior de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

Por consiguiente, se observa en la Ilustración 108 el ensamble general de la máquina CNC de acuerdo con la arquitectura mecánica del equipo.

Ilustración 108. Ensamble general de la máquina CNC.

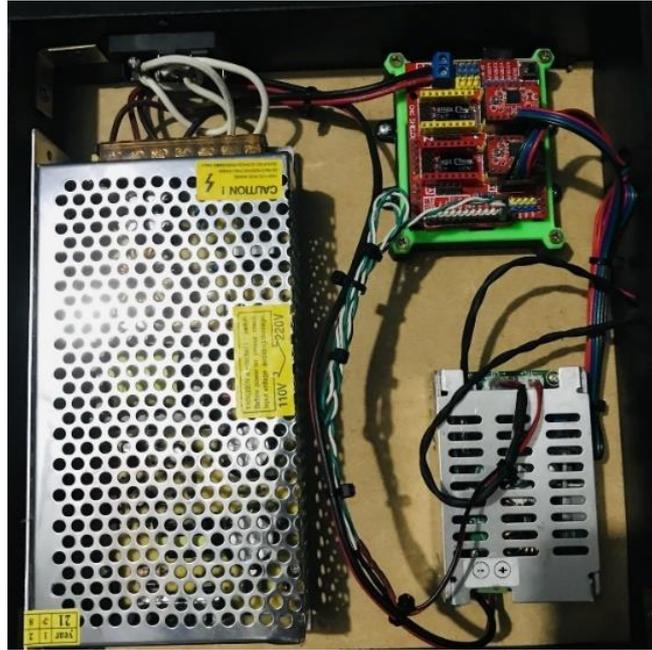


ELABORADO: AUTORES.

5.1.5.5. Caja electrónica.

Los componentes pertenecientes a la arquitectura electrónica se alojaron en un determinado espacio que les permite almacenarse de forma segura para evitar agentes externos que puedan afectar su funcionalidad, previo a ello garantizar la vida útil de los mismos y facilitar la estructura organizada de la máquina, a su vez, generar cierta comodidad al momento de ser trasladada.

Ilustración 109. Electrónica de la máquina CNC.



ELABORADO: AUTORES.

5.1.6. Análisis de costos.

En este apartado se clasifican los costos generados en la elaboración del proyecto, de tal manera que se enlistan los costos directos e indirectos.

5.1.6.1. Costos Directos.

Dentro de los costos directos se relaciona directamente con la materia prima utilizada en la elaboración de la máquina CNC de corte y grabado por láser. Como se puede observar en la Tabla 34 se describen los costos de cada componente de la arquitectura mecánica de la máquina, así mismo se observa en la Tabla 35 representando la arquitectura electrónica.

Tabla 34. Estimación de costos estructurales.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Perfiles 20x20x1000mm	3	\$ 9,50	\$ 28,50
Eje Ø 8 mm x 600mm	2	\$ 8,90	\$ 17,80
Eje Ø 10 mm x 1000 mm	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Husillo Ø 8 mm x 600 mm	1	\$ 20,50	\$ 20,50
Husillo Ø 8 mm x 1000 mm	1	\$ 38,50	\$ 38,50
Tuerca para husillo	2	\$ 3,00	\$ 6,00
Soportes para ejes	4	\$ 4,40	\$ 17,60
Soportes esquineros	4	\$ 2,50	\$ 10,00
Acople flexible de 5 mm a 8 mm	2	\$ 2,90	\$ 5,80
Rodamiento SC8UU 8mm	4	\$ 4,50	\$ 18,00
Rodamiento SC10UU 10mm	2	\$ 7,00	\$ 14,00
Rodamiento de bola 8mm	2	\$ 1,50	\$ 3,00
Tuercas deslizantes M5	21	\$ 0,25	\$ 5,25
Tornillos M5 - M4 - M3	1	\$ 6,00	\$ 5,00
Bobina de filamento PLA	1	\$ 22,00	\$ 22,00
Total			\$ 242,95

ELABORADO: AUTORES.**Tabla 35.** Estimación de costos electrónicos

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Módulo láser	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Driver módulo láser	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Arduino UNO R3 ATMEGA	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Placa de control CNC Shield V3	1	\$ 5,50	\$ 5,50
Driver motor a pasos A4988	2	\$ 2,50	\$ 5,00
Switch interruptor	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Fuente de poder 12 VDC	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Motor Nema 17	2	\$ 15,75	\$ 31,50
Total			\$ 489,50

ELABORADO: AUTORES.

Los costos adicionales se involucran directamente como materiales externos a la arquitectura mecánica y electrónica del equipo, dado que pertenecen a una categoría de accesorios para mantener en óptimas condiciones la máquina CNC. A su vez, se identifican los valores en la Tabla 36.

Tabla 36. Estimación de costos adicionales.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Lentes de protección	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Protección ocular del láser	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Mesa de trabajo	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Tablas de prueba	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Conectores eléctricos	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Caja electrónica	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Total			\$ 65,00

ELABORADO: AUTORES.

Resumen de Costos

A continuación, se presenta en la Tabla 37 de manera detallada los costos generados del equipo.

Tabla 37. Detalle de costos generados en el desarrollo de la máquina.

Descripción	Valor
Estimación de costos estructurales	\$ 242,95
Estimación de costos electrónicos	\$ 489,50
Estimación de costos adicionales	\$ 65,00
Total	\$ 797,45

ELABORADO: AUTORES.

Se realiza una comparación de precios frente a otros equipos, con la finalidad de obtener información acerca de la rentabilidad del equipo construido. La comparación se observa en la Ilustración 110.

A continuación, se presenta el siguiente listado de las máquinas:

- ❖ AtomStack X7 [69].
- ❖ Creality Cv-0,1 Láser [70]
- ❖ Máquina láser CNC cortadora Grabadora Sellos Fomi [71].

Ilustración 110. Comparación entre equipos comerciales y equipo elaborado.

DESCRIPCIONES	Prototipo de máquina para corte y grabado láser	AtomStack X7	Creativity Cv-0,1 Láser	láser CNC cortadora Grabadora
				
Dimensiones generales	750 x 535 mm	569 x 599 x 270 mm	416 x 363 x 138 mm	400 x 300 mm
Sistema de desplazamiento	Husillo	Husillo	Correa de transmisión	Correa de transmisión
Precio	\$797,45	\$600	\$236,25	\$650
Láser	15 W	50 W	16 W	2,5 W
Ensamblaje	Desarmable	Desarmable	Desarmable	Desarmable
Guías de accionamiento	Ejes	Ejes	Ruedas de plástico	Ruedas de plástico
Estructura	Aluminio e impresión 3D	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Equipo de protección	Gafas y protección ocular de enfoque	Protección ocular de enfoque	Gafas de protección ocular	Gafas de protección ocular
Software de diseño	LighBurn-Grbl	LaserGRBL, LightBurn	Creativity Cv-0,1	Benbox
Sistema Operativo	Windows XP, 7, 8, 10 de 32 bits	Windows XP, 7, 8, 10 de 32 bits	Windows XP, 7, 8, 10 de 32 bits	Windows XP, 7, 8, 10 de 32 bits
Formato de archivo admitido	tiff, jpeg,psd,cmyk, png, g-code	jpeg , jpg , png	jpeg , jpg , png , bmp, svg	Jpg, bmp, Bao, g-code

ELABORADO: AUTORES.

Como se puede observar en la Ilustración 110 el prototipo de máquina para corte y grabado láser elaborado presenta una gran diferencia en cuanto a dimensiones generales, lo que permite abarcar con mayor área de trabajo, sin embargo, presenta un mayor costo debido a la adquisición de componentes electrónicos que no se encuentra a nivel de localidad, ya que hace referencia al módulo láser de 15 W que se obtuvo en un valor de \$300. Por ello, el equipo no es factible para su adquisición dado que la materia prima se encuentra a un elevado costo porque requiere de importación.

5.1.7. Pruebas del sistema.

Se selecciona el software “LightBurn” debido a que es un programa de diseño, edición y control en la máquina CNC, se puede importar ilustraciones de distintos formatos como PDF, DXF, PNG, etc. Editar o crear varias formas vectoriales para corte y grabado, cambiar la potencia, número de pasadas y configuración del contraste de la imagen. El software LightBurn es compatible con el Windows, Mac Os y Linux, diseñado precisamente para cortes y grabados de distintos tipos de máquinas láser [73].

5.1.7.1. Configuración del área de trabajo.

Uno de los principales requerimientos del software es establecer el área de trabajo, dado que sus dimensiones corresponden a medidas de 627 mm x 312 mm. Así mismo, se referencia el nombre del dispositivo a manipular como: “LÁSER TTL 15W”.

Ilustración 111. Configuración del área de trabajo.



ELABORADO: AUTORES.

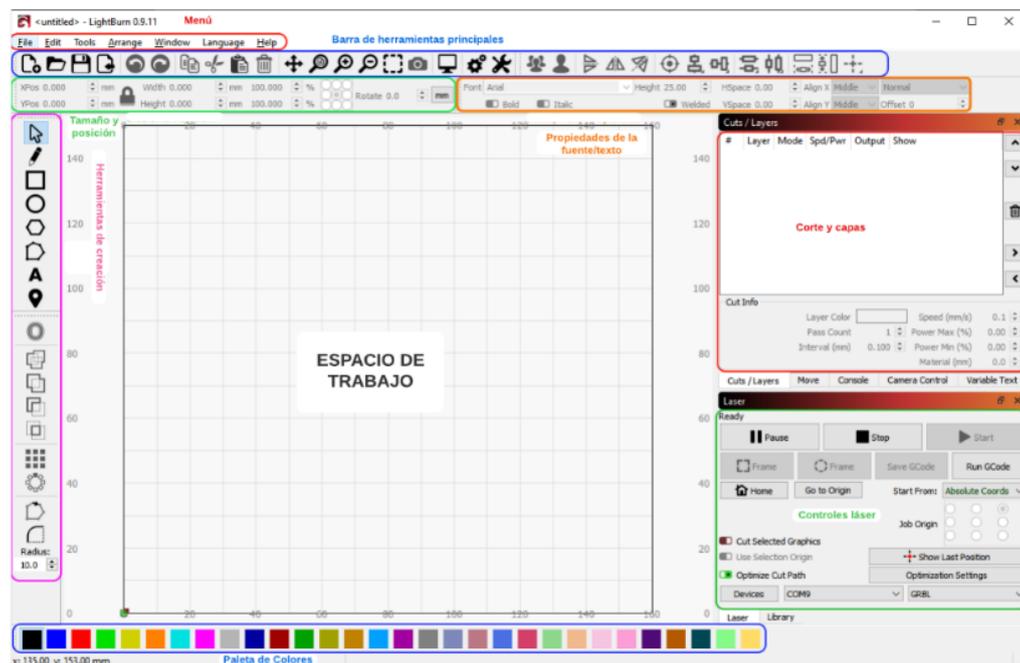
Es de gran utilidad interpretar la interfaz del software con la finalidad de adaptarse a su modo de operación, ya que la diversidad de comandos permite ejecutar varias actividades por defecto.

El diseño de la interfaz cuenta con los siguientes apartados:

- ❖ Menú: La barra de menú ofrece acceso a casi todas las funciones disponibles del software.
- ❖ Barra de herramientas principales: Esta brinda acceso rápido a las funciones más empleadas en el software, si bien es de utilidad para abrir o importar archivos, guardar archivos entre otras.

- ❖ Herramientas de creación: Son herramientas de selección para el objeto, e inclusive también se encuentran para la creación de formas básicas, entre otras.
- ❖ Tamaño y posición: Permiten modificar las dimensiones del diseño, a su vez ajustar la posición en el área de trabajo.
- ❖ Propiedades de fuente: Permite cambiar el tipo de fuente, tamaño, espaciado, la alineación del texto.
- ❖ Paleta de colores: Se emplea con la finalidad de mantener diferencias entre los objetos que se proyecten en el área de trabajo, e inclusive realizar una operación determinada.
- ❖ Controles de láser: Las herramientas que se encuentran en disposición permiten cargar el tipo de láser admitido en el software, así mismo como puede verificar los límites de la figura con la opción “frame” en el cual el láser se desplaza a la ubicación dispuesta en el área de trabajo, a su vez ejecuta la actividad, detiene o cancela el proceso de la actividad, entre otras opciones.
- ❖ Corte y capas: Permite asignar velocidades, potencia del láser, número de pasadas, color e incluso elegir el modo de trabajo para la actividad de corte o grabado.

Ilustración 112. Interfaz de Light Burn.



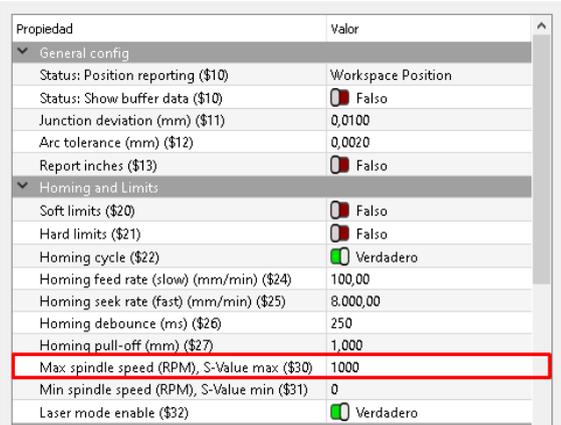
ELABORADO: AUTORES.

5.1.7.1.1. Parámetros de operación.

Se conoce que el software LightBurn cuenta con una accesibilidad muy diversa en comandos de trabajo. Dado el caso, el equipo necesita de una configuración previa para que pueda operar de forma adecuada, para ello, la plataforma de LightBurn ofrece información detallada acerca de los procesos de configuración, lo cual facilita la interpretación de valores que se pueden predefinir para que el equipo pueda operar a condiciones favorables. Las configuraciones que se realizan para la calibración del equipo se muestran a continuación, dicha información es recopilada de la plataforma LightBurn [72].

Se realizan los ajustes de la máquina en base a la configuración que se observa en la Ilustración 113. Estos parámetros son de suma importancia dado que definen las condiciones de operación del equipo, así mismo se define el parámetro S-Value max (\$30) el cual permite al controlador láser operar a capacidad de potencia máxima, es decir que su indicador máximo corresponde a un valor de 1000.

Ilustración 113. Ajustes de máquina.

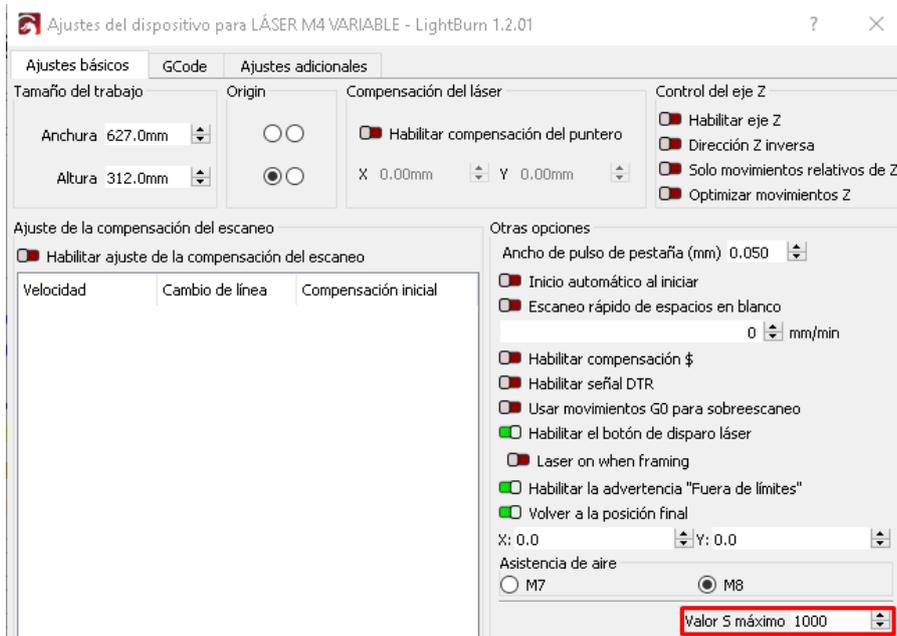


Propiedad	Valor
General config	
Status: Position reporting (\$10)	Workspace Position
Status: Show buffer data (\$10)	<input type="checkbox"/> Falso
Junction deviation (mm) (\$11)	0,0100
Arc tolerance (mm) (\$12)	0,0020
Report inches (\$13)	<input type="checkbox"/> Falso
Homing and Limits	
Soft limits (\$20)	<input type="checkbox"/> Falso
Hard limits (\$21)	<input type="checkbox"/> Falso
Homing cycle (\$22)	<input checked="" type="checkbox"/> Verdadero
Homing feed rate (slow) (mm/min) (\$24)	100,00
Homing seek rate (fast) (mm/min) (\$25)	8.000,00
Homing debounce (ms) (\$26)	250
Homing pull-off (mm) (\$27)	1,000
Max spindle speed (RPM), S-Value max (\$30)	1000
Min spindle speed (RPM), S-Value min (\$31)	0
Laser mode enable (\$32)	<input checked="" type="checkbox"/> Verdadero

ELABORADO: AUTORES.

Para que la configuración máxima se establezca en el dispositivo, se debe definir el mismo valor en la casilla que registra el parámetro “Valor S máximo” que se muestra en la Ilustración 114, dado que estos parámetros se vinculan y deben presentar el mismo valor indicado, con la finalidad de que la potencia máxima alcanzada del dispositivo láser corresponda a un valor correspondiente al 100%.

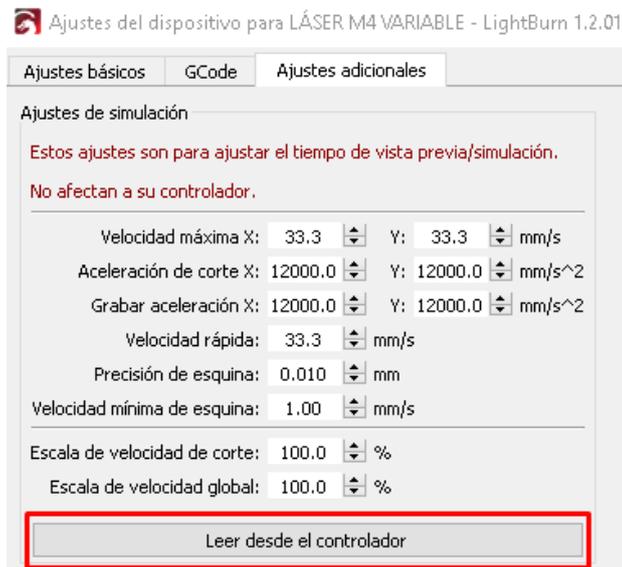
Ilustración 114. Valor S máximo de potencia láser.



ELABORADO: AUTORES.

Los valores que se registran en la Ilustración 115 se ajustan de acuerdo con los valores configurados en la Ilustración 114.

Ilustración 115. Ajustes del dispositivo controlador.



ELABORADO: AUTORES.

Este procedimiento sirve para visualizar los tiempos adecuados en la vista previa del simulador que se observa en la Ilustración 116.

Ilustración 116. Vista previa del simulador.



ELABORADO: AUTORES.

Se requiere de un ajuste en las opciones generales del software, en los cuales se configura las unidades para su respectiva operación.

Ilustración 117. Ajuste de unidades.



ELABORADO: AUTORES.

5.1.7.1.2. Plantillas para pruebas de grabado.

Se debe configurar la plantilla de prueba que se muestra en la Ilustración 118 para ejecutar el grabado en el material de trabajo, para este tipo de prueba se realizan en dos tipos de materiales:

- ❖ Plywood.
- ❖ MDF.

Ilustración 118. Plantilla de prueba 1.



ELABORADO: AUTORES.

La plantilla que se muestra en la Ilustración 119 se analiza el tamaño de letras con la finalidad de comprobar qué detalle se dificulta grabar para el equipo.

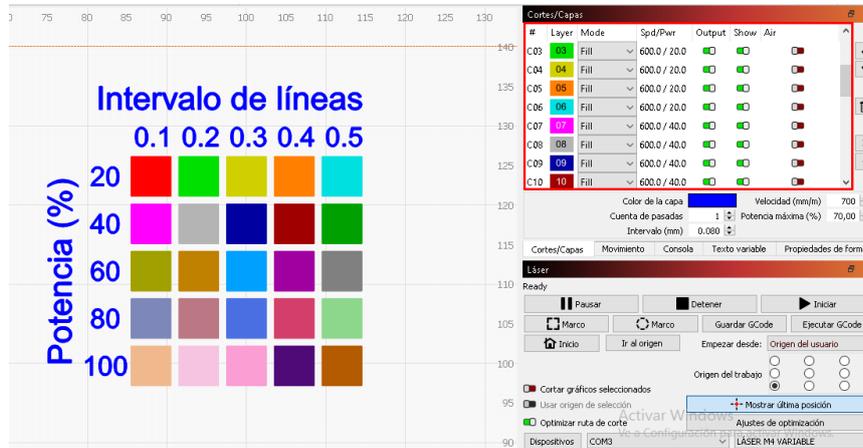
Ilustración 119. Plantilla de prueba 2.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 120 se presenta la plantilla de intervalo de líneas, con la finalidad de estudiar este parámetro específico, ya que las calidades visuales de imágenes dependen mucho de este tipo de indicador.

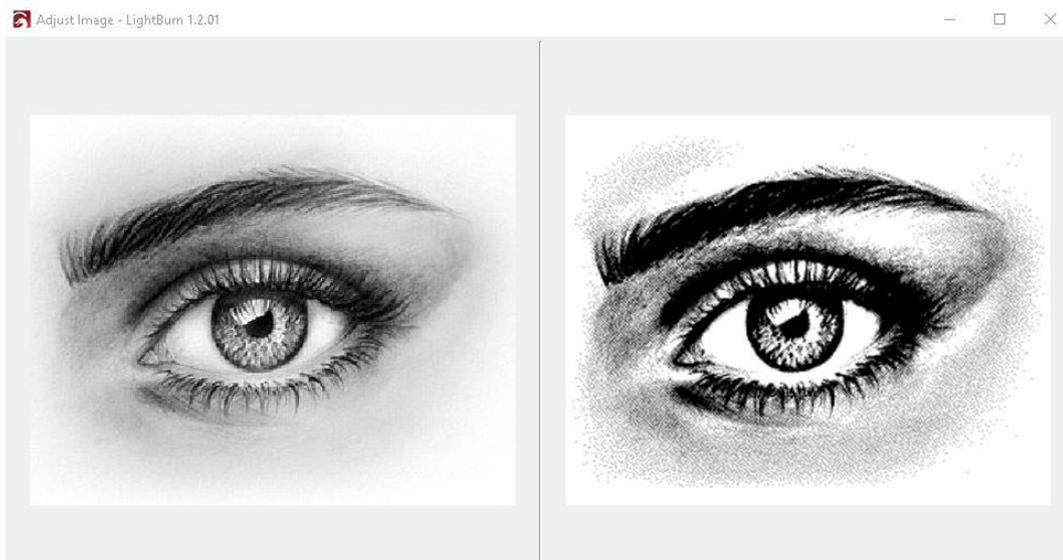
Ilustración 120. Plantilla de prueba 3.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 121 se puede observar del lado izquierdo la imagen original que presenta un número de detalles considerables, a su vez el lado derecho representa la configuración de dicha imagen para ejecutar una prueba de grabado, así mismo, obtener resultados favorables con la finalidad de realizar grabados a escalas de imágenes e incluso tamaños mayores.

Ilustración 121. Ajuste de imagen.



ELABORADO: AUTORES.

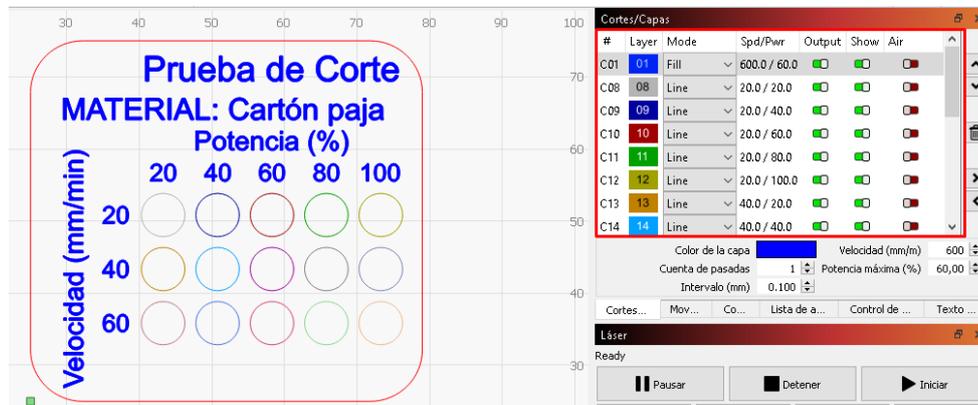
5.1.7.1.3. Plantillas para pruebas de corte.

Se deben configurar las plantillas para pruebas de corte. Los materiales por ensayar son los siguientes:

- ❖ Cartón.
- ❖ Cartón paja.
- ❖ Balsa.

En la Ilustración 122 se observa la plantilla de prueba 1 que se encuentra configurada para un material en específico. Las pruebas realizadas permiten analizar parámetros de operación de la máquina en modalidad de corte.

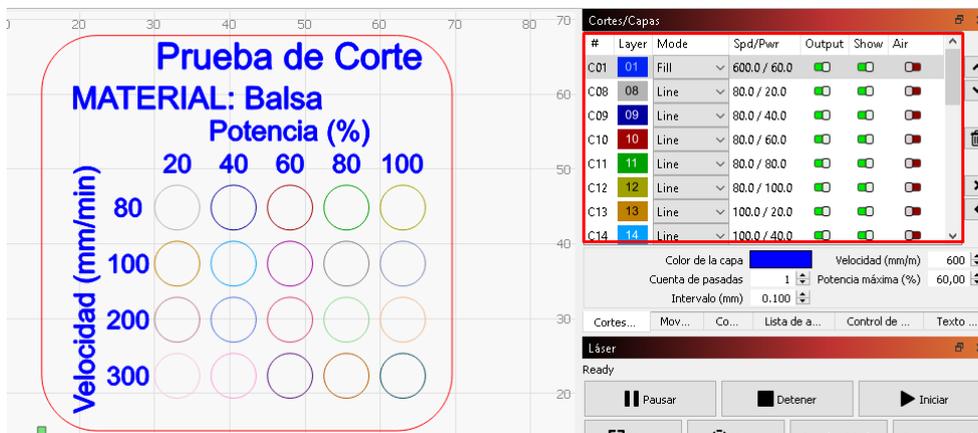
Ilustración 122. Plantilla de prueba de corte 1.



ELABORADO: AUTORES.

Las plantillas de corte se evalúan en diferentes tipos de materiales, los mismos que de acuerdo con los espesores de la tabla de trabajo, pueden incrementar o disminuir sus velocidades como se muestra en la Ilustración 123.

Ilustración 123. Plantilla de prueba de corte 2.



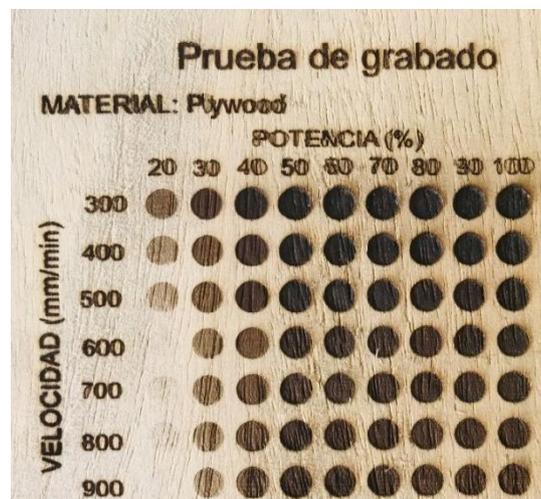
ELABORADO: AUTORES.

5.2. Discusión.

5.2.1. Pruebas de grabado.

Se observa en la Ilustración 124 el resultado de un grabado de acuerdo con las variaciones de potencia vs velocidad. Por lo consiguiente, se establece que el grabado a una potencia no mayor del 60% y un rango de velocidades entre 500 a 900 mm/min se puede obtener resultados muy favorables donde el parámetro de velocidad permite minimizar los tiempos de elaboración del diseño.

Ilustración 124. Resultado prueba 1 plywood-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 125 se muestra el resultado de los tamaños de letra, dado que se permite definir un valor mínimo para elaboración de diseños personalizados donde se quiera identificar un texto en particular. Por ello, se obtuvo un valor mínimo de tamaño de letra del 0,75 mm el cual es notable a la apreciación del espectador.

Ilustración 125. Resultado prueba 2 plywood-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 126 se observa el intervalo de líneas. Esta prueba revela el tipo de calidad de imagen, es decir que a menor intervalo de líneas la calidad de imagen será mayor, a su vez incrementa el tiempo de elaboración. De tal manera el intervalo de líneas mínimo correspondiente al 0,1 mm, aplica para diseños de gran detalle a su vez puede variar según la potencia suministrada al dispositivo láser.

Ilustración 126. Resultado prueba 3 plywood-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 127 se observan los degradados de imagen correspondiente a la plantilla de prueba mostrada en la Ilustración 121. Este tipo de diseño presenta diferentes configuraciones de acabado de imagen, para lo cual se opta por una variación entre 60-70% de potencia máxima según la configuración “Jarvis” y “Tramado” con la finalidad de presentar grabados más detallados.

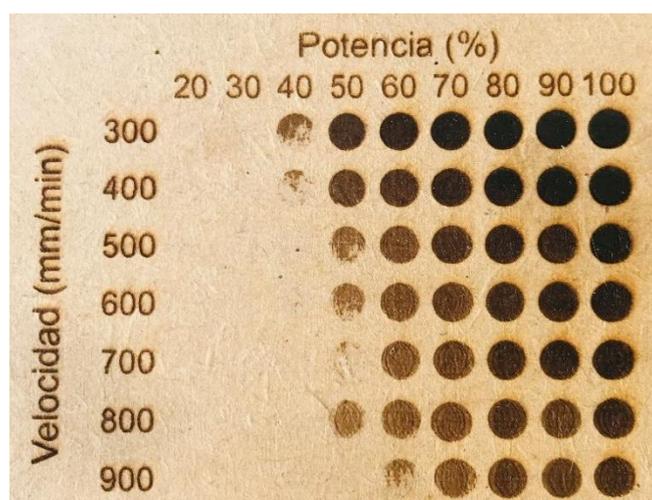
Ilustración 127. Resultado prueba 4 plywood-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

El proceso de prueba es repetitivo, sin embargo, el material a estudiar es de tipo MDF. En el cual se puede observar grandes calidades de acabado de imagen a diferencia del plywood, definiendo valores de velocidades en un rango de 500 a 900 mm/min con una potencia máxima del 80%.

Ilustración 128. Resultado prueba 1 MDF-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 129 se observa que el tamaño de letra de 0,75 mm es difuso, por ello, se establece que para material MDF, el tamaño de letra mínimo sea de 1 mm.

Ilustración 129. Resultado prueba 2 MDF-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 130 se observa el resultado de la prueba de intervalos de líneas donde se opta una calidad de líneas de 0,1 mm a una variación de potencia del 40% al 100%.

Ilustración 130. Resultado prueba 3 MDF-grabado.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 131 se observan resultados favorables entre un rango de 50% al 70% de potencia láser para configuraciones de acabado stucki, jarvis y tramado.

Ilustración 131. Resultado prueba 4 MDF-grabado.

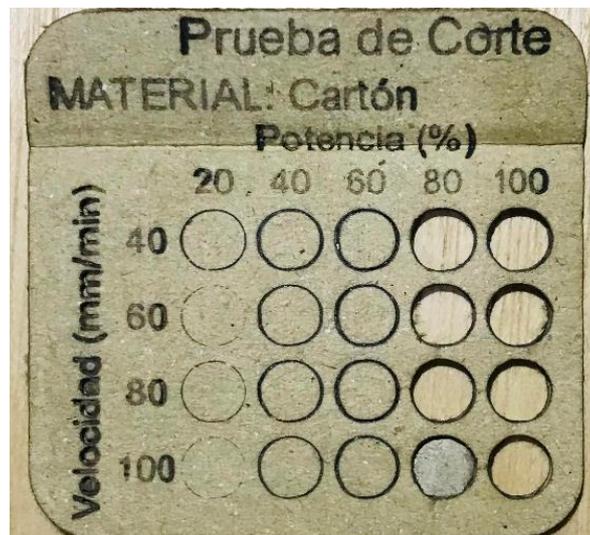


ELABORADO: AUTORES.

5.2.2. Pruebas de corte.

Se puede observar en la Ilustración 132 los cortes realizados sobre el material de trabajo. Para este tipo de prueba se emplea cartón con la finalidad de verificar las condiciones favorables de velocidades y porcentajes de potencia, sin necesidad de forzar el equipo. Dado el caso se verifica que en un rango de velocidades de 40-80 mm/min con un 80% de potencia, la superficie del elemento es cortado, en caso de minimizar el tiempo de elaboración del diseño se establece una condición del 100% a 100 mm/min.

Ilustración 132. Cartón 1,5 mm prueba 1.



ELABORADO: AUTORES.

Para esta plantilla de corte se evalúa con un espesor de 1mm. Dado que en la Ilustración 133 se observa que en rangos de 80 a 100 mm/min y una potencia del 60% es suficiente para atravesar la superficie del elemento. En tal caso de minimizar tiempos de producción una alternativa viable es la condición de 100% de potencia a 200 mm/min.

Ilustración 133. Balsa 1mm prueba 2.



ELABORADO: AUTORES.

Este tipo de plantilla es configurada para ejecutarla a menores velocidades, esto con la finalidad de que el corte se realice, debido a que el espesor del elemento es mayor, el cual es correspondiente a 2 mm. A su vez, se observa en la Ilustración 134 que a velocidades de 60-80 mm/min con una potencia del 80%, es suficiente para realizar el corte. Por lo consiguiente, si se busca minimizar tiempos de producción se establece una condición de 100% de potencia a 200 mm/min.

Ilustración 134. Cartón 2mm prueba 3.



ELABORADO: AUTORES.

En la Ilustración 135 se observa una superficie quemada alrededor de una potencia del 100%, es decir que para velocidades relativamente bajas de 20-40 mm/min se puede mantener un rango de 60-80% del potencial entregado al dispositivo láser. A su vez, no se define una condición de velocidad máxima con la finalidad de reducir tiempo, dado que el acabado de la superficie del elemento se ve afectado por el 100% de potencia entregada.

Ilustración 135. Cartón paja 3mm prueba 4.



ELABORADO: AUTORES.

Tabla 38. Resultados de las pruebas de corte.

Material	Espesor	Velocidades	Potencia	Número de pasadas
Balsa	1 mm	80-100 mm/min	60%	5
Balsa	2 mm	60-80 mm/min	80%	17
Cartón	1,5 mm	40-80 mm/min	80%	10
Cartón paja	2,5 mm	20-40 mm/min	60-80%	17

ELABORADO: AUTORES.

Tabla 39. Condiciones opcionales para realizar cortes.

Material	Espesor	Velocidades	Potencia	Número de pasadas
Balsa	1 mm	200-300 mm/min	100%	5
Balsa	2 mm	100 mm/min	100%	17
Cartón	1,5 mm	100 mm/min	100%	10
Cartón paja	0,75 mm	100-300 mm/min	100%	5
Cartón paja	1,5 mm	150 mm/min	100%	9
Cartón paja	2,5 mm	60 mm/min	100%	No es recomendable

ELABORADO: AUTORES.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

- ❖ Los ejes guías se analizan mediante la teoría de falla de la energía de distorsión en donde se obtuvo factores de seguridad con valores de 18,42 para el eje “Y” y 66 para el eje “X” de la máquina. Por otro lado, los rodamientos de bolas seleccionados cumplen con los requisitos de vida nominal al considerar una condición de precarga con factores de 0,01 y 0,005 respectivamente. En cuanto a longitud libre del husillo, esta cumple con el proceso de selección debido al tipo de restricción que presenta, por lo cual los elementos son adecuados al estar a compresiones menores de 0,5 kN.
- ❖ En la selección de los componentes electromecánicos es importante definir las capacidades requeridas del elemento motriz de la máquina, dado que en el análisis realizado se obtuvo un torque requerido de 0,00179 Nm para el sistema de accionamiento del eje “X” y 0,00701 para el eje “Y”, por lo consiguiente los motores cumplen con la selección, ya que el torque que requiere está por debajo de la capacidad máxima.
- ❖ El software de interconexión para la máquina CNC consta de la compilación de archivos de la librería Grbl para Arduino, lo que le permite la ejecución de un proceso de automatización mediante la interpretación de códigos que reconocen el desplazamiento, la posición, velocidad y el número de pasadas requeridas a través de los drivers que controlan los motores paso a paso.
- ❖ En el análisis de costos realizado, los gastos que se involucran en la construcción del equipo presentaron un valor total de \$797,45. De tal manera que este coste se lo analiza a modo de comparación frente a otros equipos, manteniendo una variación considerable. Esto se debe a que la adquisición del módulo láser del equipo presenta un coste elevado y por ello, el incremento en su elaboración siendo no factible la adquisición del equipo.
- ❖ En las pruebas realizadas se establecieron parámetros de funcionamiento de velocidades y potencia según el tipo de material. En donde las velocidades de grabado estas varían de $500 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ a $900 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ con un porcentaje de potencia por debajo del 80%. Por otro lado, los resultados de las pruebas de corte presentan velocidades de corte mínimas de $20 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ hasta $100 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ como valores recomendados, según el número de pasadas respectivas.

6.2. Recomendaciones.

- ❖ Consultar proveedores externos con la finalidad de adquirir materia prima a nivel de importación, en el cual los elementos estructurales que presenten una característica distintiva estén disponibles en el mercado local para evitar un sobredimensionamiento de ciertos elementos, a su vez se minimicen los costos generados en la adquisición de componentes.
- ❖ Es recomendable que las cargas a desplazarse mediante el sistema de accionamiento se encuentren por debajo de los límites permitidos del componente, si bien se comprende esto puede evitar el sobreesfuerzo del elemento y mantener un periodo de vida útil prolongado.
- ❖ En el proceso de compilación de datos de las librerías para la placa Arduino Uno, es ineficiente si se llegan a cargar varios datos, dado que su memoria es limitada. A su vez el realizar dicha acción se tiene como consecuencia errores en la interpretación de códigos, para solucionar dicho inconveniente se realiza un procedimiento de restauración, el cual consta en guardar un sketch sin edición como archivo de limpieza, para luego compilarlo con la finalidad de restaurar la placa Arduino.
- ❖ Dentro de la gestión de adquisición de productos para la elaboración de la máquina es favorable consultar a proveedores internacionales con la finalidad de comprar a menor precio, lo cual aplica para los dispositivos de mayor coste como el módulo láser debido a la baja demanda y así reducir considerablemente el costo total del equipo.
- ❖ Para ejecutar el funcionamiento de la máquina de corte y grabado por láser, es de gran importancia mantener el uso de equipo de seguridad, es decir, el panel protector para el dispositivo láser del equipo y gafas de protección para el operador.

CAPÍTULO VII
BIBLIOGRAFÍA

7. Bibliografía

- [1] P. Online, «Pirografo Online,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.pirografo.online/historia-pirograbado/>.
- [2] W. T. Flame, «Working The Flame,» 14 06 2020. [En línea]. Available: <https://workingtheflame.com/history-of-pyrography/>.
- [3] J. Boada, «El Arte Pirograbado,» *STARTEC*, pp. 1-3, 2018.
- [4] H. p. todo, «Herramientas para todo,» 2021. [En línea]. Available: <HTTPS://HERRAMIENTASPARATODO.COM/MEJORES-PIROGRABADORES/>.
- [5] Luis, «ingeniería electrónica,» 21 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://ingenieriaelectronica.org/diodo-laser-definicion-caracteristicas-usos/>.
- [6] «Cortador laser,» 24 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://cortadoraslaser.com/tipo/cortadoras-laser-de-diodo/>.
- [7] F. Espinoza Maldonado, A. Jiménez Péres, J. R. Farías Mancilla , Á. Saucedo Carbajal y J. A. Muñoz Gómez , «CARACTERIZACIÓN DE LÁSERS DE BAJA POTENCIA,» México, 2016.
- [8] Vistrónica. [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/perfiles-de-aluminio/perfil-de-aluminio-20x20-mm-v-slot-1-metro-para-cncimpresora-3d-detail.html>.
- [9] Cimech3D, «Cimech3D,» 2022. [En línea]. Available: <HTTPS://WWW.CIMECH3D.CL/PRODUCTO/PERFIL-ALUMINIO-V-SLOT-20X20-NEGRO/>.
- [10] «Provein,» 2020. [En línea]. Available: <https://provein.com.ec/ejes-cromados/>.
- [11] «German Special Steel,» [En línea]. Available: <https://www.gss-spain.com/productos/aceros-inoxidables/1-4034-aisi-420-f3405/>.
- [12] Hydraulic, «Hydraulic,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.hdhhydraulic.com/barra-cromada.html>.
- [13] Tecnopower, «mecapedia,» [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/tornillo_de_potencia/tecnopower.1.pdf.
- [14] Amazon, «Amazon,» 2022. [En línea]. Available: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZGO7ANireYMJ:https://www.amazon.es/RPTS-TR-12X3-Husillo-trapezoidal/dp/B011O3MF1I&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>.

- [15] «Grupoelectrostore,» [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/cnc/acople-flexible-58mm-para-motor-a-pasos/>.
- [16] tecmikro, «tecmikro,» 2022. [En línea]. Available: <https://tecmikro.com/componentes-electromecanicos/518-acople-acoplamiento-flexible.html>.
- [17] «NTN,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.ntn-snr.com/es/rodamientos-lineales-de-bolas>.
- [18] L. electrónica, «La electrónica,» 2022. [En línea]. Available: <https://laelectronica.com.gt/cojinete-lineal-de-8mm-con-base-sc8uu>.
- [19] «NSKamericas,» [En línea]. Available: <https://www.nskamericas.com/es/products/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings.html>.
- [20] A. industrial, «Automotriz industrial,» 2022. [En línea]. Available: <https://ht.com.pa/products/rodamiento-de-bola-sin-sello-25x62x17-mm-2>.
- [21] «Tecnopower,» [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/tornillo_de_potencia/tecnopower.1.pdf.
- [22] Tecnopower, «Tecnopower,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.tecnopower.es/husillo-de-rosca-trapecial-tecnopower>.
- [23] «Tecnopower,» [En línea]. Available: https://www.tecnopower.es/sites/default/files/tecnopower_husillo_rosca_trapecial.zip.
- [24] A. Moreno Muñoz y S. Córcoles Córcoles, «Bolanos,» [En línea]. Available: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/Arduinounfinseman.pdf>.
- [25] S. U. Arduino, «Store USA Arduino,» 2021. [En línea]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.
- [26] M. G. Global, «Makestore,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.makerstore.com.au/download/publications/CNC-Shield-Guide-v1.0.pdf>.
- [27] «Aliexpress,» 2022. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/2044795124.html>.
- [28] B. Kruger, «protoneer,» 08 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://blog.protoneer.co.nz/Arduino-cnc-shield/>.
- [29] L. Llamas, 23 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>.

- [30] «Roboparts,» [En línea]. Available: <https://roboparts.ru/upload/iblock/1a0/1a0b92faa1b79aade74252ca752fa92c.pdf>.
- [31] D. e. hoy, «Diario electrónico hoy,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/descripcion-del-driver-a4988>.
- [32] G. factory, «Geek factory,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos/motores/a4988-driver-para-motor-a-pasos/>.
- [33] G. factory, «Geek factory,» 2022. [En línea]. Available: <HTTPS://WWW.GEEKFACTORY.MX/TIENDA/MODULOS-PARA-DESARROLLO/MOTORES/DRV8825-DRIVER-PARA-MOTOR-A-PASOS/>.
- [34] Aliexpress, «Aliexpress,» 2022. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32827009785.html>.
- [35] quercusmedical, «quercusmedical,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.quercusmedical.com/como-recargar-los-disparos-de-mi-laser-diodo-o-ipl/>.
- [36] Aliexpress, «Aliexpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005001953402591.html>.
- [37] UCSG, «UCSG,» 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13369/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-102.pdf>.
- [38] «Bricogeek,» 27 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>.
- [39] Eneka, «Eneka,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.eneka.com.uy/robotica/motores/motor-paso-a-paso/7051-motor-paso-a-paso-200rev-nema17-4v-12afase-detail.html>.
- [40] «ElectroCrea,» [En línea]. Available: <https://electrocrea.com/products/12v-10a-fuente-de-voltaje-conmutada-j-120-12#:~:text=Esta%20es%20una%20fuente%20de,sobrecarga%20y%20protecci%C3%B3n%20contra%20sobretensiones..>
- [41] Alibaba, «Alibaba,» 2022. [En línea]. Available: HTTPS://WWW.ALIBABA.COM/PRODUCT-DETAIL/S-120-12-12V-10A-SWITCHING_316405935.HTML.
- [42] OMRON. [En línea]. Available: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v7/t062_s8fs-c_switching_power_supply_datasheet_es.pdf.

- [43] «MicroJPM,» [En línea]. Available: <https://www.microjpm.com/products/s-120-12-switch-power-supply-12vdc-10a/>.
- [44] MicroJPM, «MicroJPM,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.microjpm.com/products/s-120-12-switch-power-supply-12vdc-10a/>.
- [45] «finglai,» [En línea]. Available: <https://www.finglai.com/products/switching-power-supplies/general-switching-power-supplies/S-120/S-120-12.html>.
- [46] Joom, «Joom,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.joom.com/es/products/1515745044488706680-33-1-39131-2400822508>.
- [47] Aliexpress, «Aliexpress,» 2022. [En línea]. Available: <HTTPS://ES.ALIEXPRESS.COM/ITEM/32258579159.HTML>.
- [48] «Scrib,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/329097738/Grbl-a-Fondo>.
- [49] «TecnoEdu,» [En línea]. Available: <https://tecnoedu.com/CNC/GM.php>.
- [50] Slideshare, «Slideshare,» 2015. [En línea]. Available: <HTTPS://ES.SLIDESHARE.NET/ALEXIAPEREZ7374/CODIGOS-G-Y-M-44977927>.
- [51] J. P. Z. Gamboa y C. A. L. Arreaga, «Evolución de las metodologías y modelos utilizados en el desarrollo de software.,» *INNOVA Research Journal*, vol. 3, nº 10, p. 13, 2018.
- [52] I. a. C. S. Essebaa, «A Combination of V Development Life Cycle and Model-based Testing to,» *Imane Essebaa and Salima Chantit*, pp. 528-535, 2018.
- [53] github, «github,» 2019. [En línea]. Available: <https://github.com/gnea/grbl/releases>.
- [54] C. T. Materia, «X 46 Cr 13,» Cm Total Materia, 2022.
- [55] J. M. Gere y B. J. Goodno, *Mecánica de Materiales*, CENGAGE Learnig, 2016.
- [56] SureStep, 2002. [En línea]. Available: <https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>.
- [57] D. electronicas, «Diaticas electronicas,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.didacticaselectronicas.com/~didactic/index.php/cnc-e-impresoras-3d/motores-cnc-y-3d/motor-paso-a-paso-nema-17-17hs3001-bipolar-1-2a-17hs3001-20b-jk42hs40-1204d-motores-paso-a-paso-step-step-stepper-bipolares-nema17-nema-17-detail>.
- [58] «contigroup,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.contigroup.it/CATALOGO/CATALOGO-ES.PDF>.

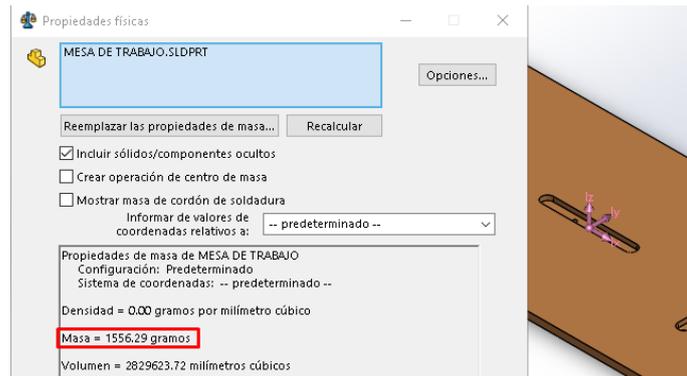
- [59] SKF, «SKF,» Enero 2019. [En línea]. Available: https://www.skf.com/BINARIES/PUB201/IMAGES/0901D19680416953-ROLLING-BEARINGS---17000_1-ES_TCM_201-121486.PDF.
- [60] SKF, «SKF,» SKF, Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-W%20637%2F8-2Z>.
- [61] Fersa, «Fersa,» 2022. [En línea]. Available: https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.fersa.com%2Fuploads%2Fimages%2FSin%2520t%25C3%25ADtulo-20.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.fersa.com%2Fes%2Fgama-de-producto%2Frodamientos-de-bolas&tbnid=XsdaJ5Zt_4RsCM&vet=12ahUKEwiq0-Kb3q77AhWRazABHY.
- [62] SKF, «SKF,» SKF, Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-W%20618%2F8>.
- [63] ikastaroak, «ikastaroak,» 2022. [En línea]. Available: https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DPM/DFM05/es_DFM_DPM05_Contenidos/website_2532_carga_dinmica.html.
- [64] Technico, «Technico,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf>.
- [65] D. Mechatronik, «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/precisi%C3%B3n-inoxidable-X46CR13-lineales-endurecidas/dp/B088RLH399?th=1>.
- [66] C. T. Materia, «PLA Premium Filament,» Cm Total Materia, 2022.
- [67] E. Sommer, «ALL3DP,» ALL3DP, 22 Abr 2022. [En línea]. Available: <https://all3dp.com/es/2/temperatura-pla-impresion-3d-cama-hotend/>.
- [68] B. Goldschmidt, «All3DP,» All3DP, 28 Feb 2022. [En línea]. Available: <https://all3dp.com/es/2/infill-cura-relleno-impresion-3d/>.
- [69] «amazon,» 16 noviembre 2021. [En línea]. Available: https://www.amazon.com/ATOMSTACK-X7-Pro-Grabador-protecci%C3%B3n/dp/B09HKHWQ9L/ref=sr_1_4_sspa?keywords=sculpfun+s9+laser+engraver&qid=1663130838&srefix=SCULPFUN+S9%2Caps%2C329&sr=8-4-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzUk5OMldENFg4UjBYJmVuY3J5c.
- [70] «mercado libre,» [En línea]. Available: <https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-518531689-creality-cv-01-laser->

_JM#position=6&search_layout=stack&type=item&tracking_id=c622a361-38ec-4cb0-8a64-ea198831758f.

- [71] «mercado libre.» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516308701-maquina-laser-cnc-cortadora-grabadora-sellos-fomi-tela-papel-_JM#position=13&search_layout=stack&type=item&tracking_id=0c5c1ee4-8801-489e-b0d5-97c3f1f8daf3.
- [72] Lightburn. [En línea]. Available: <https://lightburnsoftware.com/>.
- [73] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw Hill, 2008.

CAPÍTULO VIII
ANEXOS

Anexo 1. Masa de la mesa de trabajo.



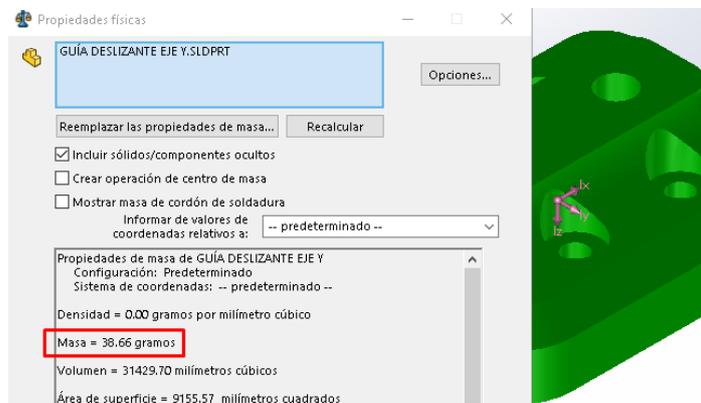
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 2. Masa del material de trabajo.



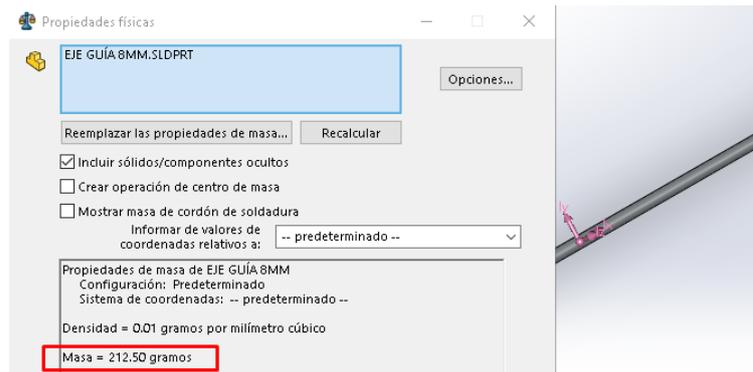
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 3. Masa de placa soporte.



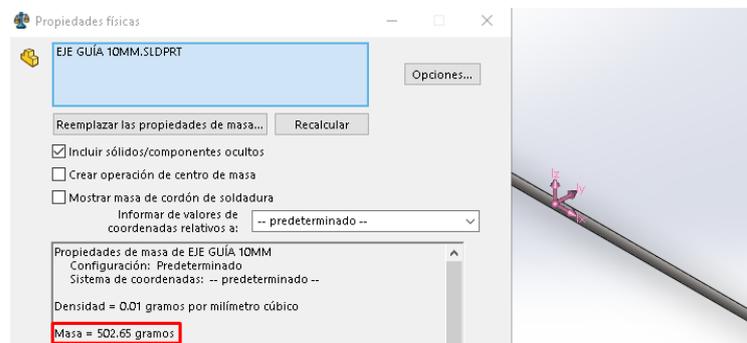
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 4. Masa del eje guía 8 mm.



ELABORADO: AUTORES.

Anexo 5. Masa del eje guía 10 mm.



ELABORADO: AUTORES.

Anexo 6. Propiedades físicas y mecánicas del Acero 46Cr13.

PROPIEDAD/VALOR	ALARGAMIENTO, A	≥ 7 %
MÓDULO DE ELASTICIDAD 215 GPa	ENERGÍA DE IMPACTO	≥ 12 J
DENSIDAD 7.7 kg/dm³	DUREZA BRINELL (HB)	≤ 305
LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA 30 W/(m·°C)	DUREZA DE ROCKWELL (HR)	50 – 99
CAPACIDAD CALORÍFICA 460 J/(kg·°C)	DUREZA VICKERS (HV)	530 – 675
RESISTENCIA ELÉCTRICA 0.55 Ω·mm²/m		

PROPIEDAD	T(°C)	VALOR	UNIDAD	NOTA
Límite elástico, Rp0.2				
Barras: Templado y revenido (+QT850); <= 16 mm; diámetro/espesor Referencia: EN 10088-3: 2014 / Aceros inoxidables, P...	RT	≥ 700	MPa	

PROPIEDAD	T(°C)	VALOR	UNIDAD	NOTA
Resistencia a la Tracción				
Barras: Templado y revenido (+QT850); <= 16 mm; diámetro/espesor Referencia: EN 10088-3: 2014 / Aceros inoxidables, P...	RT	900 – 1150	MPa	

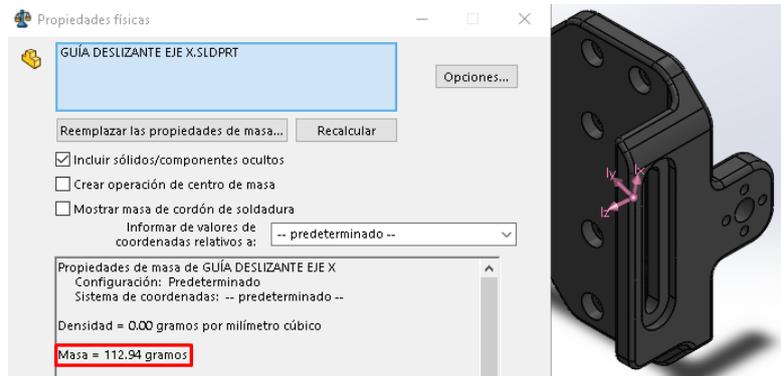
FUENTE: PORTAL TOTALMATERIA, 2022 [54].

Anexo 7. Momento de inercia del eje guía 8 mm.

Z Axis Properties			
Elastic Modulus	E	215,0000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	4,0000	mm
From centroid to top	y (top)	4,0000	mm
Area of shape	A	50,2655	mm²
Moment of Inertia	Iz	201,0619	mm⁴
Section Modulus	Sz	50,2655	mm³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	50,2655	mm³
Section Modulus (top)	S (top)	50,2655	mm³
Radius of Gyration	rz	2,0000	mm
Plastic Modulus	Zz	85,3333	mm³
Shape Factor		1,6977	
From bottom to plastic n.a.	yp (bot)	4,0000	mm
From plastic n.a. to top	yp (top)	4,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	402,1239	mm⁴
Product of Inertia	Iyz	0,0000	mm⁴
Maximum Moment of Inertia	Imax	201,0619	mm⁴
Minimum Moment of Inertia	Imin	201,0619	mm⁴
Angle from z axis to Imax axis	β	0,0000	degrees
		Clockwise	

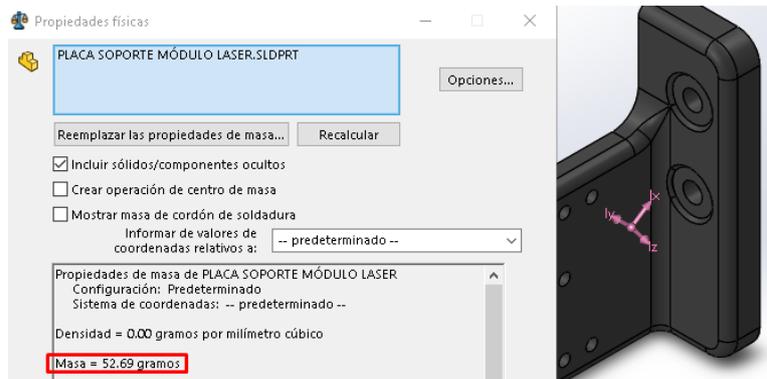
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 8. Masa de la placa soporte de rodamientos lineales.



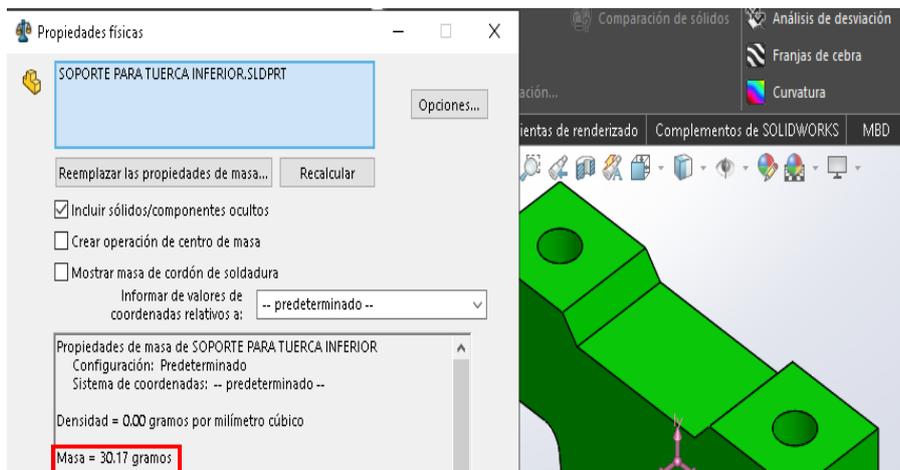
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 9. Masa de la placa soporte módulo láser.



ELABORADO: AUTORES.

Anexo 10. Masa de placa soporte del husillo



ELABORADO: AUTORES.

Anexo 11. Momento de inercia del eje guía 10 mm.

Z Axis Properties			
Elastic Modulus	E	215,0000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	5,0000	mm
From centroid to top	y (top)	5,0000	mm
Area of shape	A	78,5398	mm ²
Moment of Inertia	Iz	490,8739	mm⁴
Section Modulus	Sz	98,1748	mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	98,1748	mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	98,1748	mm ³
Radius of Gyration	rz	2,5000	mm
Plastic Modulus	Zz	166,6667	mm ³
Shape Factor		1,6977	
From bottom to plastic n.a.	yp (bot)	5,0000	mm
From plastic n.a. to top	yp (top)	5,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	981,7477	mm ⁴
Product of Inertia	Iyz	0,0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	Imax	490,8739	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	Imin	490,8739	mm ⁴
Angle from z axis to Imax axis	β	0,0000	degrees
			Clockwise

ELABORADO: AUTORES.

Anexo 12. Coeficiente de fricción de tuerca.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

FUENTE: DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, 2020 [73].

Anexo 13. Datos técnicos de husillos trapezoidales.

Datos técnicos Husillos trapezoidales

(consultar también las páginas relativas a cada tipo de husillo)

Diámetro por paso	d 1		d 2		d 3		n° entradas	Angulo de hélice	(1)		(2)	I
	diámetro externo tolerancia 4 h	mm	diámetro medio tolerancia 7 e	mm	diámetro interno tolerancia 7 h	mm			Eficiencia η	f=0,1		
Tr 8 x 1,5	7,850	8,000	7,013	7,183	5,921	6,200	1	3°46'	0,39	0,24	0,75	60

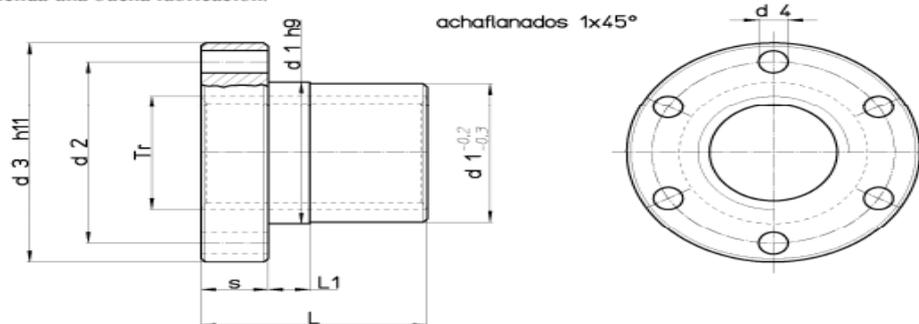
FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Anexo 14. Tuerca trapezoidal tipo FEU.

Tuerca trapezoidal tipo FEU – con brida de bronce

Material: EN 1982 Cu Sn7 Zn4 Pb7-C – CC493K

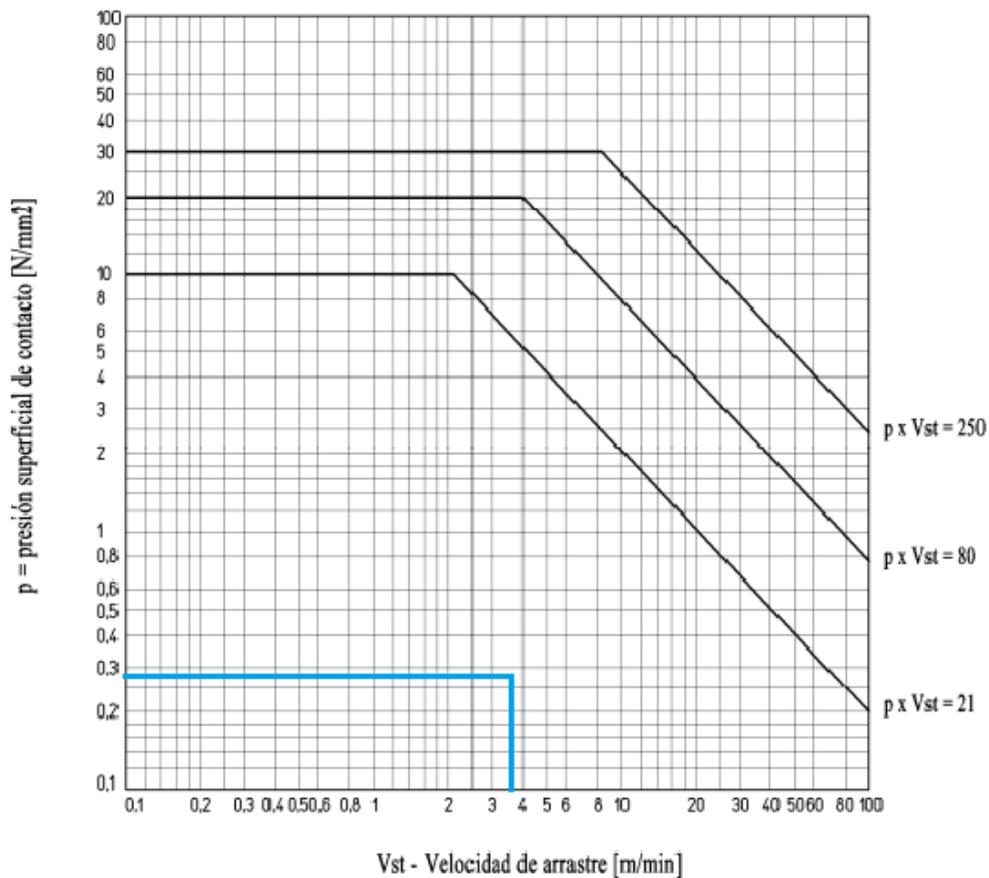
Tuerca con brida de bronce particularmente apta para movimientos continuos, con buena resistencia al desgaste. Se recomienda una buena lubricación.



Código para tuerca DERECHA	Código para tuerca IZQUIERDA	Diámetro por paso	n° entradas	d1 mm	d2 mm	d3 mm	d4 mm	L mm	L1 mm	S mm	n° talandros de anclaje	Tornillos de anclaje (clase 8.8)	Peso kg/c/u	At mm ² (1)
FEU 08 A R	--	Tr 8x1,5	1	18	26	35	3,5	20	6	7	6	M3	0,077	235

FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Anexo 15. Condiciones de deslizamiento para bronce.



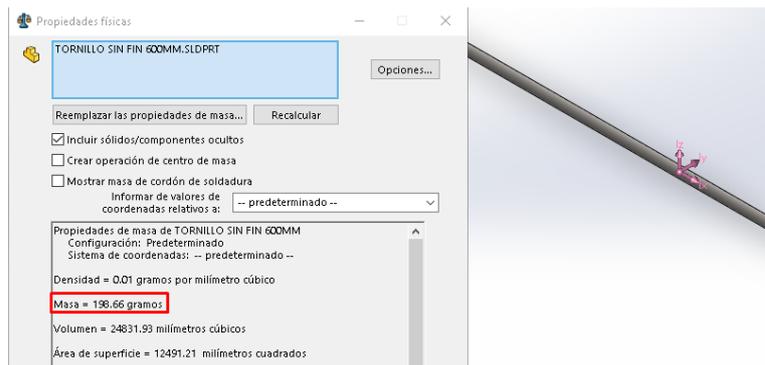
FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Anexo 16. Coeficiente de precisión de montaje.

PRECISIÓN DE MONTAJE	PRECISIÓN DE MONTAJE	PRECISIÓN DE MONTAJE
Montajes de buena precisión	Fabricación de los alojamientos de los cojinetes y del alojamiento de la tuerca obtenida con máquinas de control numérico en la estructura ya terminada.	1,3-1,6
Alineamiento de la tuerca con el husillo dentro de 0,00 5mm		
Montaje de precisión media	Fabricación de los alojamientos de los cojinetes y del alojamiento de la tuerca realizada por partes que luego se montan juntas entre sí.	1,7-2,5
Alineamiento de la tuerca con el husillo de 0,10 mm	Control de las alineaciones realizado con los comparadores con extremo cuidado después del montaje	
Montaje de baja precisión	Fabricación de los alojamientos de los cojinetes y del alojamiento de la tuerca por partes que luego se montan o sueldan juntas entre sí. Control de las alineaciones realizado con los comparadores después del montaje.	2,6-4,5
Alineamiento de la tuerca con el husillo dentro de 0,25 mm		

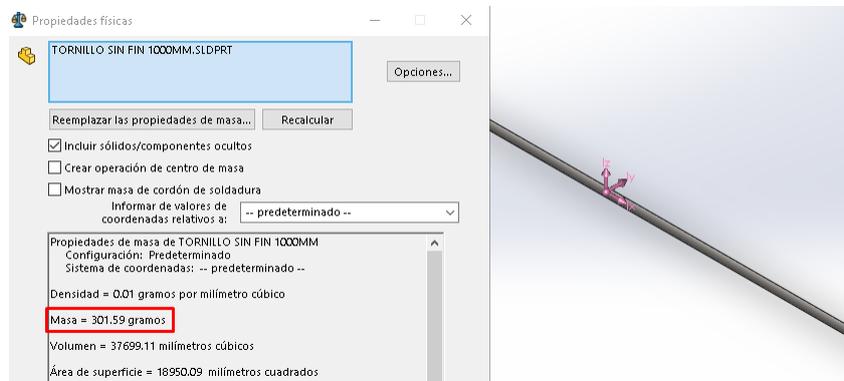
FUENTE: CONTIGROUP, 2019 [58].

Anexo 17. Masa del husillo del eje "Y".



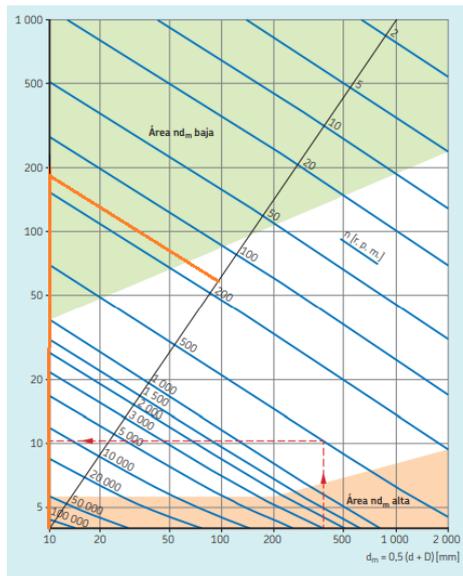
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 18. Masa del husillo del eje "X".



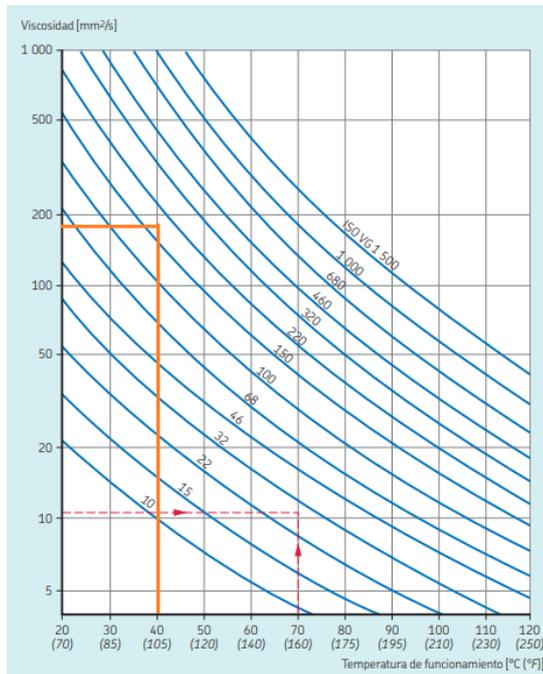
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 19. Cálculo de la viscosidad nominal V1.



FUENTE: SKF, 2019 [60].

Anexo 20. Diagrama de la temperatura de viscosidad.



FUENTE: SKF, 2019 [60].

Anexo 21. Valores de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas.

Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

FUENTE: SKF, 2019 [60].

Anexo 22. Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448.

Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	mín.	máx.
—	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

FUENTE: SKF, 2019 [60].

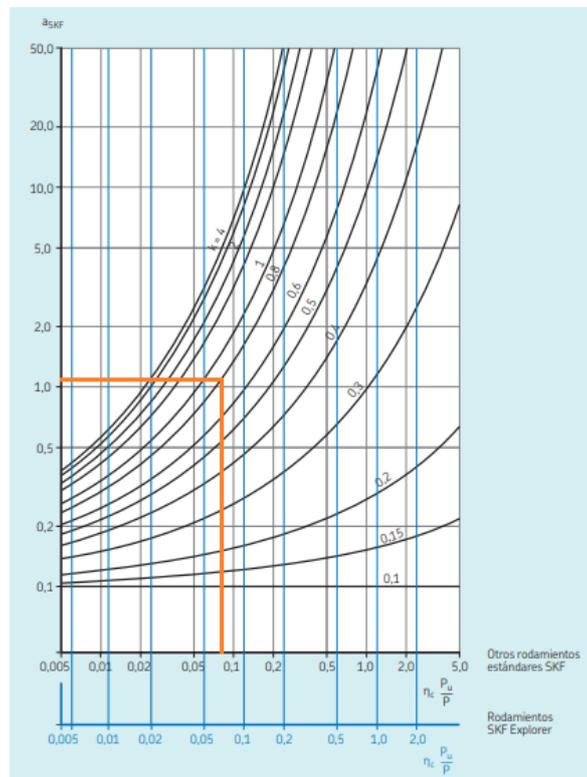
Anexo 23. Valores orientativos para el factor n_c para distintos tipos de contaminación.

Tabla 6

Condiciones	Factor n_c^{-1} para rodamientos con diámetro $d_m < 100$ $d_m \geq 100$ mm	
	Limpeza extrema • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1
Gran limpieza • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpeza normal • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de n_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

FUENTE: SKF, 2019 [60].

Anexo 24. Factor a_{SKF} para los rodamientos radiales de bolas.



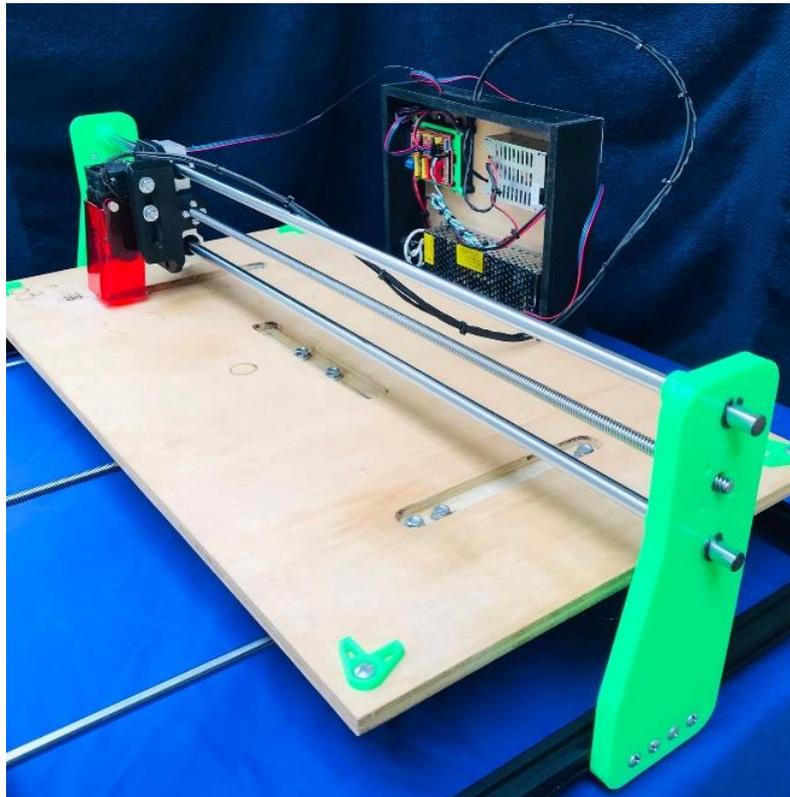
FUENTE: SKF, 2019 [60].

Anexo 25. Grabado del sello de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



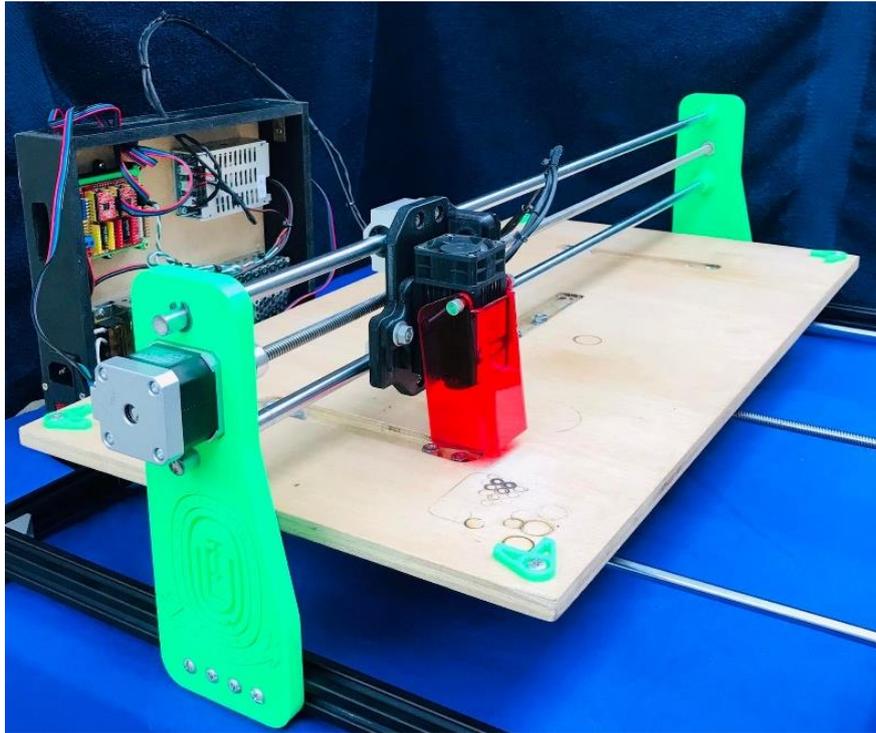
ELABORADO: AUTORES.

Anexo 26. Máquina de corte y grabado láser.



ELABORADO: AUTORES.

Anexo 27. Máquina de corte y grabado láser.



ELABORADO: AUTORES.

MANUAL DE OPERACIONES

Se conoce que la máquina de control numérico es utilizada para cortar o grabar diseños específicos, según el tipo de modelo que se desee obtener. Por otra parte, es de gran importancia reconocer el riesgo al que se puede exponer el operador y a su vez la consecuencia de no usar un equipo adecuado puede afectar su salud.

Señal de advertencia



Se debe considerar lo siguiente:

- ❖ Considerar el uso de lentes de protección.
- ❖ Utilizar el protector ocular del módulo láser.
- ❖ En caso de ajustar el protector ocular es recomendable realizar dicha acción cuando el equipo se encuentra totalmente apagado.

Para este tipo de actividades se utilizan lentes de policarbonato, ya que los pigmentos dispersos bloquean la luz azul hasta 445 nm y evitar que la visión de los usuarios se vea afectada por luz azul dañina.

Señal obligatoria de uso de equipo de protección



Al momento de utilizar el equipo debe considerarse ciertas observaciones. De tal forma que, se presenta una secuencia de pasos que se deben realizar para llevar a cabo la funcionalidad correcta del equipo dentro su proceso de operación:

Conectividad del equipo.

- ❖ Conexión de cable de poder a la CA.
- ❖ Vinculación de conexión PC y CNC.
- ❖ Accionamiento de interruptor.
- ❖ Ejecutar el software LigthBurn.

Configuración de software.

Para realizar este tipo de configuración, se recomienda revisar el apartado de Pruebas del sistema.. En donde se realizan las siguientes actividades:

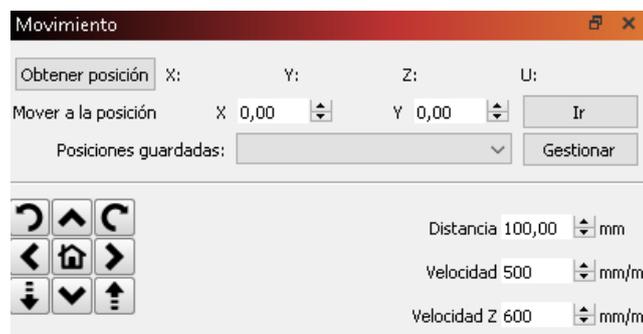
- ❖ Configuración del área de diseño o trabajo.
- ❖ Reconocimiento de dispositivo.

Configuración manual del equipo.

- ❖ Configuración de la potencia de disparo láser en el software LigthBurn, para ubicar el dispositivo en los límites del área de trabajo.
- ❖ Ubicar el dispositivo láser en los límites del área de trabajo de forma manual conjunto con el paso anterior.

Verificación de los sistemas de accionamiento.

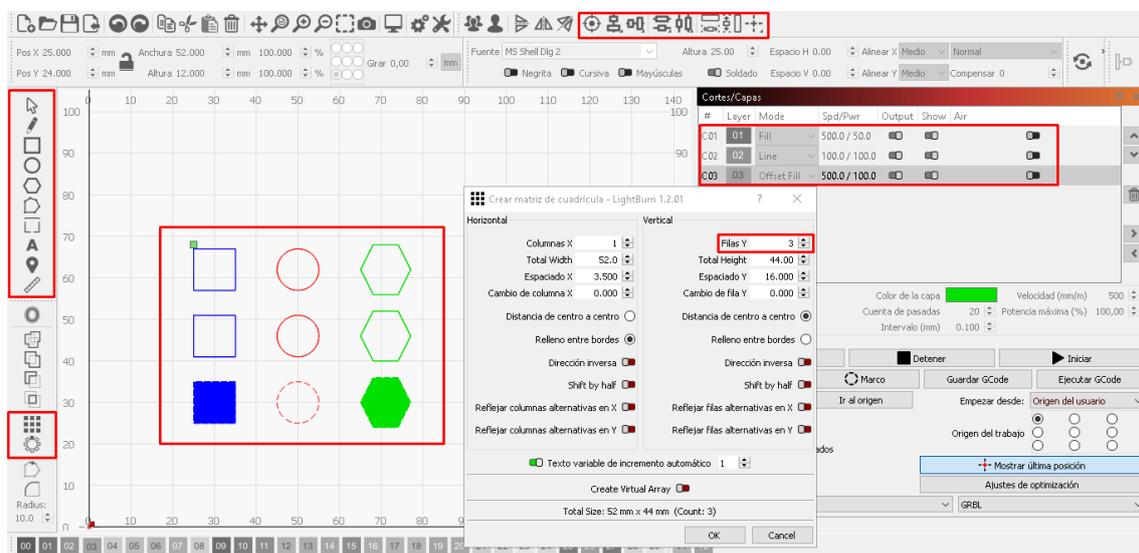
- ❖ Localizar vía software las coordenadas del módulo láser.
- ❖ Verificar el accionamiento de los carros de desplazamiento en la ventana de movimiento.
- ❖ Volver a las coordenadas X, Y (0;0).



Configuración de plantilla de prueba.

Para configurar una plantilla de prueba se debe entender cuenta los resultados que dese obtener, si bien es claro que el software LigthBurn tiene una gran diversidad de comandos, es importante el relacionarse con ellos. De acuerdo con la siguiente imagen se reconoce algunos de los mismos, tales como:

- ❖ Comandos de alineación en el menú superior.
- ❖ Comandos de diseño de figuras en la parte superior izquierda.
- ❖ Operaciones de matrices en la parte inferior izquierda.
- ❖ Registro de capas en la parte superior derecha.

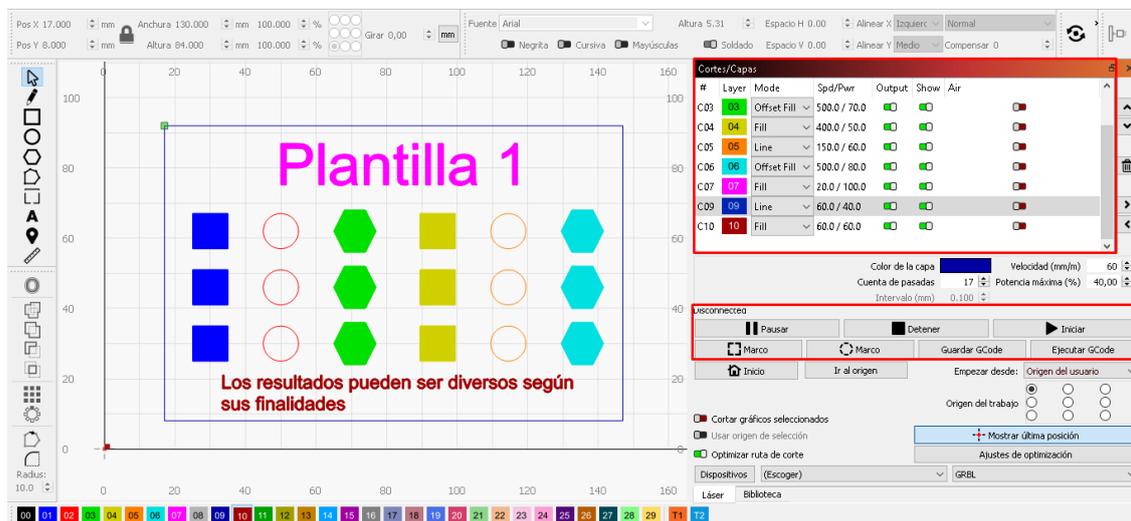


La interfaz del software LigthBurn le permite realizar modificaciones si se desea variar los resultados. Es decir, cambios en los tamaños de figuras, velocidades, potencia, intervalo de líneas, agregar una capa extra de color a un conjunto de figuras con la finalidad de tener resultados diversos. De tal forma que se obtienen resultados muy satisfactorios.

A continuación, en la siguiente imagen se muestra la plantilla elaborada de acuerdo con las operaciones en conjunto que se utilizaron anteriormente mencionadas. Se afirma que los datos ingresados en la ventana de Cortes/Capas, son valores aleatorios, ya que la finalidad de esta información es dar a conocer la interacción del operador con el software.

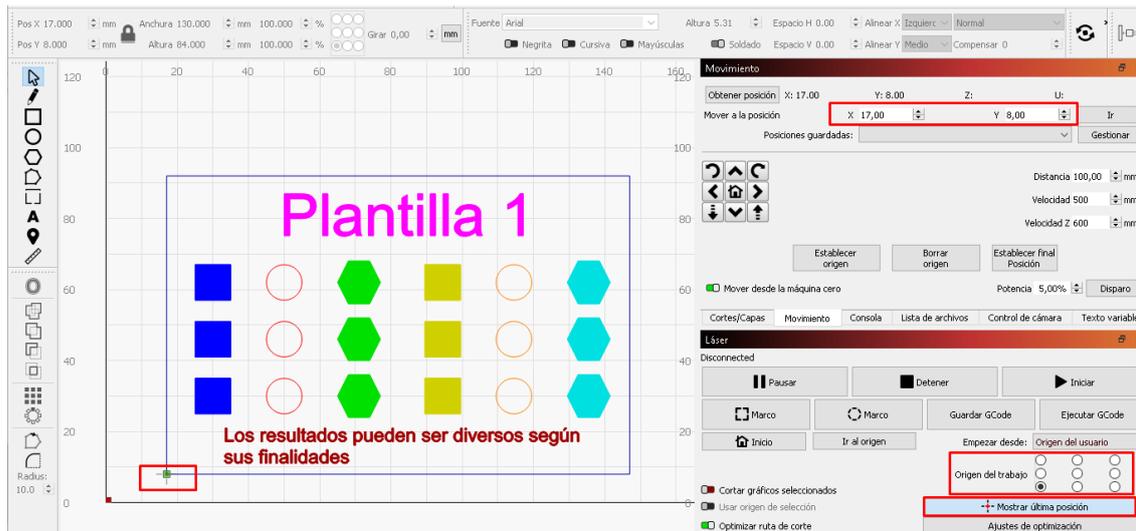
Por otra parte, en el recuadro de la parte inferior derecha se observa diversidad de comandos, ya que uno de ellos desempeña la función de ejecutar un recorrido de prueba en los límites de la plantilla, esto es de gran importancia antes de dar la orden de “Iniciar”. Al mismo tiempo la operación se la reconoce como “Marco”, la cual permite al operador cerciorarse de que el equipo se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento para desempeñar su trabajo.

El comando “Guardar G-Code” permite guardar la extensión en código-G, lo cual indica que el software LigthBurn que tiene una gran ventaja debido a que se pueden crear las plantillas y archivos configurados de acuerdo con la finalidad de obtener un resultado específico y que previo a obtener la extensión del archivo se puede el software “LASERGRBL” u otro que sea de gran utilidad para este tipo de finalidades de grabado y corte.

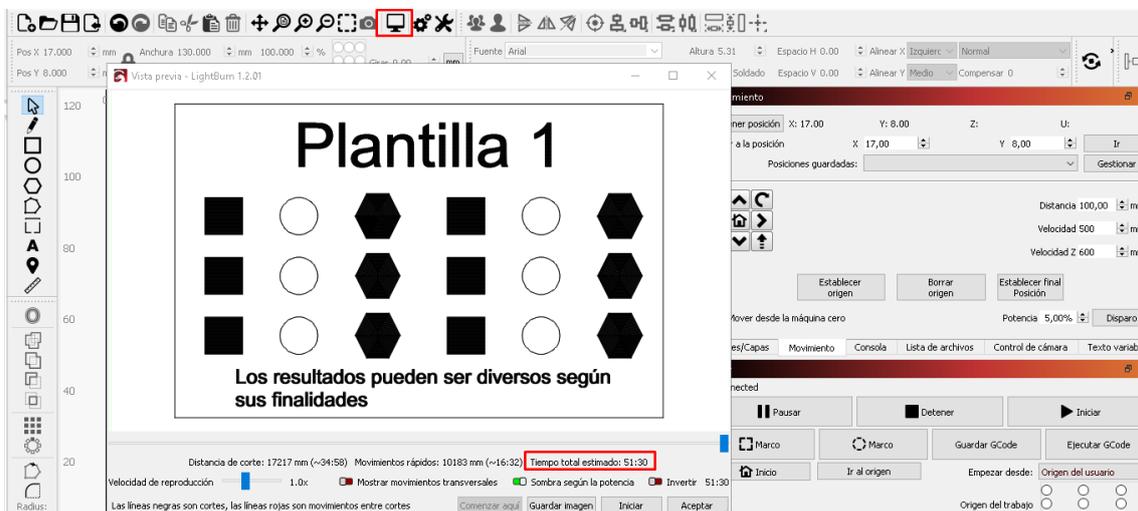


En la siguiente imagen se describe la configuración necesaria para iniciar el movimiento de la máquina desde las coordenadas necesarias, es decir que debe posicionarse según las coordenadas “X” y “Y” en donde se encuentra los bordes de la plantilla.

Para configurar el origen de trabajo en la parte inferior izquierda se dirige al apartado de “Empezar desde” y selecciona la opción “Origen del usuario” con la finalidad de elegir el origen de trabajo de la plantilla y así dar comando desde esta posición. Así mismo como activar la opción “Mover desde la máquina cero” para empezar desde el punto que se muestra en la intersección al activar la operación “Mostrar última posición”.



Una vez realizado estos pasos puede dar la orden de “Vista Previa” en la que el software simula los movimientos generados en el equipo, los que se puede reproducir dando la orden “Iniciar” en esta ventana. Por consiguiente, también muestra el tiempo total estimado que presenta elaborar la plantilla. Para este caso el tiempo se considera excesivo debido a que las condiciones de trabajo no son definidas con un propósito específico, se afirma que el procedimiento realizado se basa en promover la información dentro del manual de operaciones.



Luego de realizar el procedimiento descrito en la documentación, se puede dar paso a la orden “Iniciar” en la ventana de “Láser”.

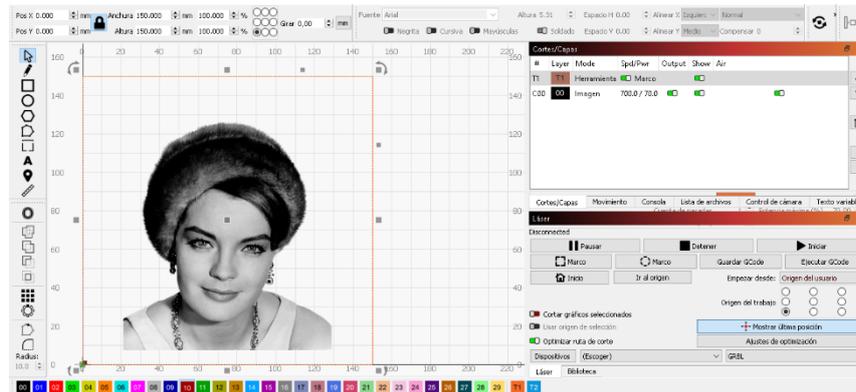


Configuración de plantilla de imagen.

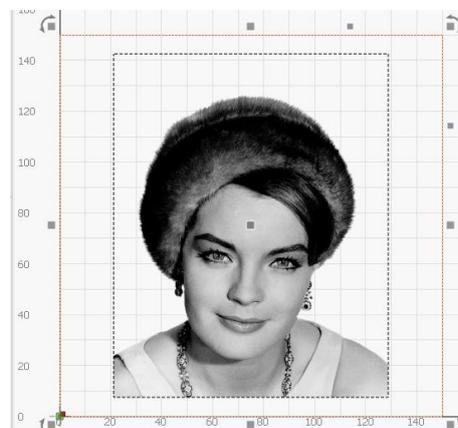
Para una plantilla de imagen debe mantenerse ciertas consideraciones, tales como:

- ❖ Tipo de material.
- ❖ Dimensiones del material.
- ❖ Resultado de pruebas en el material específico en el que se procede a grabar.

Esto debe ser muy importante, debido a que en base a estas observaciones el operador puede definir las condiciones más adecuadas para obtener un resultado favorable. Por consiguiente, se conoce que las dimensiones del material son importantes, esto se debe a que la imagen debe cuadrarse dentro del área indicada, para eso, en la paleta de colores del software LigthBurn presenta dos tonos que se pueden utilizar como marco que se identifican como “T1” y “T2”, estas tonalidades solo sirven como herramienta de contorno, dado que al momento de ejecutar el funcionamiento de la máquina no se verá afectada la ilustración grabada.

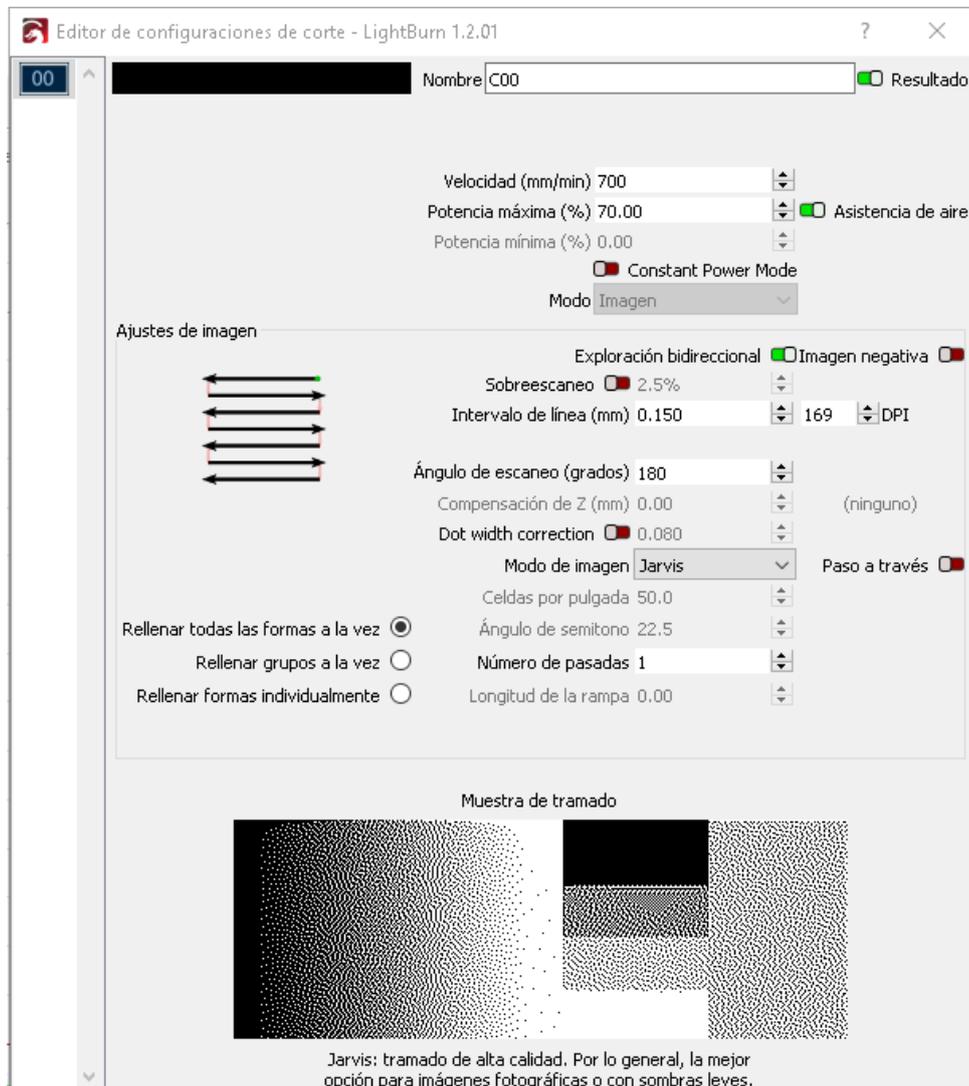


Se puede observar como el formato de imagen queda centrado dentro del área de contorno:



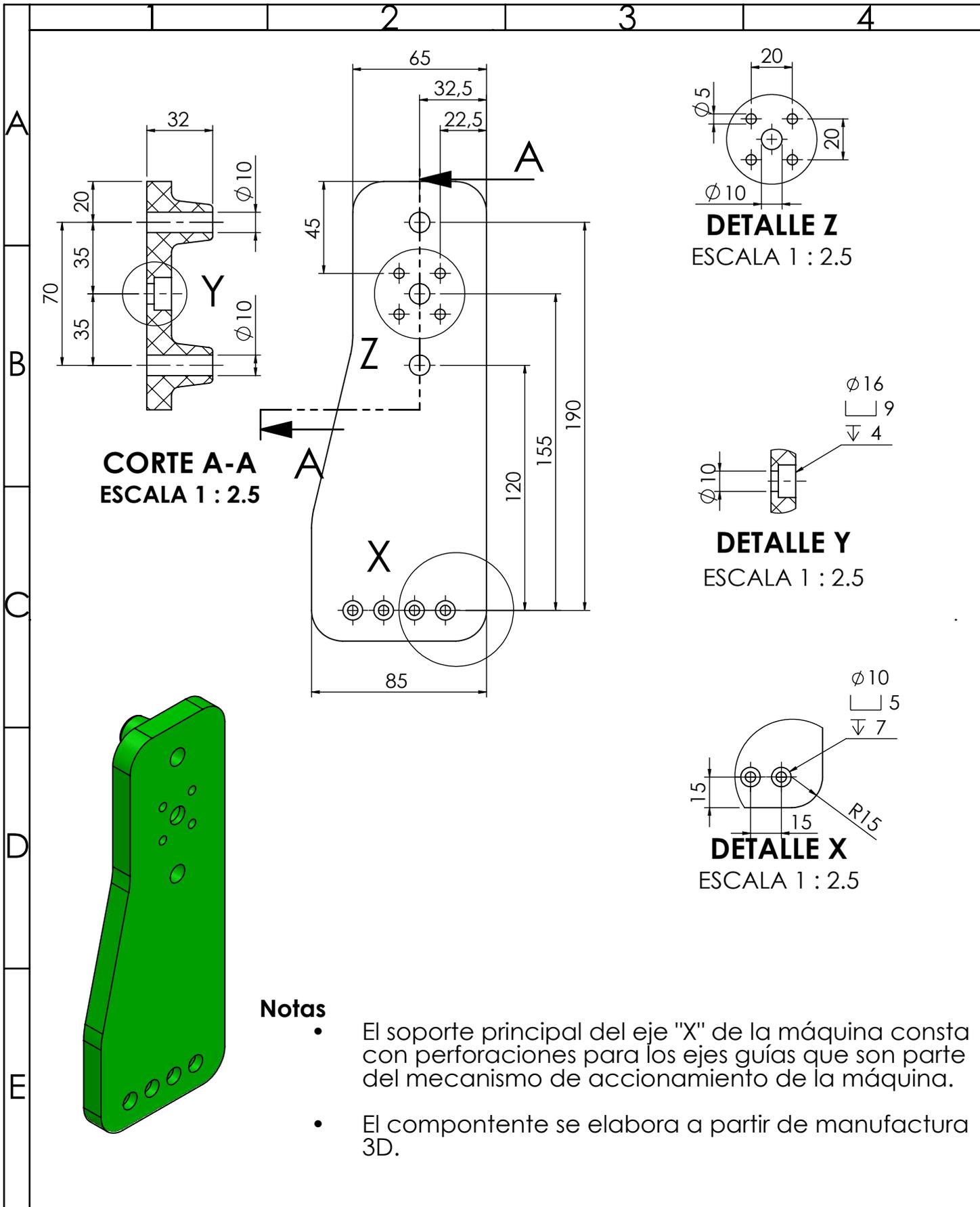
Para un grabado de imagen es necesario realizar pruebas de grabados como se observa en la “imagen” con la finalidad de elegir un valor óptimo de velocidad y potencia. Así mismo, los parámetros que se consideran para este tipo de labor pueden ser variados de acuerdo con el material utilizado. A continuación, en este tipo de actividad se definen parámetros de:

- ❖ Velocidad
- ❖ Potencia máxima
- ❖ Exploración bidireccional
- ❖ Intervalo de líneas
- ❖ Ángulo de escaneo
- ❖ Modo de imagen
- ❖ Número de pasadas



Consideraciones previas a la ejecución de funcionamiento de la máquina de corte y grabado.

- ❖ Verificar los obstáculos dentro del área de trabajo de la máquina.
- ❖ Mantener el equipo apartado de la humedad.
- ❖ Ubicar el equipo sobre una superficie totalmente plana para evitar un mal posicionamiento.
- ❖ Limpieza del equipo antes de operar sus funciones.
- ❖ Limpieza de ejes guías y husillos.
- ❖ Aplicar lubricante designado en el apartado de resultados.
- ❖ Preservar el equipo con el uso de componentes de regulación de voltaje con la finalidad de mantener una tensión constante, esto es opcional.



CORTE A-A
ESCALA 1 : 2.5

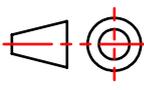
DETALLE Z
ESCALA 1 : 2.5

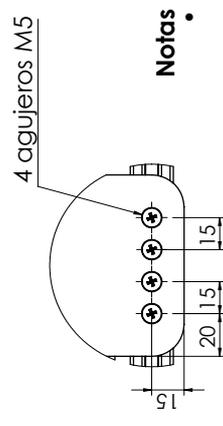
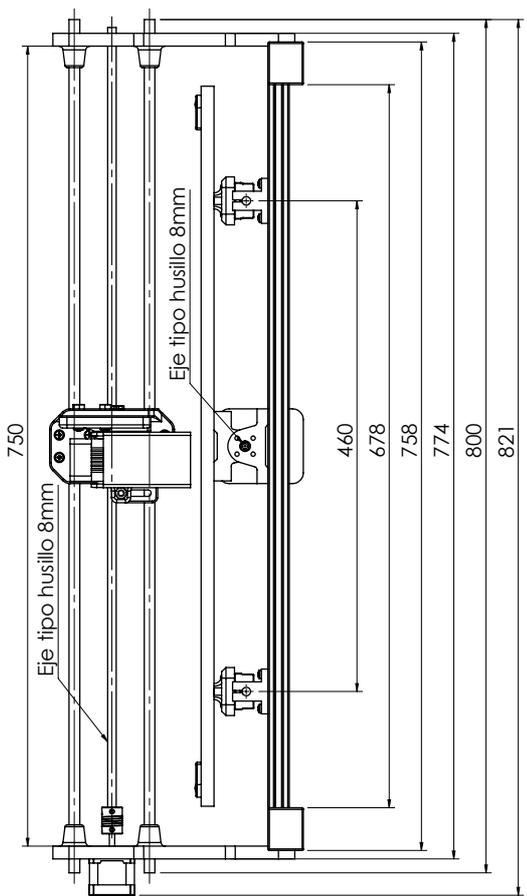
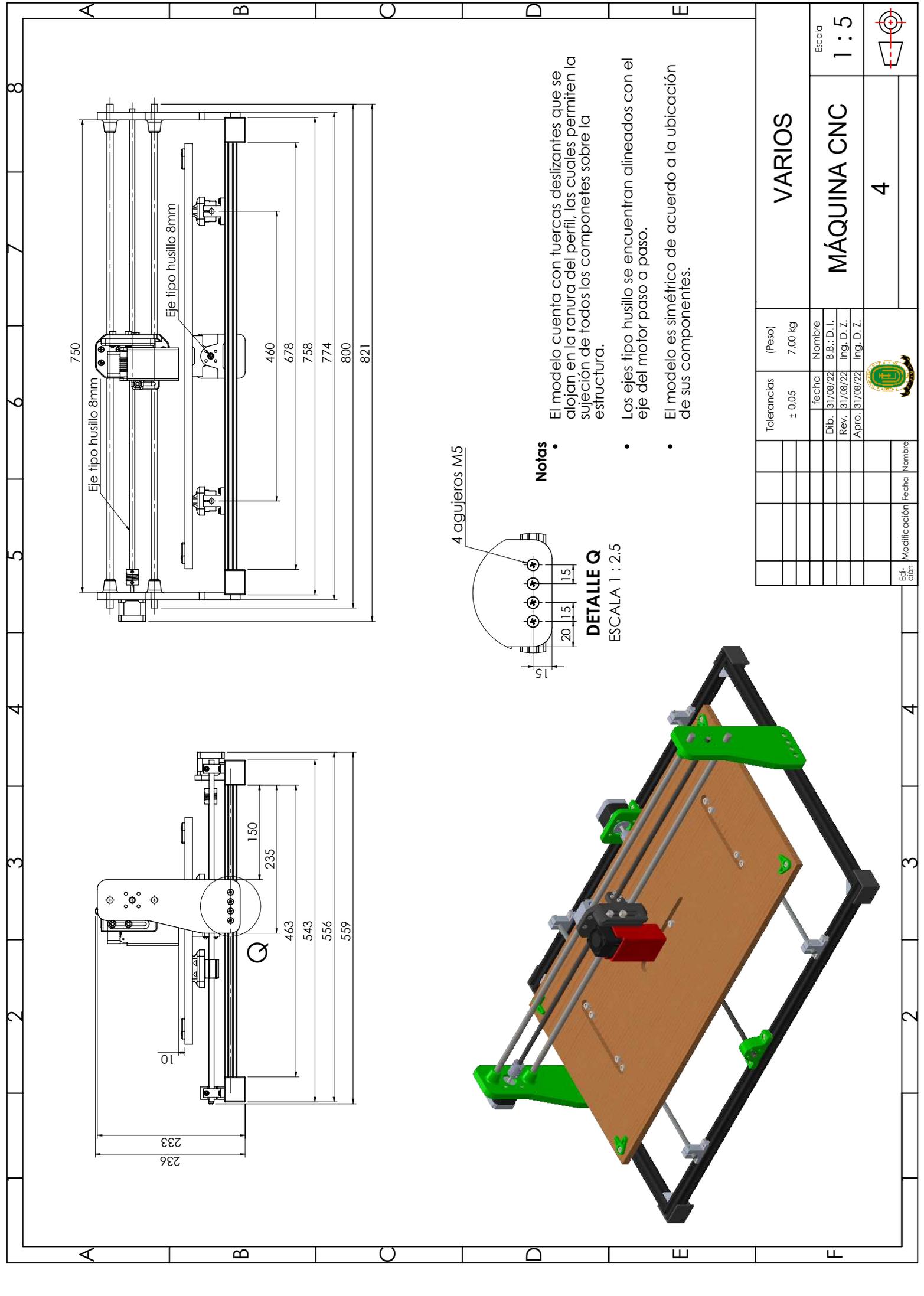
DETALLE Y
ESCALA 1 : 2.5

DETALLE X
ESCALA 1 : 2.5

Notas

- El soporte principal del eje "X" de la máquina consta con perforaciones para los ejes guías que son parte del mecanismo de accionamiento de la máquina.
- El componente se elabora a partir de manufactura 3D.

				Tolerancias	(Peso)	PLA	
				± 0,05	0,247 kg		
				fecha	Nombre	SOPORTE LATERAL	
				Dib. 31/08/22	B.B.; D. I.		
				Rev. 31/08/22	Ing. D. Z.		
				Apro. 31/08/22	Ing. D. Z.		
						1	Escala 1 : 2.5
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				



Notas:

- El modelo cuenta con tuercas deslizantes que se alojan en la ranura del perfil, las cuales permiten la sujeción de todos los componentes sobre la estructura.
- Los ejes tipo husillo se encuentran alineados con el eje del motor paso a paso.
- El modelo es simétrico de acuerdo a la ubicación de sus componentes.

DETALLE Q
ESCALA 1 : 2.5

Tolerancias		(Peso)	Escala
± 0.05		7,00 kg	
fecha		Nombre	
Dib.	31/08/22	B.B.; D. I.	
Rev.	31/08/22	Ing. D. Z.	
Apro.		Ing. D. Z.	4
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre

VARIOS
MÁQUINA CNC



