



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA
PARA CORTE DE BOTELLAS DE VIDRIO CILÍNDRICAS POR
PROCESO TÉRMICO.**

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

JONATHAN FRANCISCO MOYA VALVERDE

DIRECTOR: ING. LUIS HIDALGO. Msc

QUITO, julio 2022

© UNIVERSIDAD UTE 2021.

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1720091840
APELLIDO Y NOMBRES:	Moya Valverde Jonathan Francisco
DIRECCIÓN:	Ponce de León 365 y General Paya
EMAIL:	mvjf101011@ute.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	(02)-3170896
TELÉFONO MOVIL:	0961800133

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA CORTE DE BOTELLAS DE VIDRIO CILÍNDRICAS POR PROCESO TÉRMICO.
AUTOR O AUTORES:	Moya Valverde Jonathan Francisco
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	7 de julio de 2021
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Luis Hidalgo
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>Este proyecto surgió como una propuesta innovadora que mejora el método convencional de corte de botellas de vidrio con herramientas artesanales como el lápiz de vidrio con punta de diamante. Cuando se realizó cizallas en una superficie plana de vidrio se demostró la facilidad de su uso, sin embargo, presentó ineficiencia, porque al encontrarse en una situación de corte de una botella de forma cilíndrica el reto se hizo mayor y dificultó el proceso. Para corregir el problema se encontró un método de corte funcional y versátil con una niquelina que alcanza una mínima temperatura para que empiece</p>

a producirse el corte, esto representó un consumo de energía eléctrica al momento de conectar la resistencia, y permitió el corte con precisión al ser adaptada a una máquina de 3 grados de libertad; X, Y cada uno para controlar la longitud de corte y el ancho de la botella respectivamente y se adicionó un eje para la rotación de la botella. El desarrollo metodológico utilizado es el modelo V de sistemas mecatrónicos, que parte de los requerimientos y como consecuencia se seleccionó las partes que constituyeron a la máquina. El control se realizó mediante un microcontrolador encargado de gobernar los movimientos de los actuadores. El sistema de corte-térmico está conformado por una resistencia que rodea una temperatura superior a los 300 °C y que es controlado mediante el módulo de temperatura W1205 dedicado. La estructura principal fue armada con perfil de aluminio AL 20x20 mm empleado idealmente en máquinas CNC de alta precisión. Para facilitar la operatividad se añadió una pantalla de toque inteligente con la que se selecciona el modo de operación de la máquina. Como resultado se obtuvo una máquina capaz de cortar un rango de botellas cilíndricas de 330 mililitros hasta 1 litro con diferentes longitudes en su modo manual y automático.

PALABRAS CLAVES:

CNC, resistencia, bobina, controlador, corte-térmico.

ABSTRACT:

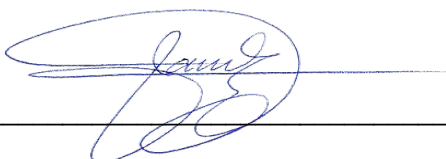
This project emerged as an innovative proposal that improves the conventional method of cutting glass bottles with skilled artisans as the diamond tip glass pencil. When shearing strips were made on a flat glass surface, the ease of use was demonstrated, however, it exhibited inefficiency, because when in a cutting condition of a cylindrical-shaped bottle the challenge became greater and

makes the process difficult, to correct the problem. A versatile and versatile cutting method was made with a nicheline that reaches a minimum temperature for the cut to occur, this represented an electric power consumption at the time of connecting the resistance, and allowed cutting with precision when it is fitted to a 3 - degree freedom machine; x, and each for controlling the cutting length and the width of the bottle, respectively, and an axis for rotation of the bottle is added. The methodological development used is the model V of mechatronic systems, in which part of the requirements and as a consequence, the parts which constituted the machine were selected. The control was performed by means of a microcontroller responsible for controlling the movements of the actuators. The thermal cutoff system is formed by a resistor that surrounds a temperature above 300 °C and is controlled by the dedicated W1205 temperature module. The main structure was assembled with a 20 × 20 mm aluminum profile Ideally used in high-precision CNC machines. To facilitate the operation, an intelligent touch screen is added to which the mode of operation of the machine is selected. As a result, a machine capable of cutting a range of cylindrical bottles of 330 mililiter to 1 liter with different lengths in its manual and automatic mode is obtained.

KEYWORDS

CNC, resistance, coil, controller, cutting thermal.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

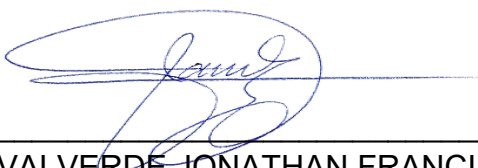
f: 
MOYA VALVERDE JONATHAN FRANCISCO

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Moya Valverde Jonathan Francisco**, CI 1720091840 autor del proyecto titulado: **“Implementación de una máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Mecatrónica** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 7 de julio de 2021

f: 
MOYA VALVERDE JONATHAN FRANCISCO
172009184-0

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **“Implementación de una máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico”**, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica**, fue desarrollado por **MOYA VALVERDE JONATHAN FRANCISCO** con CI:**172009184-0**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Luis Armando Hidalgo Aguilera

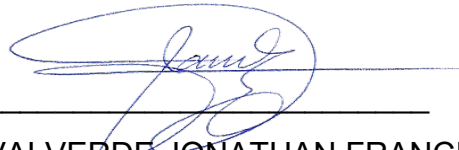
DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1707721435

DECLARACIÓN JURAMENTADA DEL AUTOR

Yo, **MOYA VALVERDE JONATHAN FRANCISCO**, con **CI: 172009184-0**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jonathan Francisco Moya Valverde', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

MOYA VALVERDE JONATHAN FRANCISCO

172009184-0

DEDICATORIA

Segunda a Timoteo 3:16.

Este proyecto lo dedico a mi familia y quiero responderos a cada uno de ustedes, porque sé que todos creyeron y continúan creyendo en mí.

Te lo agradezco Madre, pues me demostraste que la edad nunca será un impedimento para tener éxito, que tu amor y apoyo siempre será incondicional, que solo la muerte no tiene solución y es verdad vivimos hoy un día más de vida y es de regocijo para mí tenerte a mi lado y tener tu consejo, tu comida y tu techo que me has brindado todo este tiempo y jamás me has desamparado, este tiempo nos ha ayudado a mejorar como personas cada día que dios te bendiga madre y te guarde. Ahora soy y seré el gran hombre que siempre deseaste que yo me convirtiera y continuaré luchando, nunca me detendré te lo prometo.

A ti Padre por enseñarme que tu amor traspasa hasta los límites físicos del dolor, por cualquier favor hacia tu hijo y tu fuerza de voluntad, por enseñarme a vivir de forma tranquila y sin complicarse y darse cuenta en lo que uno debe cambiar. Y tenías razón, gracias por ser mi transporte hacia el éxito.

Lucy y Jenny, mis queridas hermanas y mis segundas madres que siempre han velado por mí, directa o indirectamente y que siempre he recibido de su parte, como dice el meme amor, comprensión y ternura.

Lucy me enseñaste que cada uno debe vivir y dejar vivir y no hubiese podido lograrlo si tú no invertías en mí y te admiro por tu capacidad y talento profesional.

Jenny, gracias por tus consejos y siempre incluirme y demostrarme que la familia con amor y actitud positiva, todo absolutamente todo lo puede lograr, "uno es ninguno" y tengo el mundo por delante.

A mi hermano Alejandro, a quién admiró por su seriedad, me gustaría haber sido como tú cuando tenía tu edad, entiendo por todo lo que has pasado, por eso quiero decirte que tienes la oportunidad en tus manos de comerte el mundo entero, siempre "sé fuerte para que nadie te derrote y noble para que nadie te humille, sé humilde para que nadie te ofenda y sigue siendo tú para que nadie te olvide".

A mis sobrinos, Cristian, Dome, Ariel e Isma.

Cristian eres una de las personas más admiradas por mí por tu intelecto y constancia y sobre todo tu carácter tranquilo, siempre tan asertivo y benevolente, seguro y serás un médico exitoso y estaré ahí para verlo, recuerda que "El genio se hace con un 1 % de talento, y un 99 % de trabajo".

Dome, recuerda, no somos las ovejas negras de la familia, somos los que le dan color y sabor a la vida, recuerda: "no puedes vivir tu vida para complacer a los demás, la elección debe ser tuya", sé única e imparable, sé extrovertida y aprovecha cada oportunidad que se te presente en la vida "Hakuna matata", siempre serás mi fan número 1 y yo tu tío Jessy ahora Depp?.

Ariel, "el pasado puede doler, pero se puede huir de él o puedes aprender" y te digo esto porque estás caminando hacia una etapa de la vida difícil que definirá muchas actitudes que tomes en tu vida adulta, y quiero que guardes este consejo: "tus posibilidades de éxito aumentan cada que lo intentas".

Isma, eres un bebe que me alegraba cuando me encontraba triste, y espero que cuando puedas leer esto entiendas cada reflexión que he anotado para tus primos, tíos y hermanos, pues "no importa lo que digan las palabras y las ideas mientras sean capaces de cambiar al mundo" y espero que estas palabras te ayuden a entender este divertido planeta.

A Mi tío Héctor, quien ha sido como un padre para mí, me ha apoyado en cada etapa de mi vida y por eso se lo agradezco por estar siempre en cada caída, usted una vez me dijo que de dónde vienes no define quién eres ni lo que puedes lograr y por ese consejo me sigo quedando en deuda por todo lo que ha hecho por mí.

A mi tía Marcela y mis primos Marce, Juan y José Andrés, quienes siempre fueron una segunda familia y hogar para mí.

A mi cuñado Patito, quien he admirado siempre por demostrarme como debe ser un padre de familia y sin ti no estaría aquí escribiendo estas palabras, gracias.

Quienes no están en este mundo, pero sé que nunca perdieron la fe en mí mientras vivieron, pero ahora viven en mí.

Mamá Bachita gracias por creer tanto en mí, tanto que gracias a usted pagué mi primera matrícula, aún lo recuerdo, además de todos sus consejos y su amor hacia mí que nunca faltó, espero estar en caminado al señor que deseaba que yo fuera.

Eugenia, hay tantas cosas por decir, pero ya no me gusta complicarme, así que, gracias por todo, siempre te llevaré presente y continuaré adelante construyendo cada sueño y haciéndolo realidad como lo había prometido.

Alex siempre me llevo tu consejo, aunque no estés aquí, fuiste como un hermano para mí.

Alex Nicolai, Bryan, Sheen y Valentina

Alex Nicolai, te considero un hermano más y te agradezco por apoyarme con cada ocurrencia mía desde que te conozco, también por ser ese amigo neutral que antepone la razón y me ha hecho ver las cosas con claridad, la oración de la serenidad ahora es parte de mi vida.

Bryan, por ser un verdadero amigo, no tenemos la misma sangre, pero eres mi hermano de corazón, una vez dijiste tienes tanto potencial y puedes hacer grandes cosas y sí, "las oportunidades no son producto de la casualidad, más bien son el resultado del esfuerzo y constancia y trabajo", por eso " todos los sueños se pueden lograr si tenemos el coraje de perseguirlos", al menos espero haberlo entendido bien.

Sheen gracias a ti y tu familia, a tu querido abuelito y tu madre por permitirte poner la casa todos los fines de semana, sacarnos una sonrisa y ser un gran amigo, aunque no nos hemos visto, deseo que los problemas que se te han presentado solo te hagan más fuerte como en palabras de Shaka de virgo recuerda "un hombre muere cuando es olvidado".

Mi querida Vale, te quiero como una hermana y siempre admiraré tu capacidad y valor inquebrantable, así como tu esfuerzo y dedicación, como lo dije una vez cada uno decide donde quiere ir y donde quiere estar, lo importante es que seamos felices y mientras tú seas feliz nosotros seremos felices por ti, y por eso recuerda que siempre puedes contar conmigo, recuerda la canción let it go de Frozen.

Quiero reservar este último espacio para Vanessa y mi hijo Joseph.

Joseph, eres un motor en mi vida y la fuente de mi inspiración, antes de ti pensaba que la vida era un mar de lágrimas, pero tú, con tu sonrisa y tus ojos verdosos, han aclarado mi camino, me han guiado y han dado fuerzas para levantarme y seguir otro día más en la batalla, hay muchas cosas que entenderás conforme pase el tiempo y espero este consejo te ayude en tu vida, pues eres y serás el mejor siempre y nunca debes rendirte, te darás cuenta de que la vida golpea fuerte y depende de ti levantarte y seguir luchando. Ten presente que todas las oportunidades marcan el transcurso de nuestra vida, incluso las que dejamos ir, así que deja que tu filosofía de vida sea el "Carpe Diem", sé feliz y lucha por un mundo mejor cada día por el resto de tu vida. Yo estaré ahí apoyándote porque te amo, hijo mío y quiero que sepas que creo y creeré en ti.

Algunas veces el camino correcto no es el más fácil Amada Vanessa, y quiero dedicarte los siguientes versículos que sé que tú sabrás como interpretarlos.

Mateo 6:14, Corintios 13: 4-8, Génesis 2: 24 y 29:20, Salmo 33:22

Recuerda que la flor que florece en la adversidad es la más rara y hermosa de todas.

AGRADECIMIENTO

Estimado ingeniero Luis Hidalgo, le agradezco por su paciencia, consejos en todo este tiempo y en este proyecto que atravesó una pandemia, hospitalización y demás problemas personales, pero usted no me abandonó, motivo por el cual le guardaré respeto y aprecio siempre.

José Chamorro, quiero agradecerte por tu tiempo y apoyo moral, además de ser un gran amigo.

Lulú Rosero, Liz Barrera, Majo Nolivos, Luis Mogro, Francisco Sáenz, Juan Calderón, Alex Rosas, Francisco Buitrón, Ismael Paz, Steven Navas, Andrea Onofre, les agradezco a la distancia por su amistad sincera y su apoyo en esta etapa de mi vida.

Al resto de mis compañeros universitarios y amigos les agradezco porque todos ustedes siempre me apoyaron y me hicieron sentirme muy apreciado y batallamos cada semestre universitario hasta el fin, todos esos compañeros y amigos que me ayudaron siempre van a estar en mi pensamiento y les agradeceré infinitamente.

Concluyo agradeciéndome a mí, a mi constancia y al buscador de Google por permitirme encontrar toda la información que necesité.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	10
2.1. DIAGRAMA DE REQUERIMIENTOS	10
2.2. DIAGRAMA DE DEFINICIÓN DE BLOQUES	11
2.3. DIAGRAMA INTERNO DE BLOQUES	12
2.4. PROCESO DEL DISEÑO ESPECÍFICO DEL SISTEMA	14
2.4.1. DISEÑO Y SELECCIÓN MECÁNICA.....	14
2.4.1.1. Carga aplicada sobre el tornillo de potencia (C-C´).....	19
2.4.1.2. Diseño del tornillo de potencia (C-C´)	24
2.4.1.3. Selección de los ejes guía (C-C´).....	35
2.4.1.4. Diseño del tornillo de potencia (D-D´)	40
2.4.1.5. Selección del eje guía (D-D´)	47
2.4.1.6. Diseño y análisis de elementos impresos	47
2.4.1.7. Soporte de eje guía (D-D´-Y1)	48
2.4.1.8. Mordaza.....	49
2.4.1.9. Selección del motor (C-C´).....	50
2.4.1.10. Selección del motor (D-D´).....	51
2.4.1.11. Selección del motor para giro de botella (M).....	52
2.4.1.12. Diseño de la estructura.....	53
2.4.2. DISEÑO ELÉCTRICO	55
2.4.2.1. Circuito de mando.....	55
2.4.2.2. Circuito de fuerza.....	65
2.4.2.3. Selección de cables y protecciones	67
2.4.2.3.1. Análisis de la sección número dos.....	67
2.4.2.3.2. Análisis de la sección número tres.....	69
2.4.2.3.3. Análisis de la sección número uno.....	70
2.4.3. LÓGICA DE PROGRAMACIÓN	71
2.4.4. DISEÑO DE UX/UI	73
2.4.4.1. Experiencia de usuario (UX)	73
2.4.4.2. Interfaz de usuario (UI)	74
2.4.4.3. Calibración y mantenimiento.....	77
2.4.4.4. Cortar una botella	77
2.4.4.5. Manual de usuario	78
2.4.4.6. Acerca de	80
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA	81
3.2. ANÁLISIS DE COSTOS	82
3.2.1. COSTO DE ELEMENTOS.....	82

3.2.2.	COSTO DE MANO DE OBRA.....	83
3.2.3.	COSTO DE TRANSPORTE	83
3.2.4.	COSTO TOTAL.....	83
3.2.5.	COSTO DE CONSUMO ELÉCTRICO AL MES.....	84
3.3.	PRUEBAS Y VERIFICACIÓN.....	84
3.3.1.	CORTE EN FUNCIÓN DE LA FORMA DE LA NIQUELINA	85
3.3.2.	CORTE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO	86
3.3.3.	CORTE EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.....	87
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Componentes de la máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico en formato	16
Tabla 2. Masa, Peso, Volumen y Diámetro de varias botellas, incluida una botella de un litro como parte del requerimiento que debe soportar la máquina.	18
Tabla 3. Cargas máximas aplicadas en los puntos A, A* y A*	24
Tabla 4. Esfuerzos normales ortogonales y cortantes.	33
Tabla 5. Resultados calculados de los esfuerzos normales ortogonales y cortantes.....	34
Tabla 6. Comparación de materiales para impresión 3D.	48
Tabla 7. Características de motor Nema 17.	51
Tabla 8. Características del motorreductor.....	53
Tabla 9. Características del pulsador seta NC.....	58
Tabla 10. Características de fuente de alimentación	60
Tabla 11. Características de regulador de voltaje.....	60
Tabla 12. Características de Arduino Mega.....	61
Tabla 13. Características de Ramps 1.6.....	62
Tabla 14. Características de driver A4988.....	63
Tabla 15. Características de pantalla Nextion	63
Tabla 16. Características de termostato W1209 dedicado.....	64
Tabla 17. Características de final de carrera	65
Tabla 18. Características de niquelina.....	67
Tabla 19. Características de la máquina	81
Tabla 20. Elementos y sus costos	82
Tabla 21. Costo de mano de obra	83
Tabla 22. Costo de transporte	83
Tabla 23. Costos totales.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Comparación de la estructura de un cristal de sílice ordenado versus la disposición de la estructura de un vidrio de sílice.....	3
Figura 2. El reciclaje de vidrio es otra opción para cuidar el ambiente.	4
Figura 3. Artesanías que se pueden desarrollar después de reciclar botellas de vidrio.....	5
Figura 4. Cortadora de vidrio	6
Figura 5. Cortadora de botellas de vidrio	6
Figura 6. Máquina para cristalería ecológica.....	7
Figura 7. Cortadora Láser Forza 4 Pro.....	7
Figura 8. Modelo en V para el diseño de un sistema mecatrónico	10
Figura 9. Diagrama de Requerimientos.....	11
Figura 10. Diagrama de definición de bloques	12
Figura 11. Diagrama interno de bloques	13
Figura 12. Vista isométrica de la máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico.....	14
Figura 13. Componentes de la máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico.....	15
Figura 14. Toma de datos mediante balanza CAMRY de la botella de un litro de la marca pilsener con una masa de 671 gr, su transformación es 6.71 Kg parte izquierda, y a la derecha se observa una Kitchen Scale con un valor alrededor de 671 gr aproximadamente.....	18
Figura 15. Propiedades físicas y dimensiones de la botella M3.	19
Figura 16. Acotaciones, momentos, fuerzas de acción y reacción que intervienen en el sistema de corte y acople con el motor, nótese que todas las medidas están expresadas en metros.	20
Figura 17. Muestra el diagrama de cuerpo libre en la posición tres que llamaremos A*, que se encuentra a 0.131 metros de la posición "A" hacia la derecha.	22
Figura 18. Muestra el diagrama de cuerpo libre en la posición tres que llamaremos A**, que se encuentra a 0.207 metros de la posición "A" hacia la derecha.	23
Figura 19. Principales formas de roscas para tornillos de potencia; cuadrada y acmé, nótese que la rosca cuadrada no depende de un ángulo	25
Figura 20. Cargas en eje guía (C-C').	35
Figura 21. Diagrama de fuerza cortante en eje guía (C-C').....	36
Figura 22. Diagrama de momento flector en eje guía (C-C').....	37
Figura 23. Deflexión hallada por software.	39
Figura 24. Factor de seguridad de eje guía (C-C').	39

Figura 25. Elementos que afectan al tonillo de potencia (D-D') con su respectiva masa en kilogramos de arriba hacia abajo: a) Mordaza artesanal, b) Motor reductor DC, c) Viga de eje Y, d) Soporte Nema 17.	40
Figura 26. Fuerza que afecta al tornillo de potencia (D-D')	41
Figura 27. Ejes guía (D-D')	47
Figura 28. Soporte de eje guía (D-D'-Y1).	48
Figura 29. Deflexión máxima en soporte de eje guía (D-D'-Y1).	49
Figura 30. Factor de seguridad en soporte de eje guía (D-D'-Y1).....	49
Figura 31. Deflexión en mordaza.	50
Figura 32. Factor de seguridad en mordaza.....	50
Figura 33. Fuerza necesaria en mordaza.....	52
Figura 34. Perfil de aluminio con riel tipo V 20x20	53
Figura 35. Deflexión máxima en la estructura.	54
Figura 36. Factor de seguridad en la estructura.....	54
Figura 37. Circuito de mando.....	56
Figura 38. Circuito electrónico.....	57
Figura 39. Pulsador seta NC.....	58
Figura 40. Selector de dos posiciones	59
Figura 41. Fuente de alimentación	59
Figura 42. Regulador de voltaje	60
Figura 43. Microcontrolador ATmega2560	61
Figura 44. Shield Ramps 1.6.....	62
Figura 45. Driver A4988.....	62
Figura 46. Pantalla HMI Nextion NX3224T028.....	63
Figura 47. Termostato digital W1209 dedicado	64
Figura 48. Final de carrera mecánico.....	65
Figura 49. Circuito de fuerza.....	66
Figura 50. Niquelina	66
Figura 51. Secciones de cables a analizar.....	67
Figura 52. Breaker monopolar.....	69
Figura 53. Diagrama de flujo del menú principal	71
Figura 54. Diagrama del corte automático	72
Figura 55. Diagrama de flujo del corte manual.....	73
Figura 56. Esquema de programación en pantalla HMI	75
Figura 57. Tiempo de encendido por pantalla	76
Figura 58. Menú principal de la pantalla Nextion.....	76
Figura 59. Apartado calibración y mantenimiento	77
Figura 60. Submenú cortar una botella por corte personalizado	77
Figura 61. Submenú corte automático	78
Figura 62. QR para ingresar a la carpeta compartida manual de usuario....	78
Figura 63. Carpeta compartida.....	79
Figura 64. Página principal del manual de usuario.....	79
Figura 65. Acerca de.....	80
Figura 66. Gráfica de barras de la niquelina en "V".....	85

Figura 67. Gráfica de barras de la niquelina en "U".....	85
Figura 68. Gráfico de Tiempo de corte versus RPM.....	86
Figura 69. Gráfica de la temperatura que alcanza la niquelina en función del tiempo que se demora en ser cortada una botella	87
Figura 70. Vasos obtenidos de botellas de diferentes tamaños	88

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Diámetros y paso de roscas métricas.....	96
ANEXO 2. Diámetros y áreas de roscas métricas	97
ANEXO 3. Propiedades AISI 304 en el sitio web DIPAC	98
ANEXO 4. Elementos de transmisión de potencia.....	99
ANEXO 5. Planos de la cortadora de botellas de vidrio por proceso térmico	100

RESUMEN

Este proyecto surgió como una propuesta innovadora que mejora el método convencional de corte de botellas de vidrio con herramientas artesanales como el lápiz de vidrio con punta de diamante. Cuando se realizó con cizallas en una superficie plana de vidrio se demostró la facilidad de su uso, sin embargo, presentó ineficiencia, porque al encontrarse en una situación de corte de una botella de forma cilíndrica el reto se hizo mayor y dificultó el proceso. Para corregir el problema se encontró un método de corte funcional y versátil con una niquelina que alcanza una mínima temperatura para que empiece a producirse el corte, esto representó un consumo de energía eléctrica al momento de conectar la resistencia, y permitió el corte con precisión al ser adaptada a una máquina de 3 grados de libertad; X, Y cada uno para controlar la longitud de corte y el ancho de la botella respectivamente y se adicionó un eje para la rotación de la botella. El desarrollo metodológico utilizado es el modelo V de sistemas mecatrónicos, que parte de los requerimientos y como consecuencia se seleccionó las partes que constituyeron a la máquina. El control se realizó mediante un microcontrolador encargado de gobernar los movimientos de los actuadores. El sistema de corte-térmico está conformado por una resistencia que rodea una temperatura superior a los 300 °C y que es controlado mediante el módulo de temperatura W1205 dedicado. La estructura principal fue armada con perfil de aluminio AL 20x20 mm empleado idealmente en máquinas CNC de alta precisión. Para facilitar la operatividad se añadió una pantalla de toque inteligente con la que se selecciona el modo de operación de la máquina. Como resultado se obtuvo una máquina capaz de cortar un rango de botellas cilíndricas de 330 mililitros hasta 1 litro con diferentes longitudes en su modo manual y automático.

Palabras clave: CNC, resistencia, bobina, controlador, corte-térmico.

ABSTRACT

This project emerged as an innovative proposal that improves the conventional method of cutting glass bottles with skilled artisans as the diamond tip glass pencil. When shearing strips were made on a flat glass surface, the ease of use was demonstrated, however, it exhibited inefficiency, because when in a cutting condition of a cylindrical-shaped bottle the challenge became greater and makes the process difficult, to correct the problem. A versatile and versatile cutting method was made with a nicheline that reaches a minimum temperature for the cut to occur, this represented an electric power consumption at the time of connecting the resistance, and allowed cutting with precision when it is fitted to a 3 - degree freedom machine; x, and each for controlling the cutting length and the width of the bottle, respectively, and an axis for rotation of the bottle is added. The methodological development used is the model V of mechatronic systems, in which part of the requirements and as a consequence, the parts which constituted the machine were selected. The control was performed by means of a microcontroller responsible for controlling the movements of the actuators. The thermal cutoff system is formed by a resistor that surrounds a temperature above 300°C and is controlled by the dedicated W1205 temperature module. The main structure was assembled with a 20 × 20 mm aluminum profile Ideally used in high-precision CNC machines. To facilitate the operation, an intelligent touch screen is added to which the mode of operation of the machine is selected. As a result, a machine capable of cutting a range of cylindrical bottles of 330μ to 1 liter with different lengths in its manual and automatic mode is obtained.

Keywords: CNC, resistance, coil, controller, cutting thermal.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el vidrio es uno de los materiales que más se utilizan a nivel mundial, se forma por óxido de sílice, carbonato de sodio y carbonato de calcio, los cuales al combinarse y calentarse a una temperatura de 1297 °C aproximadamente, forman este compuesto, es versátil y maleable lo que ha hecho que la industria del vidrio crezca tanto que los países se han visto en la necesidad de implementar técnicas de reciclaje del mismo para cubrir con la demanda del mercado. (Beveridge, 2010)

El vidrio es un compuesto inorgánico con propiedades cristalinas, brillantes y transparentes al momento que se encuentra en estado sólido, en la Figura 1(a), se aprecia la estructura de sílice de cristal y en la Figura 1(b), en la que se muestra la estructura cristalina de un vidrio de sílice.

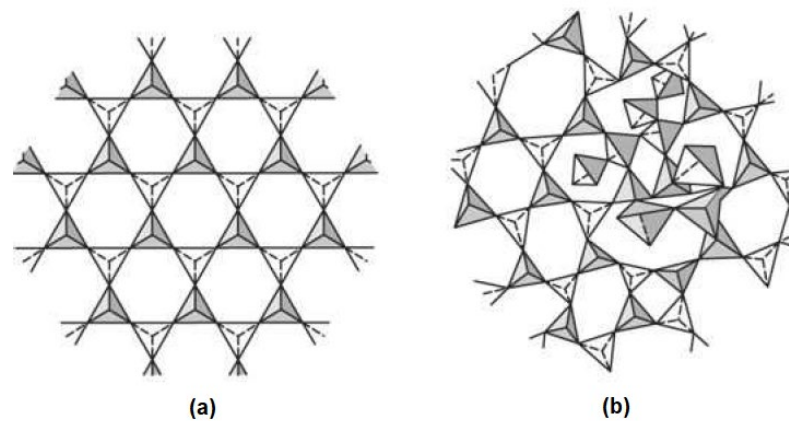


Figura 1. Comparación de la estructura de un cristal de sílice ordenado versus la disposición de la estructura de un vidrio de sílice (SMITH, 2010)

Al analizar la Figura 1(b), se observa que su estructura es desordenada, lo cual la convierte en amorfa, además de ser dura, lo que se traduce como un material frágil, la estructura que se observa es muy similar a la estructura que presentan los líquidos. (Beveridge, 2010)

Existen otros tipos de vidrio que se forman por óxido de boro y se conocen como borosilicatos, ampliamente utilizados por su resistencia a los cambios bruscos de temperatura, conocidos como templados o refractarios. (SMITH, 2010)

La “guía de normas mínimas de urbanización”, que consta en los registros de la norma ecuatoriana GPE 029 en el apartado 1.4.4, se menciona que: “un aspecto de la contaminación es la basura doméstica y la industrial, que deben ser recogidas regularmente y procesadas en áreas especiales, con un aumento de los costos de materia prima, se prevé el desarrollo de un reciclaje de varios desechos, como los metales, el aluminio, el vidrio, plásticos, papel y tela”. (GPE INEN 029, 1993).

El acuerdo ministerial N.º 121- “Regulación para la gestión de residuos integral de botellas de vidrio en el Ecuador”, en el cual se menciona la normativa de carácter obligatoria para la gestión de desechos generados por botellas de vidrio para consumo no ofensivo para la salud humana y que sea viable su reciclaje. (MAE "Regulación para la gestión de residuos de botellas de vidrio en el Ecuador", 2016).

En la actualidad se motiva a los consumidores y productores reciclar vidrio, en la Figura 2, se aprecia como varias botellas llegan al rojo vivo a través de un horno, esta característica del vidrio de atravesar altas temperaturas al momento de su reciclado es lo que lo hace tan eficiente para alcanzar una desinfección óptima y los artesanos pueden crear diferentes figuras, el límite es su imaginación. (LA HORA, EGÜEZ D, 2016)



Figura 2. El reciclaje de vidrio es otra opción para cuidar el ambiente.
(LA HORA, EGÜEZ D, 2016)

De acuerdo a la Red Nacional de Recicladores del Ecuador (RENAREC, 2015), en los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) el promedio de residuos sólidos urbanos es de 4,1 millones de toneladas métricas al año, donde 2,6% es vidrio, este dato es confirmado por el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS, 2020). En el Distrito Metropolitano de Quito, actualmente existen, 105504 toneladas de botellas y envases de vidrio en el mercado, de los cuales apenas se recicla el 19%.

En 2015, se implantó la primera normativa legal de reciclaje de cristal en el Ecuador, en donde se incluyó a empresas recicladoras, productores, importadores y a los envasadores de vidrio (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2016). Estas políticas se encuentran descritas en el acuerdo ministerial número 079 “Normativa para la inclusión de un ciclo en la cadena de valor del vidrio publicada en el Registro Oficial N.º 572, donde se aplica el principio de responsabilidad extendida del productor (REP) a envasadores e importadores” (MAE-PNGIDS, 2020).

El propósito del acuerdo actualmente se basa en la recuperación del material, transporte y envío para que se proceda con nuevos procesos tecnológicos,

para fomentar la reutilización del producto, además fomentar la creación de pequeñas empresas dedicadas al reciclaje inclusivo, la Figura 3, muestra algunos ejemplos de los productos artesanales que se elaboran gracias al corte de botellas. (GUTIÉRREZ, 2015)

Según la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO EP, 2017), “se entiende como reciclaje inclusivo, aquel reconocido formalmente, que tiene derecho a la asociación, fortalecimiento, capacitación y acceso a nuevas tecnologías”.



Figura 3. Artesanías que se pueden desarrollar después de reciclar botellas de vidrio
(GUTIÉRREZ, 2015)

El Distrito Metropolitano de Quito permite la integración de tecnologías con el proyecto “Ferias Metropolitanas Inclusivas”, en donde los proyectos de reciclaje inclusivo están principalmente enfocados a plástico, papel y vidrio, este último promueve la cristalería ecológica por medio de la reutilización de botellas de vidrio y permite a los artesanos desarrollar nuevas fuentes de ingreso (CONQUITO, 2011).

En países con alta tecnología el cuidado y la preocupación por el medio ambiente es alto y la implementación de máquinas enfocadas a este fin es amplio, lamentablemente en el Ecuador las máquinas que cumplen este propósito son escasas, incluso su importación puede resultar muy costosa, lo que impulsa a diferentes asociaciones, artesanos y emprendedores a desarrollar máquinas que cumplan con necesidades como generar recursos y cuidar el ambiente (GODOY, 2008).

Pensar en la implementación de una máquina que facilite el corte de botellas de vidrio supone una reducción amplia en el tiempo de manufactura que le toma al artesano realizar el corte manual sin olvidar los peligros que puede ocasionar el uso inadecuado de utensilios caseros, el desperdicio de material que ocasiona una falla al momento del corte, además de permitir reducir los índices de contaminación, pues el vidrio dura varios años sin degradarse, pero puede ser reciclado múltiples veces lo cual puede generar retribuciones económicas que ayuden con el desarrollo productivo (IMBAQUINGO, 2017).

Existen utensilios de corte de vidrio que son utilizados por los artesanos, uno de los principales es el cortador convencional de vidrio plano, el mismo que se muestra en la Figura 4, y es utilizado por su sencillez, facilidad de uso, y costo amigable, su forma es similar a un bolígrafo, consta de una rueda de carburo de tungsteno y un depósito para aceite autolubricante, conocido como punta de diamante en el mercado ecuatoriano a pesar de ser tan versátil, este utensilio dificulta el corte de botellas de vidrio, debido a que está enfocado al corte de piezas planas y su forma de uso es manual. (TRUPER, 2020)



Figura 4. Cortadora de vidrio
(TRUPER, 2020)

En internet circulan estructuras de corte de botellas de vidrio como se puede observar en la Figura 5, estas máquinas son manuales y adaptan el cortador “punta de diamante”, las estructuras varían desde madera hasta acero inoxidable con ruedas que permiten que el artesano gire la botella, genere una guía de corte, para después colocar un poco de agua caliente y por medio de choque térmico se divida la botella. (KEBS_MALL, 2020).



Figura 5. Cortadora de botellas de vidrio
(KEBS_MALL, 2020)

La Figura 6, muestra, “una máquina para cristalería ecológica”, donde se observa 2 motores, el primero ubicado en la parte izquierda utilizado como contrapunto para anclar una botella de vidrio, en la parte derecha se observan dos pequeños rodillos, que permiten el giro automático de una botella, junto a ellos en la parte intermedia se observa un bloque cortado en V utilizado como material refractario, encima del mismo se coloca una resistencia “niquelina” que llega al rojo vivo (300 °C) y permite el corte por contacto térmico en la botella de vidrio. (GUTIÉRREZ, 2015)

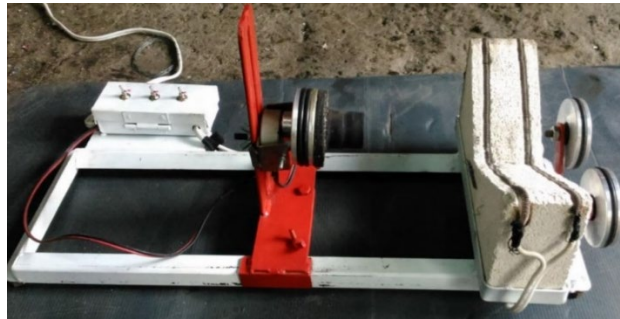


Figura 6. Máquina para cristalería ecológica (GUTIÉRREZ, 2015)

Hoy en día las máquinas más versátiles son las cortadoras por control numérico computarizado, conocidas como “CNC”, entre los procesos de manufactura más comunes en los que se implementan estas máquinas tenemos, entre otros, la impresión “3D”, corte por plasma, fabricación de placas electrónicas “PCB”, procesos de torneado, fresado cortadora láser, esta última muy usada en el corte y grabado de piezas de vidrio.

En la Figura 7, se observa una (FORZA 4 PRO) que son ensambladas en Ecuador, esta máquina puede cortar diferentes tipos de maderas y aglomerados, siendo uno de los más frecuentes el MDF, plásticos como el acrílico, materiales cerámicos muy comunes como el vidrio, porcelana, baquelita, diferentes tipos de materiales textiles, esta cortadora láser adicionalmente permite grabar en las superficies con un acabado en el corte perfecto. (MÁQUINAS.EC, 2020).



Figura 7. Cortadora Láser Forza 4 Pro (MÁQUINAS.EC, 2020)

En el cantón Quito, lugar donde se desarrolla el presente trabajo, existen varios proyectos ya antes mencionados para el reciclaje inclusivo, donde se aplica un sistema de recolección de desechos orgánicos e inorgánicos, en el cual se recolecta 3.99 toneladas diarias de botellas de vidrio que equivale al 6.08% del porcentaje total de la recolección de basura (RENAREC, 2015).

A pesar de que el sistema aplicado contemple la clasificación de desechos, no es aprovechado en su totalidad, y finalmente terminan en el relleno sanitario, acción que reduce su vida útil (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2016).

El hecho descrito, de manera preponderante, ha motivado la realización del presente trabajo, el mismo que como visión a futuro será una oportunidad para intervenir desde el campo de la Ingeniería en Diseño Mecatrónico mediante el planteamiento de un proyecto que reincorpore las botellas de vidrio desechadas, generando así un nuevo producto que permita una actividad económica (VERGARA, 2018).

Para aumentar la producción del desarrollo de utensilios de forma artesanal o también industrial, tomando en cuenta el alto nivel de emprendimiento que se genera gracias a que las botellas de vidrio se pueden volver a reutilizar por medio del conocido reciclaje mencionando algunos ejemplos como lo son los vasos o adornos, otro aspecto importante es la retribución económica que se puede lograr gracias a la versatilidad del proyecto, por esta razón se propone la implementación de una máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico (NORTON, 2009), la misma que debe ser amigable con el medio ambiente evitando el desperdicio del material en cuestión, sin olvidar que la máquina debe facilitar el corte del cristal de la botella a la persona que lo utilice indistintamente del propósito, mejorar la precisión de corte y evitar el impacto del desperdicio como cuando se utilizan otras técnicas de corte como son el cizallado por desprendimiento de viruta entre otras técnicas (GROOVER, 2007). Adicional a esto deberá reducir el riesgo que supone el corte con herramientas manuales por el operador.

Como objetivo general a este proyecto de grado fue: Implementar una máquina semiautomática que corte botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico.

Se continuará con los objetivos específicos que se mencionan:

- Analizar y seleccionar las características que tendrá el Prototipo.
- Diseñar el sistema mecánico, electrónico y de control.
- Integrar los sistemas y condiciones de la máquina.
- Validar el sistema mecánico y el corte de la botella mediante pruebas.

El presente proyecto tuvo como finalidad realizar el diseño, construcción y puesta en marcha de una máquina semiautomática que permitió el corte de

botellas de vidrio de forma cilíndrica, la máquina está basada en tres grados de libertad (GDL), el movimiento bidimensional con dos motores uno a lo largo del eje 'X' y otro a lo largo del eje 'Y', que se acoplaron mediante tornillos de potencia mejor conocidos como tornillos sinfín para sus movimientos de desplazamiento lo cual facilita al usuario controlar la longitud de corte de una botella, el valor (máx. longitud de corte: 30 cm) y el diámetro de la botella(máx. diámetro de botella: 9 cm) respectivamente.

Se consideró 3 posiciones de corte para la obtención de diferentes tamaños de cristalería artesanal para formar boquillas de lámparas, vasos, floreros, entre otros; la primera a 0.300 m del acople en el extremo izquierdo de la botella definido como punto "A", la segunda que el corte sea en el centro de gravedad de la botella "M3", y finalmente cuando la resistencia se encuentre a 0.200 m a la derecha del punto "A", para poder lograr estos cortes se necesitó que el avance tenga una fidelidad de ajuste alrededor de $1 \text{ mm} \pm 0.2$, lo cual permite el movimiento del tornillo de potencia, donde se encuentra el sistema cortador térmico para así ubicarse en la posición deseada.

El último movimiento permite la rotación de la botella sobre la resistencia eléctrica de alambre de microhmio, misma que se encargará del corte, utilizará un control de temperatura ON/OFF para evitar que la resistencia se averíe, para que la botella se corte es necesario que la temperatura de la resistencia supere los $300 \text{ }^\circ\text{C}$, los cuales se utilizan en la industria para que el corte se empiece a producir como se menciona en (VERGARA, 2018), el usuario ubicará la botella en la posición de acople tanto con el eje (X,Y) ajustando la posición de corte mediante una interfaz hombre máquina (HMI).

El accionamiento ejecutado por el usuario es con dos botones o sistema de doble pulso ampliamente utilizado en la industria porque garantiza la seguridad del usuario, un ejemplo es el sistema de accionamiento de una guillotina industrial.

2. METODOLOGÍA

En este proyecto se aplicó la metodología del “Modelo en V” precisa para el desarrollo de sistemas mecatrónicos, cubriendo los campos de diseño mecánico, diseño electrónico, diseño de control automático, las pruebas de funcionamiento y validación del sistema, se identifica cada etapa en la Figura 8.

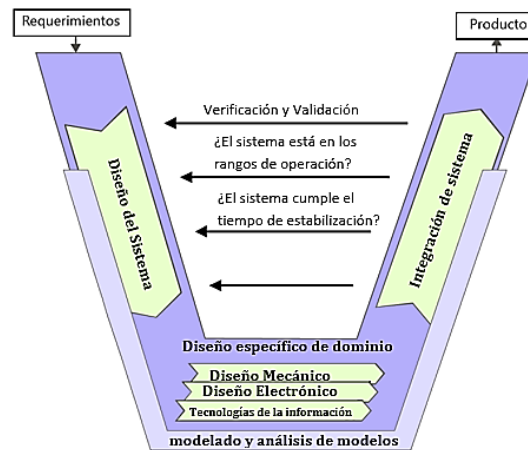


Figura 8. Modelo en V para el diseño de un sistema mecatrónico (GAUSEMEIER J, 2003)

El modelo se fundamentó, en un proceso progresivo evaluativo a niveles diferentes, el cual fluye y no permanece inmóvil, permitiendo realizar cambios y mantener una visualización, verificación en cada avance de un proyecto tecnológico. (TAPIA C, 2013)

2.1. DIAGRAMA DE REQUERIMIENTOS

El proyecto planteado se inicializó con los requerimientos de la máquina cortadora, se ha considerado a los usuarios, el tipo de corte, dimensiones y forma de las botellas que tendrá permitido cortar, logrando así la relación entre los componentes, variables involucradas y la lógica del funcionamiento de los distintos movimientos, todo esto ensamblado sobre un bastidor de aluminio.

Debido a que la máquina solicita al usuario colocar la botella en la posición inicial, para facilitar el control del eje “X” en donde se encuentra la resistencia que permite cizallar por contacto térmico, siendo necesario que el usuario ingrese la distancia de inicio de corte por pantalla, permitiendo el avance de la niquelina, de igual forma el usuario controla el ancho de botella para calibrar la máquina a la medida deseada, por último activará el proceso mediante doble botón de inicio que también sirve como medida de seguridad evitando así que el operador sufra quemaduras o toque la bobina, las medidas han sido

presentadas en un pequeño manual de usuario, no mayor a una hoja, indicando claramente paso a paso el uso y la seguridad del equipo.

En la Figura 9 se puede observar los requerimientos del sistema para ser implementado y cumplir satisfactoriamente con sus funciones específicas de implementación y funcionalidad.

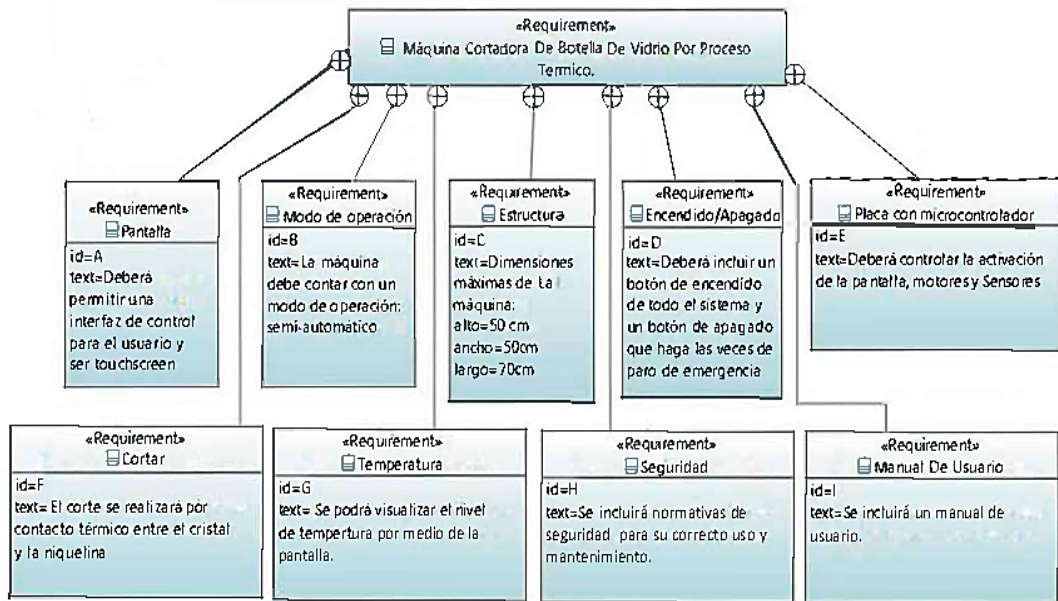


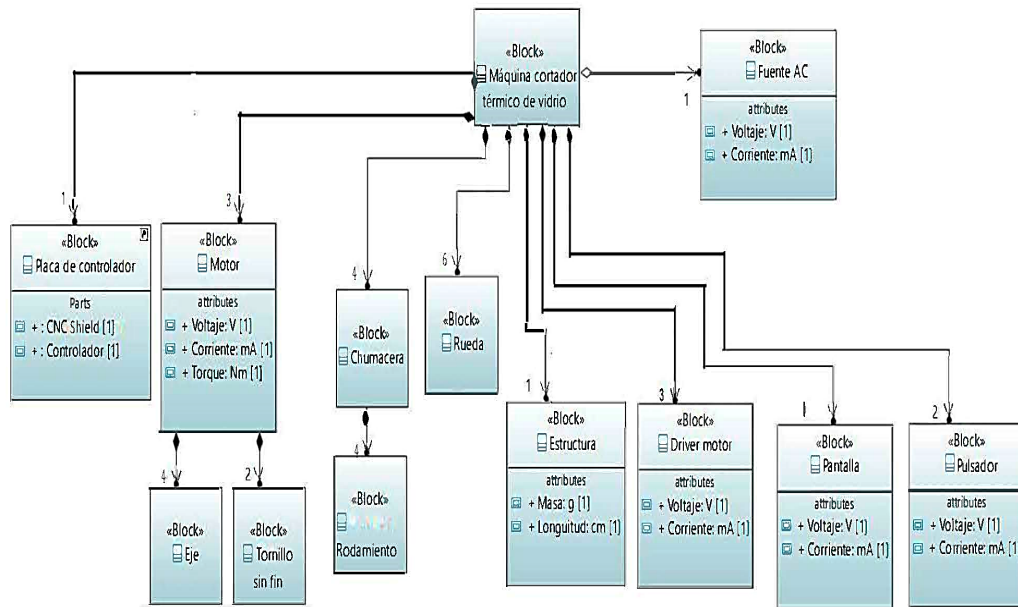
Figura 9. Diagrama de Requerimientos

2.2. DIAGRAMA DE DEFINICIÓN DE BLOQUES

En el diagrama de definición de bloques ilustrado en la Figura 10, se ha mostrado los componentes de la máquina cortadora de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico para cumplir con las funciones especificadas.

Por mencionar algunos de los elementos más representativos que se han considerado tenemos, un sistema microcontrolador que se ha definido en la selección de los componentes eléctricos y electrónicos, al igual que la pantalla de interfaz hombre máquina, se integró un sensor que se adapta al control del sistema siendo necesario, un módulo adicional dedicado al control de temperatura, y se tuvo en cuenta la alimentación eléctrica de todos los dispositivos que intervienen.

Figura 10. Diagrama de definición de bloques



2.3. DIAGRAMA INTERNO DE BLOQUES

En la Figura 11 se ha relacionado la conexión interna de la máquina, en la cual se visualizan motores a paso, debido a que su funcionamiento permite calibrar y controlar la longitud de corte de botella, de igual forma permitirá manipular el ancho de la botella a cortar, hasta la visualización y control de usuario por pantalla, el verificar la temperatura puede ser algo importante a tener en cuenta a la hora de cortar el vidrio, a su vez el consumo de energía que se utiliza para realizar en el proceso.

En la estructura, se ha elegido cuidadosamente los materiales, en el apartado del diseño mecánico se explicó a detalle el proceso de selección.

También se puede observar que el funcionamiento fluye desde el microcontrolador que gobierna el movimiento de los motores, el pulsador de inicio permite el control preciso del tornillo sin fin.

La bobina de corte depende directamente del suministro de energía eléctrica, por conveniencia se ha planteado el uso de una fuente de energía que funcione a 110 voltios, sin embargo, debe verificarse que esto sea óptimo para el funcionamiento de la máquina.

La programación del sistema se desarrolló en un entorno flexible, eficiente, ágil y de aplicación rápida, para permitir que la programación sea óptima se planteará utilizar un software libre para desarrollar los algoritmos de desarrollo del producto.

En el apartado de codificación, algoritmos se presentará claramente el diagrama de flujo que gobierna el sistema y se hará las aclaraciones pertinentes.

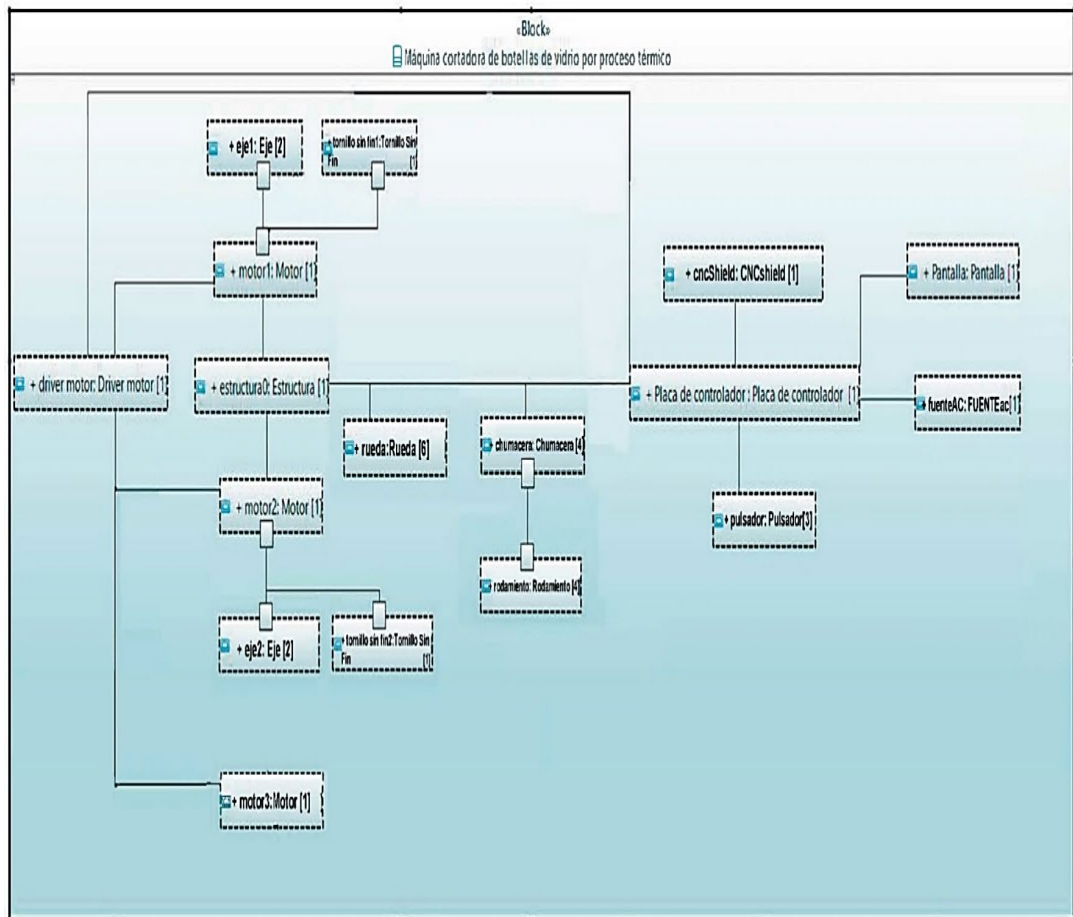


Figura 11. Diagrama interno de bloques

También se ha previsto que es necesario una implementación adecuada de inspección para mantenimiento preventivo y de alguna forma saber los elementos claramente que se puedan observar para su posterior reemplazo, en el capítulo manual de usuario se han aclarado por partes las herramientas y piezas necesarias para poder ajustar y calibrar la máquina de forma correcta, también se definirá las herramientas adecuadas para integrarse al mundo de la realidad aumentada.

2.4. PROCESO DEL DISEÑO ESPECÍFICO DEL SISTEMA

2.4.1. DISEÑO Y SELECCIÓN MECÁNICA

Haciendo uso de un software CAD como se aprecia en la Figura 12, la cual representa una vista isométrica del conjunto de inicio, nótese que está colocada una botella de tamaño estándar en la posición de inicio, la cual el operador deberá ubicarla previamente antes de dar paso a la calibración de corte.

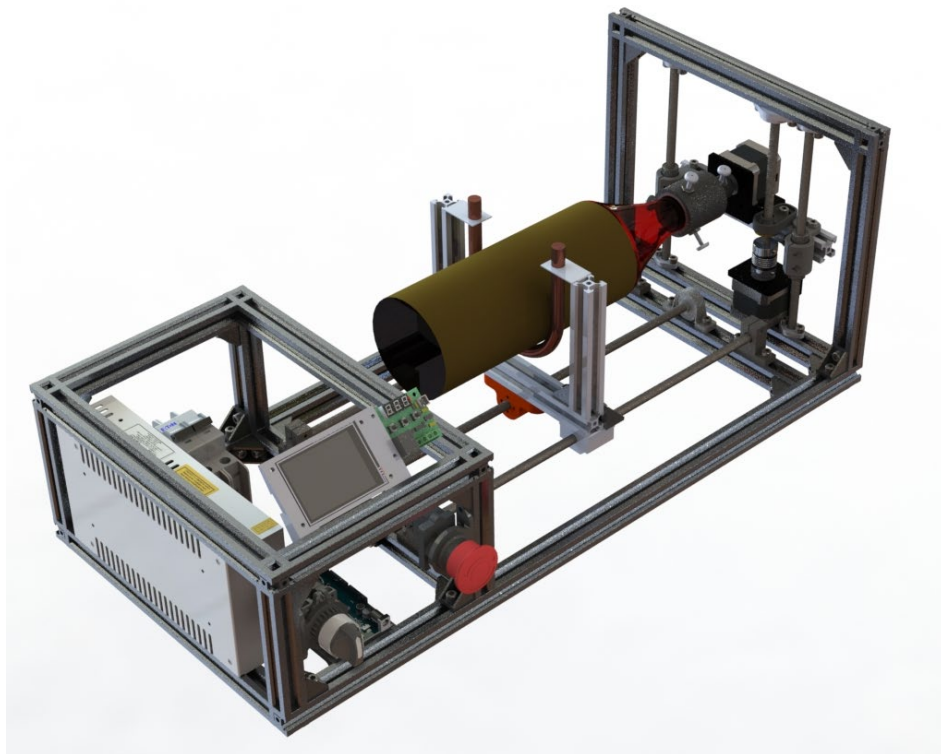


Figura 12. Vista isométrica de la máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico.

Observe la Figura 13, en la cual se aprecia una vista explosionada donde se identifican con viñetas en modo de número las partes que conforman la máquina cortadora de botellas de vidrio, también muestra tres botellas, y a diferencia de la Figura 12, las botellas representan los tamaños máximos, y mínimos para ser colocados sobre la cortadora, vea la Tabla 1.

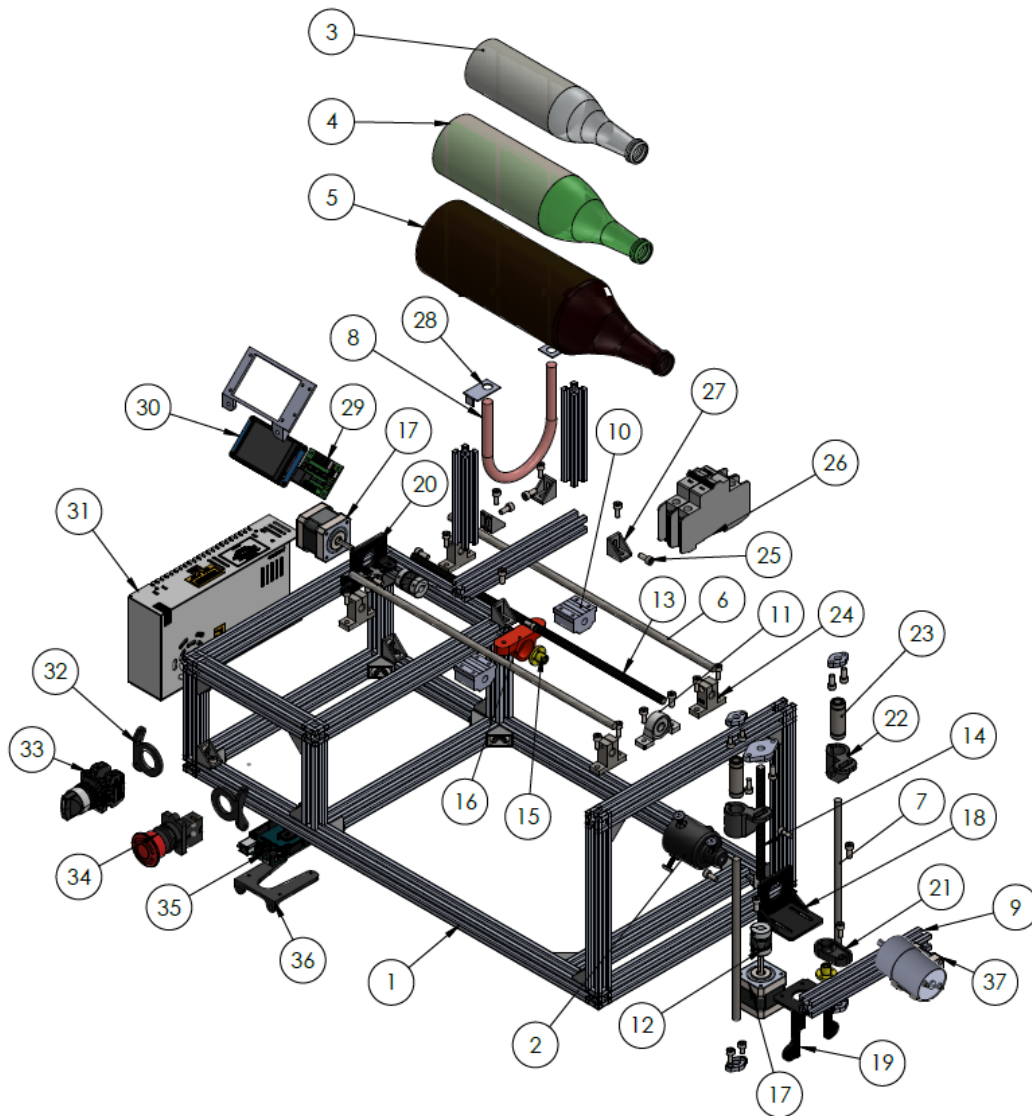


Figura 13. Componentes de la máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico.

En la Tabla 1, se observan los nombres de los componentes que corresponden con la numeración en la Figura 13, es necesario recalcar que no se incluyen los componentes que se mencionan a continuación: panel de control donde se encuentra ubicado microcontrolador, shield controlador de temperatura On/Off y el shield controlador de paso, dos pulsadores para doble seguridad y pantalla Nextion (HMI), los cuales necesarios para la implementación del sistema de control.

Tabla 1. Componentes de la máquina semiautomática para corte de botellas de vidrio cilíndricas por proceso térmico en formato

N° PIEZA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA	1
2	MORDAZA ARTESANAL	1
3	1._BOTELLA_M1	1
4	1._BOTELLA_M2	1
5	1._BOTELLA_M3	1
6	3B_EJE_8X400mm	2
7	3B_EJE_8X210mm	2
8	5_Niquelina	1
9	6C_Viga de eje Y	1
10	7B_RODAMIENTO_LINEAL_8mm	2
11	8A_Chumacera_ejeSK8_Hcentro20mm	1
12	9_Acople_FLEXIBLE	2
13	10_TornillosinFIN_Dext8mmxLar40mm	1
14	10_TornillosinFIN_Dext8mmxLar210mm	1
15	11A_avance TornillosinFIN_Din8mm	2
16	11B_camisaTornillosinFIN	1
17	14_NEMA_17_DIFERENTES_CONFIGURACIONES	2
18	16_SoporteNEMA 17	1
19	17_SoporteNEMA 17 impreso	1
20	18_SoporteNEMA 17 impreso	1
21	19_Soporte de eje guía	1
22	20_Soporte de viga de eje Y	2
23	Rodamiento lineal LM8LUU 8*15*45mm	2
24	Soporte vertical SK SH8	4
25	Tornillos M5x12mm	86
26	Breaker	2

Continuación de Tabla 1

27	Soporte de esquina serie 20 20x20x17mm	26
28	Platina de anclaje de niquelina	2
29	Controlador de temperatura	1
30	Pantalla Nextion	1
31	Fuente de poder	1
32	Soporte para selector	2
33	Selector	1
34	Paro de emergencia	1
35	Arduino	1
36	Soporte para arduino	1
37	Motorreductor DC	1

(CPE INEN 003, 2020)

En este capítulo se mencionará, a base de medidas realizadas con instrumentación, los pesos correctos con los que se obtuvieron claramente cada uno de los datos de partida y se los podrá analizar conforme se requiera a partir de la Tabla 2 y en el análisis de resultados.

La Tabla 2 presenta los datos tabulados que hacen referencia a las botellas y su respectiva masa, que se obtienen mediante una balanza digital profesional de la marca CAMRY modelo EK3252 y una balanza análoga, también se muestran algunos detalles como su marca y el volumen que puede contener en litros y su transformación a Newtons para obtener el peso.

Nótese que sólo se transformaron los valores de peso de la balanza digital CAMRY, pues es su precisión y su funcionamiento digital lo que la hacen óptima, la comparación con la balanza analógica es simplemente para corroborar la precisión de la misma, y el uso de estos datos.

Tabla 2. Masa, Peso, Volumen y Diámetro de varias botellas, incluida una botella de un litro como parte del requerimiento que debe soportar la máquina.

NOMBRE	Masa Balanza Digital CAMRY (Kilogramos)	Masa Balanza Análoga Kitchen Scale (Kilogramos)	VOLUMEN (Litros)	PESO Balanza Digital CAMRY (Newton)	DIÁMETRO DE BOTELLA (Metros)
BOTELLA_M1	0.220	0.220	0.330	2.156	0.0586
BOTELLA_M2A	0.429	0.428	0.600	4.204	0.0730
BOTELLA_M2B	0.398	0.398	0.750	3.900	0.0760
BOTELLA_M3	0.671	0.671	1.000	6.576	0.0873

Para comparar estos datos como se muestra en la Figura 14, se utilizó una segunda medida con una balanza de cocina analógica, a la izquierda se puede observar el modelo CAMRY y a la derecha la balanza analógica, se toma en cuenta una botella de un litro debido a que es parte del requerimiento como peso máximo a soportar por la máquina.



Figura 14. Toma de datos mediante balanza CAMRY de la botella de un litro de la marca pilsener con una masa de 671 gr, su transformación es 6.71 Kg parte izquierda, y a la derecha se observa una Kitchen Scale con un valor alrededor de 671 gr aproximadamente.

2.4.1.1. Carga aplicada sobre el tornillo de potencia (C-C')

Después de obtener los valores correspondientes a la Tabla 2, se continúa con el modelo con software CAD, de la botella de 1 litro, a partir de este momento la mencionaremos como "botella M3", al ser de mayor tamaño y tomando en cuenta el requerimiento de albergar 1 litro, se obtiene algunas propiedades físicas importantes, y se las aprecia en la Figura 15.

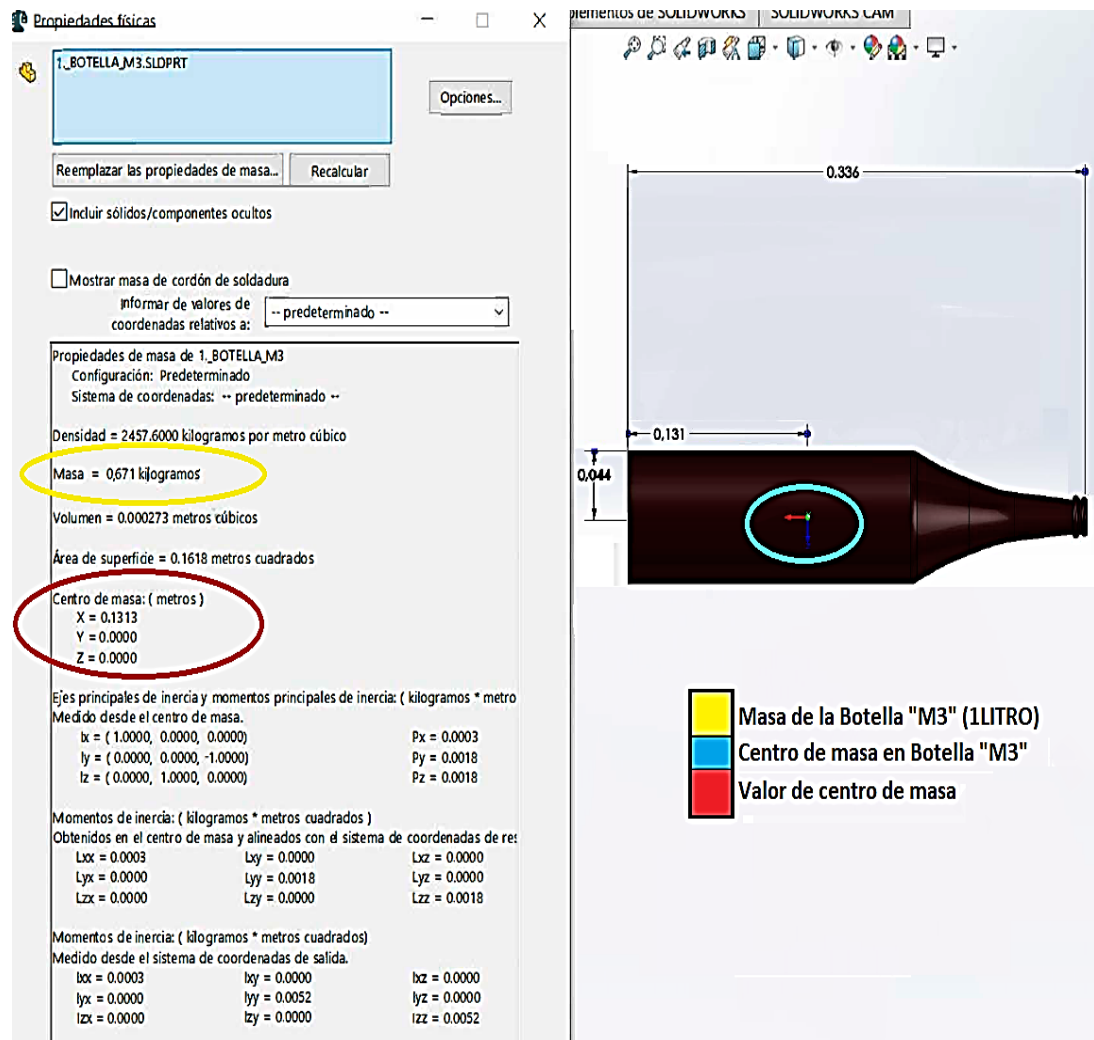


Figura 15. Propiedades físicas y dimensiones de la botella M3.

Para que el operador pueda colocar la botella en la posición deseada se necesita acoplar la botella con el eje del motor, esto permite que se posicione a 90° con la niquelina de corte que actúa como apoyo simple.

Las acotaciones, momentos, fuerzas de acción y reacción que intervienen se aprecian en la Figura 16.

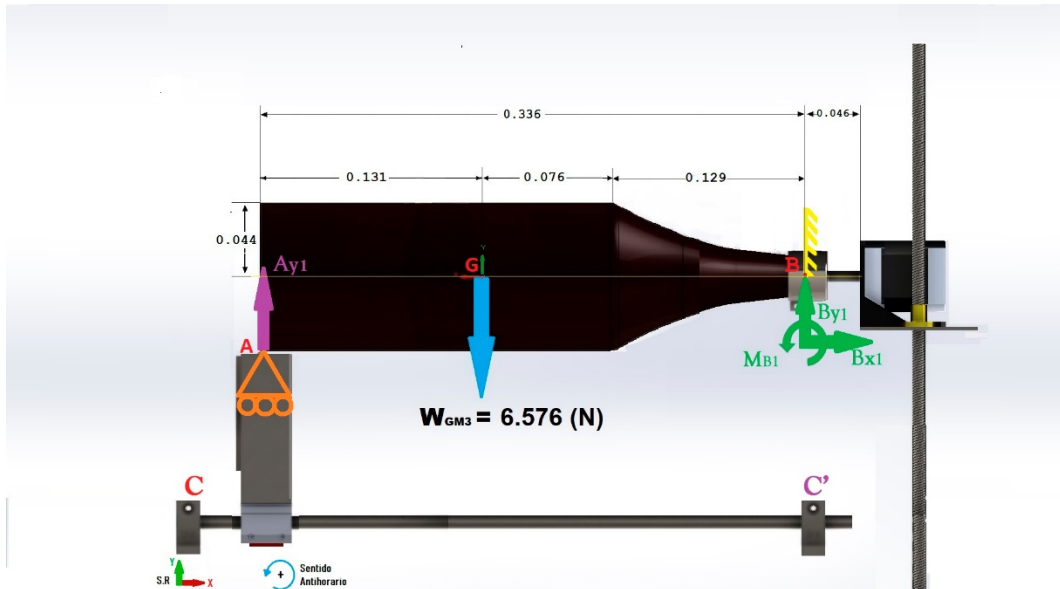


Figura 16. Acotaciones, momentos, fuerzas de acción y reacción que intervienen en el sistema de corte y acople con el motor, nótese que todas las medidas están expresadas en metros.

Para el cálculo de las fuerzas de acción y reacción se aplica:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

Para el cálculo del momento en el punto “B” se utiliza:

$$\sum M_B = 0$$

Donde:

Punto “A”, A*, A**: Apoyo simple.

Punto “B”: Empotrado.

Punto “G” o GM3: Centro de masa de la botella “M3” correspondiente a 1[L].

W_{GM3} : Peso de la botella en el punto “G” equivalente a 6.576 [N].

Ay_1, Ay_2, Ay_3 : Reacción a lo largo del eje “X” que ejerce la resistencia como apoyo simple sobre el punto “A” en [N].

$B_{x1} = B_{x2} = B_x$: Reacción a lo largo del eje “X” en el punto “B” debido a que no existen más reacciones en este eje, se considerará como $B_x = 0$ [N].

By_1, By_2, By_3 : Reacción a lo largo del eje “Y” en el punto “B” en [N].

M_{B1}, M_{B2}, M_{B3} : Momento que se ejerce sobre el punto "B" cuando el apoyo simple se ubica en el punto "A" [Nm].

Se considera positivo el sentido antihorario a las manecillas del reloj y el sistema de referencia, como se indica en la Figura 16, 17 y 18 respectivamente.

Para empezar con el diseño será necesario realizar cálculos en tres posiciones, las cuales permiten encontrar la mayor fuerza que se ejerce sobre el tornillo sinfín, tomando en cuenta las siguientes consideraciones según los requerimientos, las cuales son:

La primera ubicando la resistencia de corte en el extremo "A" con una distancia máxima de 0.300 [m] o (30 centímetros) desde la posición de acople en el punto "B", como se puede apreciar en la Figura 16 y aplicando las ecuaciones tenemos que:

$$\sum F_x = 0$$

$$B_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$Ay_1 - W_{GM3} + By_1 = 0$$

$$Ay_1 + By_1 = 6.576 [N]$$

$$\sum M_{B1} = 0$$

$$-Ay_1 * (0.300) + W_{GM3} * (0.076 + 0.129) = 0$$

Por lo tanto, la fuerza máxima aplicada en el punto "A", con una distancia de 0.300 [m] es de:

$$Ay_1 = 4.493 [N]$$

En consecuencia:

$$By_1 = 2.083 [N]$$

La segunda consideración se muestra en la Figura 17 cuando el carro de corte se encuentra ubicado en el centro de gravedad de la botella "M3" tomando en cuenta los requerimientos para obtener un vaso de 0,131 [m].es decir (13 centímetros) a la derecha del punto A.

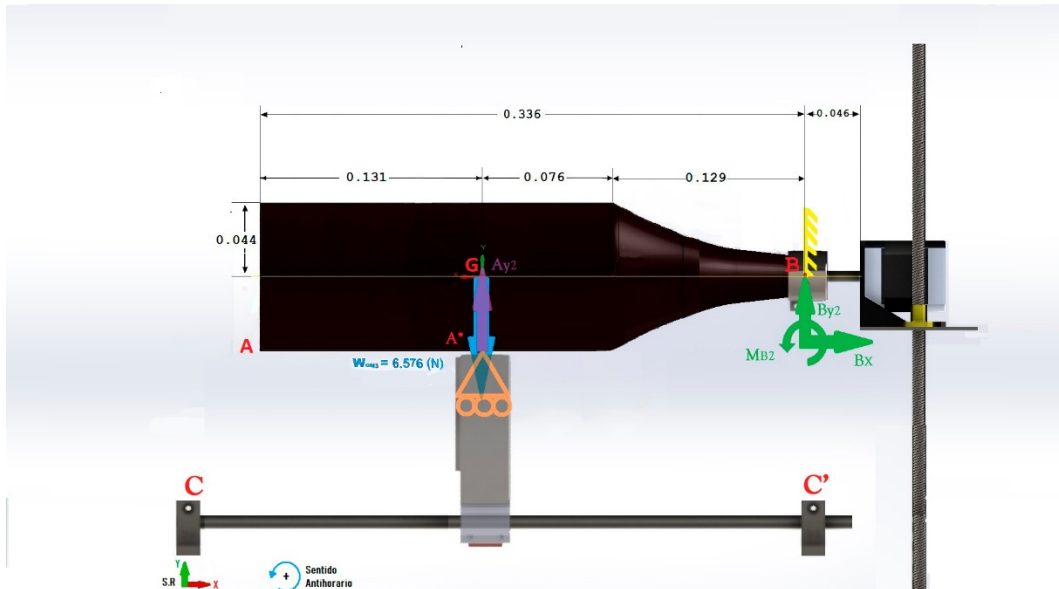


Figura 17. Muestra el diagrama de cuerpo libre en la posición tres que llamaremos A*, que se encuentra a 0.131 metros de la posición "A" hacia la derecha.

$$\sum F_X = 0$$

$$B_X = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_{y_2} - W_{GM3} + B_{y_2} = 0$$

$$A_{y_2} + B_{y_2} = 6.576 \text{ [N]}$$

$$\sum M_{B2} = 0$$

$$-A_{y_2} * (0.076 + 0.129) + W_{GM3} * (0.076 + 0.129) = 0$$

Por lo tanto, la fuerza máxima aplicada en A*, con una distancia de 0,131 [m].o (13 centímetros) a la derecha del punto "A" es:

$$A_{y_2} = 6.576 \text{ [N]}$$

En consecuencia:

$$B_{y_2} = 6.576 - 6.576$$

$$B_{y_2} = 0 \text{ [N]}$$

La tercera consideración, cuando la resistencia se encuentre a 0,207 [m].o (20 centímetros) a la derecha del punto "A", posición máxima con la que se puede obtener todavía un vaso, al superar esta longitud se obtiene lo que se considera un florero, observe la Figura 18.

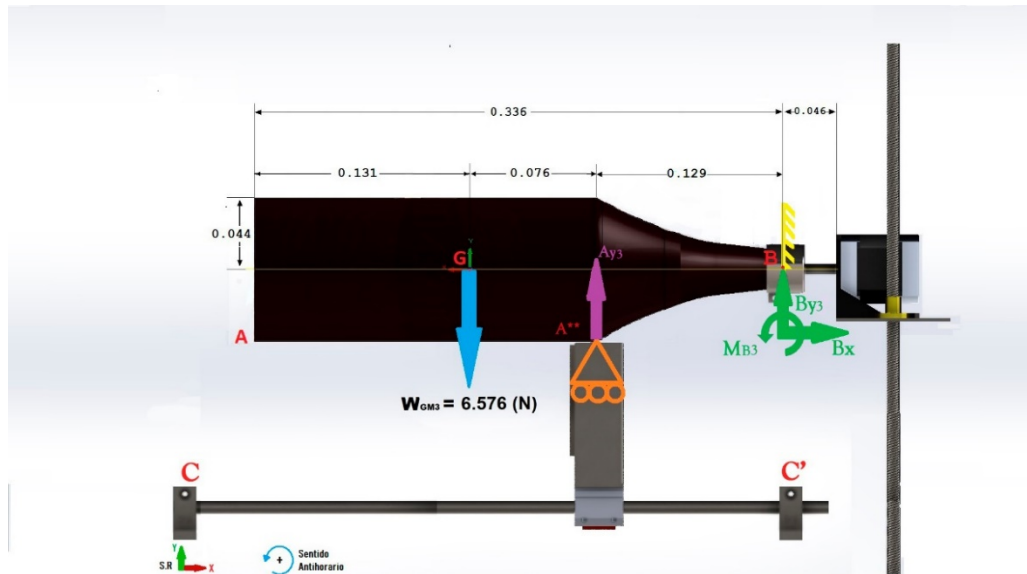


Figura 18. Muestra el diagrama de cuerpo libre en la posición tres que llamaremos A**, que se encuentra a 0.207 metros de la posición "A" hacia la derecha.

$$\sum F_x = 0$$

$$B_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_{y_3} - W_{GM3} + B_{y_3} = 0$$

$$A_{y_3} + B_{y_3} = 6.576 [N]$$

$$\sum M_{B_3} = 0$$

$$-A_{y_3} * (0.129) + W_{GM3} * (0.076 + 0.129) = 0$$

Por lo tanto, la fuerza máxima aplicada en A**, con una distancia de 0,207 [m].o (20 centímetros) a la derecha del punto "A" es:

$$A_{y_3} = 10.449[N]$$

En consecuencia:

$$B_{y_3} = 6.576 - 10.449$$

$$By_3 = -3.873[N]$$

Nótese que el signo negativo de la reacción By_3 , únicamente representa que se encuentra en dirección contraria a la dirección que se seleccionó en el sistema de referencia indicado en la Figura 18.

Debido a que se necesita seleccionar la carga máxima que se aplica sobre el tornillo sinfín, se creó la Tabla 3, en donde se resume las fuerzas máximas adquiridas basándose en los requerimientos según cada consideración anteriormente calculadas en los puntos A, A* y A**.

Tabla 3. Cargas máximas aplicadas en los puntos A, A* y A**.

Punto	Fuerza [N]	Sentido
A	$Ay_1 = 4.493$	↑
	$By_1 = 2.083$	↑
A*	$Ay_2 = 6.576$	↑
	$By_2 = 0$	↑
A**	$Ay_3 = 10.449$	↑
	$By_3 = 3.873$	↓

La mayor fuerza que se aplicará sobre el tornillo sinfín llamado C-C' es $Ay_3 = 10.449[N]$, dato necesario para continuar con el proceso de diseño del tornillo de potencia C-C' y los ejes C-C' a la izquierda y derecha respectivamente.

2.4.1.2. DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA (C-C')

Los tornillos de potencia también conocidos como sinfín de potencia se diseñan para convertir un movimiento rotacional en lineal, lo cual permite que se ejerza una fuerza necesaria para mover un elemento de máquina a través de una trayectoria, generalmente utilizados en máquinas de control numérico (CNC) como son los tornos, fresadoras, cortadoras láser e impresoras 3D, así como herramientas manuales como gatos mecánicos para levantar automóviles, los tornillos de potencia trabajan con el fundamento teórico de tornillo roscado y la tuerca que le corresponda, en otras palabras, si el tornillo se soporta con cojinetes este gira, mientras que la tuerca se mantiene sin girar, ocasionando que la tuerca se traslade a lo largo del tornillo. (MOTT, 2009).

Tomando en cuenta los requerimientos se considera que el avance debe tener una fidelidad de ajuste de $1 \text{ mm} \pm 0.2$, por lo tanto, para los siguientes cálculos se tomará en cuenta que el paso será de 0.001 m o (1mm) experimental, también se debe considerar la Figura 19, la cual muestra las principales formas de roscas para tornillo de potencia.

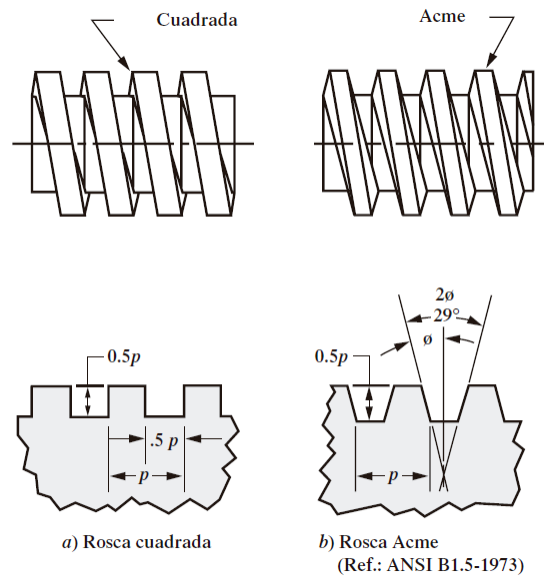


Figura 19. Principales formas de roscas para tornillos de potencia; cuadrada y acmé, nótese que la rosca cuadrada no depende de un ángulo (MOTT, 2009)

En el mercado ecuatoriano, se encuentra con mayor facilidad las roscas del tipo ACME con rosca gruesa, generalmente de acero, por esta razón se ha decidido trabajar con este tipo de roscas, además se señala en el texto de (SHIGLEY, 2018) que: “en tornillos de potencia, la rosca ACME no resulta tan eficiente como la rosca cuadrada, debido a la fricción adicional que provoca la acción de cuña, pero a menudo se prefiere porque es más fácil de maquinar y permite el empleo de una tuerca dividida, la cual se ajusta para compensar el desgaste”.

Según (MOTT, 2009), “Para el diseño del tornillo de potencia hay que calcular el par torsor que debe aplicarse al subir o bajar la carga”.

Esto depende de las siguientes ecuaciones [1] y [2]:

Par torsor requerido para mover una carga “rosca arriba” en un tornillo de potencia con rosca ACME:

$$T_u = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(\cos\phi * \tan\lambda + f)}{(\cos\phi - f * \tan\lambda)} \right] \quad [1]$$

Par torsor requerido para mover una carga “rosca abajo” en un tornillo de potencia con rosca ACME:

$$T_d = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(f - \cos\varphi * \tan\lambda)}{(\cos\varphi + f * \tan\lambda)} \right] \quad [2]$$

Donde:

T_u : Par torsor para “subir” una carga con una rosca ACME [Nm]

T_d : Par torsor para “bajar” una carga con una rosca ACME [Nm]

F : Fuerza a mover, calculada anteriormente; $F = Ay_3 = 10.449$ [N]

D_p : Diámetro medio o de paso [m];

El diámetro de paso depende directamente del paso, y se puede calcular con la siguiente ecuación [3]:

$$D_p = d - 0.649\ 519p \quad [3]$$

Donde:

d : Diámetro mayor o nominal [m];

p : Paso o avance $L = p$ [m];

Tomando en cuenta los requerimientos, el valor del paso experimental a utilizar para fines prácticos será, ($p = 1\text{mm} = 0.001\text{m}$), con este dato se ingresa en la tabla del Anexo 1, y se selecciona el correspondiente diámetro mayor o nominal:

$$d = 6[\text{mm}] = 0,006[\text{m}]$$

Por lo tanto, el diámetro medio o de paso será:

$$D_p = 0.006 - 0.649\ 519 * (0.001)$$

$$D_p = 5.35[\text{mm}] = 0.00535[\text{m}]$$

f : Coeficiente de fricción; dado que se trabajará con acero bien lubricado, entonces tenemos que el coeficiente $f = 0.15$, dato obtenido de (MOTT, 2009).

φ : Ángulo de rosca [°]; para una rosca ACME, el valor $2\varphi = 29^\circ$, en consecuencia $\varphi = 14.5^\circ$ como lo menciona (MOTT, 2009).

λ : Ángulo de avance o de inclinación [°];

El ángulo de avance se puede obtener mediante la ecuación [4].

$$\tan \lambda = \frac{L}{(\pi D_p)} \quad [4]$$

Donde:

L : Es el avance y es igual al paso [m];

πD_p : Es la circunferencia de línea de paso del tornillo

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{0,001}{(\pi * 0,00535)}$$

$$\lambda = 3.405^\circ$$

Para identificar si la rosca es autoasegurante se debe cumplir con la siguiente condición identificada por la ecuación [5]:

$$f > \tan \lambda \quad [5]$$

$$0.15 > \tan 3.405^\circ$$

$$0.15 > 0.05949$$

Por lo tanto, la rosca se considera “autoasegurante”.

Entonces, el par torsor requerido para mover una carga “rosca arriba” en un tornillo de potencia con rosca ACME es:

$$T_u = \frac{10.449 * 0.00535}{2} \left[\frac{(\cos 14.5^\circ * \tan 3.405^\circ + 0.15)}{(\cos 14.5^\circ - 0.15 * \tan 3.405^\circ)} \right]$$

$$T_u = 0.006049 [Nm]$$

Finalmente, el par torsional requerido para mover una carga “rosca abajo” en un tornillo de potencia con rosca Acme es:

$$T_d = \frac{10.449 * 0.00535}{2} \left[\frac{(0.15 - \cos 14.5^\circ * \tan 3.405^\circ)}{(\cos 14.5^\circ + 0.15 * \tan 3.405^\circ)} \right]$$

$$T_d = 0.002643 [Nm]$$

Para determinar la eficiencia del tornillo de potencia (C-C´) se aplica la ecuación [6].

$$e = \frac{T'}{T_u} = \frac{F * L}{2\pi * T_u} \quad [6]$$

Donde:

F : Fuerza a mover o aplicada [N];

L : Es el avance y es igual al paso [m];

T' : Par requerido cuando la fricción es nula $[Nm]$;

T_u : Par torsor para mover una carga rosca arriba $[Nm]$;

$$e = \frac{10.449 * 0.001}{2\pi * 0.006049}$$

$$e = 0.274$$

Se considera que una rosca es eficiente cuando es mayor o igual a 0.1 según (SHIGLEY, 2018).

Para el cálculo del esfuerzo cortante nominal en torsión del cuerpo del tornillo se expresa como se muestra en la ecuación [7].

$$\tau = \frac{16T_u}{\pi D_r^3} \quad [7]$$

Donde:

T_u : Es el par de torsión en el exterior del tornillo rosca arriba:

$$T_u = 0.006049[Nm]$$

D_r : Es el diámetro menor, se determina mediante la ecuación [8]:

$$D_r = d - 1.226869p \quad [8]$$

Donde:

d : Diámetro mayor o nominal $[m]$;

p : Paso o avance $L = p [m]$;

Por lo tanto, el diámetro menor es:

$$D_r = 0.006 - 1.226869 * (0.001)$$

$$D_r = 4.773[mm] = 0.00477[m]$$

Se toma en cuenta que, debido al momento de torsión en el exterior del cuerpo del tornillo rosca arriba, es:

$$\tau = \frac{16 * (0.006049)}{\pi(0.00477)^3}$$

$$\tau = 283.856 * 10^3[Pa] = 0.284[MPa]$$

En la ecuación [9], se presenta el esfuerzo de tensión nominal en torsión del cuerpo del tornillo producido por la carga F .

$$\sigma = \frac{4F}{\pi D_r^2} \quad [9]$$

Donde:

F : Fuerza a mover o aplicada; 10.449[N];

D_r : Es el diámetro menor, se determina mediante; $D_r = 0.00477[m]$

Al reemplazar valores se tiene que:

$$\sigma = \frac{4(10.449)}{\pi(0.00477)^2}$$
$$\sigma = 584.72 * 10^3 [Pa] = 0.585 [MPa]$$

Cuando se analiza esfuerzos sobre tornillos de potencia, el procedimiento que da mejores resultados consiste en emplear el área del esfuerzo a tensión que se expresa en la ecuación [10].

$$A_t = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D_r + D_p}{2} \right)^2 \quad [10]$$

Donde:

A_t : Área del esfuerzo a tensión [m^2];

D_r : Es el diámetro menor se determina mediante; $D_r = 0.00477[m]$

D_p : Diámetro medio o de paso; $D_p = 0.00535[m]$

$$A_t = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0.00477 + 0.00535}{2} \right)^2$$
$$A_t = 20.1 * 10^{-6} [m^2]$$

Para ingresar en la tabla del Anexo 2, es necesario transformar el área del esfuerzo a tensión en [mm^2].

Por lo que se tiene que:

$$A_t = 20.1 [mm^2]$$

Esto nos indica que la selección del diámetro $d = 0,006[m]$ que se eligió es correcta y es igual a la que se calcula por medio de la ecuación [10].

Sin embargo, para calcular el diámetro mínimo requerido “ d_{min} ”, es necesario considerar la ecuación [11] en ausencia de acción de columna para tornillos de potencia, cómo se menciona en (SHIGLEY, 2018).

$$\sigma_d \leq \frac{S_y}{N} - \frac{1}{N} \left(\frac{S_y l}{2\pi k} \right)^2 \frac{1}{C_c E} \quad [11]$$

Donde:

σ_d : Esfuerzo de diseño admisible se determina mediante la ecuación [12]:

$$\sigma_d = \frac{P_{crit}}{A} \quad [12]$$

Donde:

P_{crit} : Carga crítica aplicada considerando el factor de seguridad para el diseño aplicando la ecuación [13]:

$$P_{crit} = F * N \quad [13]$$

N : Factor de diseño;

Se consideró un factor de seguridad para el diseño de 2.5 tomando en cuenta que la estructura es de tipo estática y con cargas posiblemente inciertas, esto debido a que los pesos de las botellas que se coloquen pueden variar por su tamaño y forma.

F : Fuerza a mover o aplicada; $F = 10.449 [N]$

l : Longitud del tornillo de potencia [m];

Al tomar en cuenta los requerimientos, la máx. longitud de corte es igual a 0.3 [m].

A : Área del esfuerzo de diseño al aplicar una carga crítica en un tornillo de potencia [m^2];

El área del esfuerzo de diseño se calcula según las propiedades de las secciones, al encontrarnos en una sección circular sólida como lo es un tornillo de potencia, se tiene que aplicar la ecuación [14]:

$$A = \frac{\pi d_{min}^2}{4} \quad [14]$$

Donde:

d_{min} : Longitud del tornillo de potencia [m];

S_y : Resistencia a la fluencia [Pa];

En Ecuador es fácil encontrar tornillos de potencia de acero inoxidable AISI 304, el cual cumple con el estándar de transmisión en toda máquina CNC, porque no es magnético permitiendo giros suaves y continuos, además evita desgastes por corrosión, como se menciona en (SOTO A, 2018).

En el sitio oficial de (DIPAC, 2021) se menciona que la resistencia a la fluencia del AISI 304 oscila entre 220 y $241 * 10^6 [Pa]$, ver Anexo 3. Sin embargo, la resistencia a la fluencia que se utilizó en este proyecto se la puede encontrar en (MOTT, 2009) con un valor de:

$$S_y = 241 * 10^6 [Pa]$$

k : Radio de giro para una sección circular $[m]$ con la ecuación [15]:

$$k = \frac{d_{min}}{4} \quad [15]$$

C_c : Constante de Columna;

Se seleccionó el valor de $C_c = 1$, que es el valor convencional a utilizar en el diseño de tornillos de potencia, esto porque cumple con la condición de articulado en ambos extremos, lo cual permite la rotación del tornillo (C-C').

E : Módulo de Young o elasticidad $E = 207 * 10^9 [Pa]$;

Entonces:

$$\left(\frac{P_{crit}}{A}\right) \leq S_y - \left(\frac{S_y l}{2\pi k}\right)^2 \frac{1}{CE}$$

$$\left(\frac{F * N}{A}\right) \leq S_y - \left(\frac{S_y l}{2\pi k}\right)^2 \frac{1}{CE}$$

Al reemplazar valores se tiene que:

$$\left(\frac{10.449 * 2.5}{\frac{\pi * d_{min}^2}{4}}\right) \leq 241 * 10^6 - \left(\frac{241 * 10^6 * 0.3}{2 * \pi * \frac{d_{min}}{4}}\right)^2 * \frac{1}{1 * 207 * 10^9}$$

$$104,49 \leq 757.124 * 10^6 * d_{min}^2 - 32,144 * 10^3$$

$$\pm \sqrt{\frac{104,49 + (32,144 * 10^3)}{757,124 * 10^6}} \leq d_{min}$$

$$d_{min} \geq 0,00653[m]$$

En el mercado ecuatoriano no se encuentran tornillos de potencia con diámetros de $6,53[mm]$, debido a que las medidas están estandarizadas en unidades del sistema internacional desde $6[mm]$ o su equivalente en

pulgadas, por esta razón se ha decidido escoger un tornillo de potencia con un diámetro igual a 8[mm] de acero inoxidable del catálogo de (BOHMAN Ivan, 2021) y se muestra en el Anexo 4.

Al aplicar la ecuación [16], el esfuerzo en la rosca del tornillo de potencia se relaciona directamente con los parámetros de rosca y de este modo se obtiene el esfuerzo en el apoyo.

$$\sigma_B = -\frac{2 * 0.38F}{\pi * d_m * n_t * p} \quad [16]$$

Donde:

F : Fuerza a mover o aplicada; 10.449[N];

d_m : Es el diámetro medio en [m] aplicando la ecuación [17]equivalente a;

$$d_m = D_r + \frac{p}{2} \quad [17]$$

$$d_m = 0,00477 + \frac{0.001}{2}$$

$$d_m = 0.00527[m]$$

n_t : Es el número de roscas en contacto.

Para que el esfuerzo de apoyo sea máximo es necesario que el número de roscas n_t sea igual a la unidad.

p : Paso o avance $L = p [m]$;

Por lo tanto, se tiene que:

$$\sigma_B = -\frac{2(0.38)(10.449)}{\pi * (0.00527) * (1) * (0.001)}$$

$$\sigma_B = -479.654 * 10^3 [Pa]$$

$$\sigma_B = -0.479 [MPa]$$

Para el cálculo del esfuerzo flector en la rosca se debe aplicar la ecuación [18].

$$\sigma_b = \frac{6 * 0.38F}{\pi * D_r * n_t * p} \quad [18]$$

$$\sigma_b = \frac{6 * 0.38 * (10.449)}{\pi(0.00477)(1)(0.001)}$$

$$\sigma_b = 1.589 * 10^6 [Pa]$$

$$\sigma_b = 1.589 [MPa]$$

En la ecuación [19], el esfuerzo cortante transversal que se genera en el centro de la raíz de la tuerca debido a F es:

$$\tau = \frac{3F}{\pi * D_r * n_t * p} \quad [19]$$

$$\tau = \frac{3(10.449)}{\pi(0.00477)(1)(0.001)}$$

$$\tau = 2.092x10^6 [Pa]$$

$$\tau = 2.092 MPa$$

Debido a que los esfuerzos que se aplican se encuentran en distintas direcciones, se debe determinar el esfuerzo de Von Mises σ' en la parte superior del “plano” de la raíz, el cual se determina identificando los esfuerzos tridimensionales como se muestra en la Tabla 4, donde se pueden identificar σ_x , σ_y , τ_{yz} con las ecuaciones [18], [20] y [7] respectivamente.

Tabla 4. Esfuerzos normales ortogonales y cortantes.

FÓRMULA	N.º ECUACIÓN	FÓRMULA	N.º ECUACIÓN
$\sigma_x = \frac{6(0.38)F}{\pi D_r n_t p}$	[18]	$\tau_{xy} = 0$	
$\sigma_y = -\frac{4(0.38)F}{\pi D_r^2}$	[20]	$\tau_{yz} = \frac{16T_u}{\pi D_r^3}$	[7]
$\sigma_z = 0$		$\tau_{zx} = 0$	

Donde:

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: Esfuerzos normales ortogonales [Pa];

$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$: Los esfuerzos cortantes [Pa];

En la Tabla 5, se presentan cada uno de los valores calculados respectivamente.

Tabla 5. Resultados calculados de los esfuerzos normales ortogonales y cortantes.

FÓRMULA	FÓRMULA
$\sigma_x = \sigma_b = 1,589 \times 10^6 [Pa]$	$\tau_{xy} = 0$
$\sigma_y = \sigma = -0.585 \times 10^6 [Pa]$	$\tau_{yz} = 0.284 \times 10^6 Pa$
$\sigma_z = 0$	$\tau_{zx} = 0$

Al tomar en cuenta que el método de energía que se aplica para la distorsión de esfuerzos triaxiales en materiales dúctiles, lo que significa que se aplica la ecuación [21].

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad [21]$$

Donde:

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: Esfuerzos normales ortogonales [Pa];

$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$: Los esfuerzos cortantes [Pa];

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1,589 * 10^6 [Pa] + 0.585 * 10^6 [Pa])^2 + (-0.585 * 10^6 [Pa] - 0)^2 + (0 - 1,589 * 10^6 [Pa])^2 + 6[0 + (0.284 * 10^6 Pa)^2 + 0]]^{1/2}$$

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(4.726 * 10^{12}) + (3.422 \times 10^{11}) + (2.525 \times 10^{12}) + (4.839 \times 10^{11})]^{1/2}$$

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [8.077 * 10^{12}]^{1/2}$$

$$\sigma' = 2.0096 * 10^6 [Pa]$$

$$\sigma' = 2.01 [MPa]$$

El diseño del espesor de la pared del cilindro se halla con la ecuación [22]:

$$\sigma' = \frac{S_y}{N} \quad [22]$$

Se utiliza un factor de diseño de 2.5

$$\frac{F}{\frac{\pi d_{\min \text{ tornillo}}^2}{4}} \leq \frac{241 * 10^6 [Pa]}{2.5}$$

$$\frac{10.449 [N] * 4}{\pi d_{\min \text{ tornillo}}^2} \leq \frac{241 * 10^6 [Pa]}{2.5}$$

$$d_{\min \text{ tornillo}} \geq \sqrt{\frac{(2.5)(4)(10.449)}{(241 * 10^6)(\pi)}}$$

$$d_{\min \text{ tornillo}} \geq 0.000371 [m]$$

El diámetro mínimo necesario del tornillo de potencia C-C' es de 0.000371 [m], por lo tanto, el tornillo de potencia de 8[mm] que se seleccionó es el adecuado para soportar el sistema corte-botella.

2.4.1.3. SELECCIÓN DE LOS EJES GUÍA (C-C')

Puesto que son dos los ejes guía los que soportan la carga, se divide la carga de 10.449[N] entre dos y se calcula en uno de ellos.

La carga y tamaño se muestran en la Figura 20.

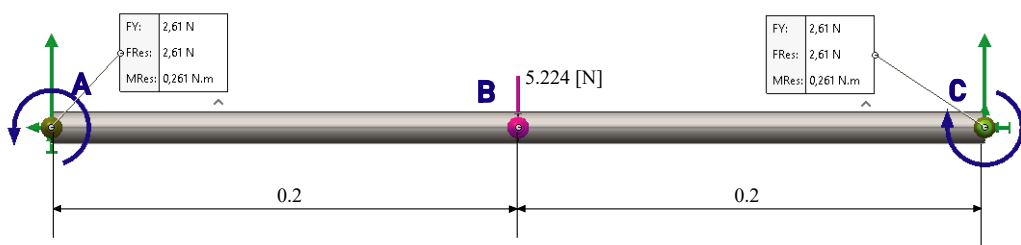


Figura 20. Cargas en eje guía (C-C').

Para hallar las reacciones en A y C se utiliza la ecuación [23].

$$R_A = R_C = \frac{P}{2} \quad [23]$$

$$R_A = R_C = \frac{5.224 [N]}{2}$$

$$R_A = R_C = 2.61 [N]$$

Para hallar los momentos en A y C se emplea la ecuación [24].

$$M_A = M_B = M_C = \frac{P * L}{8} \quad [24]$$

$$M_A = M_B = M_C = \frac{5.224[N] * 0.4[m]}{8}$$

$$M_A = M_B = M_C = 0.261[Nm]$$

En la Figura 21 se muestra el diagrama de fuerza cortante del eje guía (C-C').

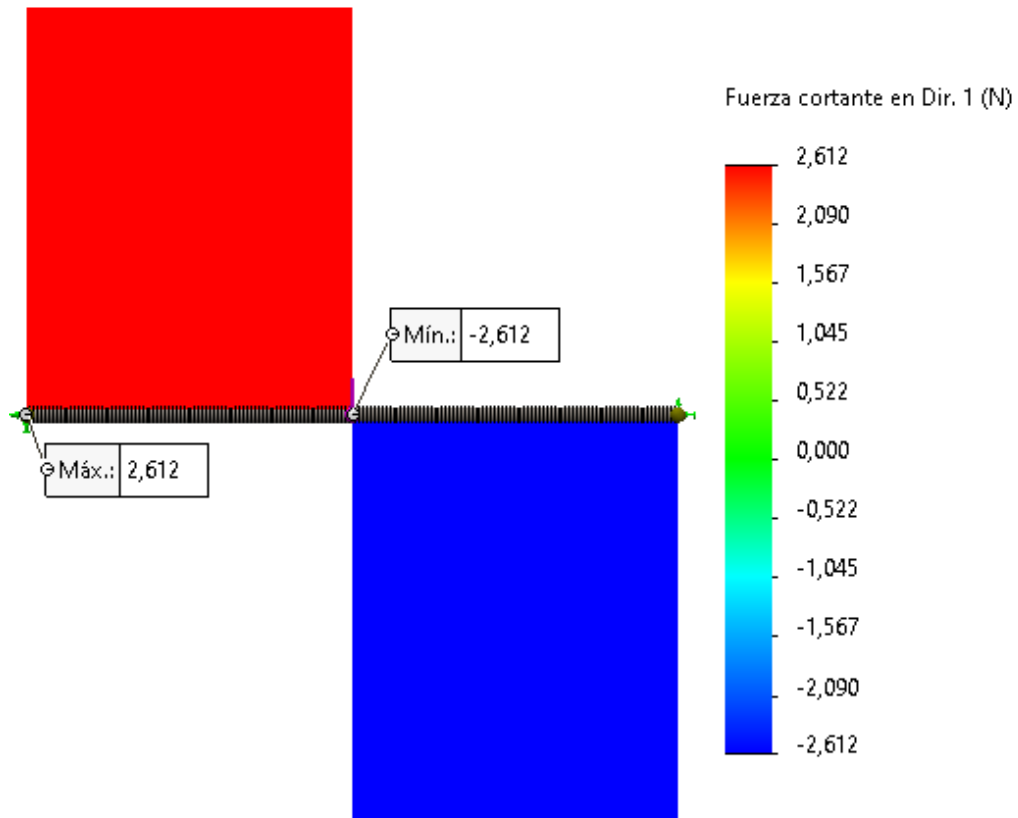


Figura 21. Diagrama de fuerza cortante en eje guía (C-C').

En la Figura 22 se muestra el diagrama de momento flector del eje guía (C-C').

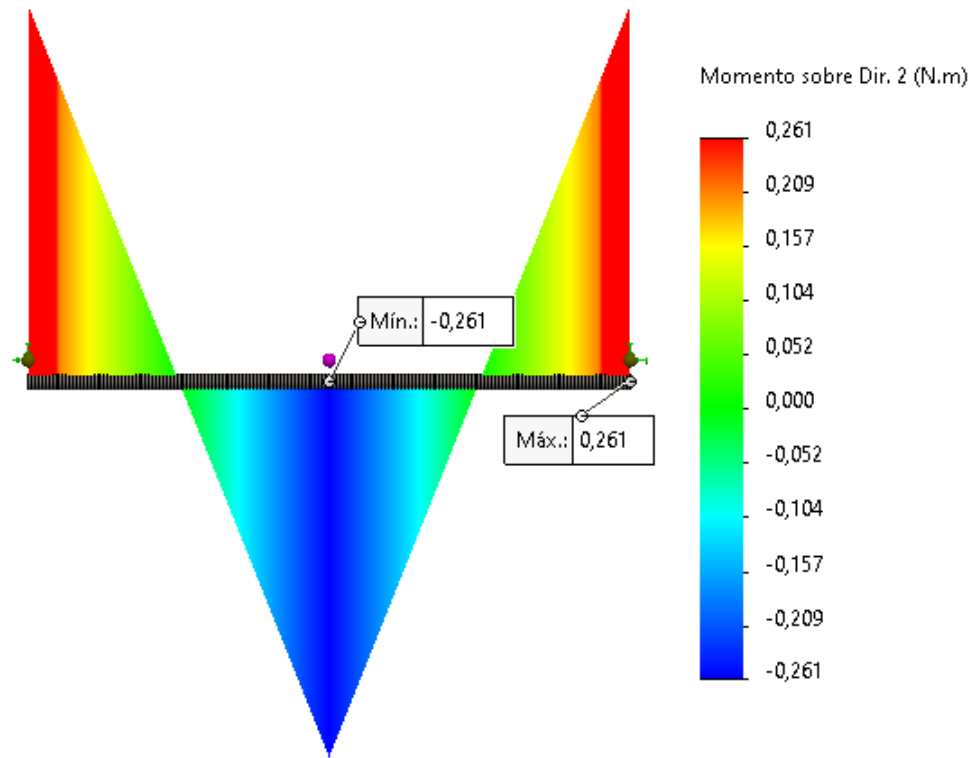


Figura 22. Diagrama de momento flector en eje guía (C-C').

Para esta pieza se ha establecido un factor de diseño de 2.5.

En este caso, el material usado en este tipo de aplicaciones es el acero 1045 con un límite de fluencia de 413 [MPa] (Cia. Genarl de Aceros S.A., 2007)

Se emplea la ecuación de diseño [25] mostrada a continuación.

$$\sigma_{Mmax} \leq \frac{S_y}{N} \quad [25]$$

Donde:

σ_{Mmax} : Esfuerzo normal máximo por momento flector [Pa]

S_y : Resistencia a la fluencia [Pa]

N : Factor de diseño

De la ecuación [25] se obtiene la ecuación [26].

$$S \geq \frac{M_{max} * N}{S_y} \quad [26]$$

Donde:

M : Momento máximo [Nm]

S: Módulo de sección

Al tratarse de una sección circular, la ecuación empleada para el módulo de sección es la ecuación [27].

$$S = \frac{\pi * D^3}{32} \quad [27]$$

Donde:

D: Diámetro [m]

Se sustituye la ecuación [27] en la [26] obteniendo la ecuación [28].

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{M_{max} * N * 32}{S_y * \pi}} \quad [28]$$
$$D \geq \sqrt[3]{\frac{0.261[Nm] * 2.5 * 32}{413 * 10^6[Pa] * \pi}}$$
$$D \geq 0.0025[m]$$

Por disponibilidad del mercado se ha seleccionado un eje guía de 8[mm] de diámetro. Para este espesor se determina la deflexión máxima que tendrá este componente con la ecuación [29]

$$Y_{max} = \frac{P * L^3}{192 * E * I} \quad [29]$$

Donde:

Y_{max} : Deflexión máxima [m]

E: Módulo de elasticidad [Pa]

I: Momento de inercia [m⁴]

El momento de inercia para una sección circular se halla mediante la ecuación [30].

$$I = \frac{\pi * D^4}{64} \quad [30]$$
$$I = \frac{\pi * (0.008m)^4}{64}$$
$$I = 2.01 * 10^{-10}[m^4]$$

Se sustituye en la ecuación [29].

$$Y_{max} = \frac{5.224[N] * (0.4m)^3}{192 * 207 * 10^9[Pa] * 2.01 * 10^{-10}[m^4]}$$

$$I = 0.000042[m]$$

La deflexión máxima es de 0.042[mm] lo cual es aceptable.

Con la ayuda del software SolidWorks se ha hallado una deflexión máxima de 0.043[mm], similar a la calculada y se muestra en la Figura 23.

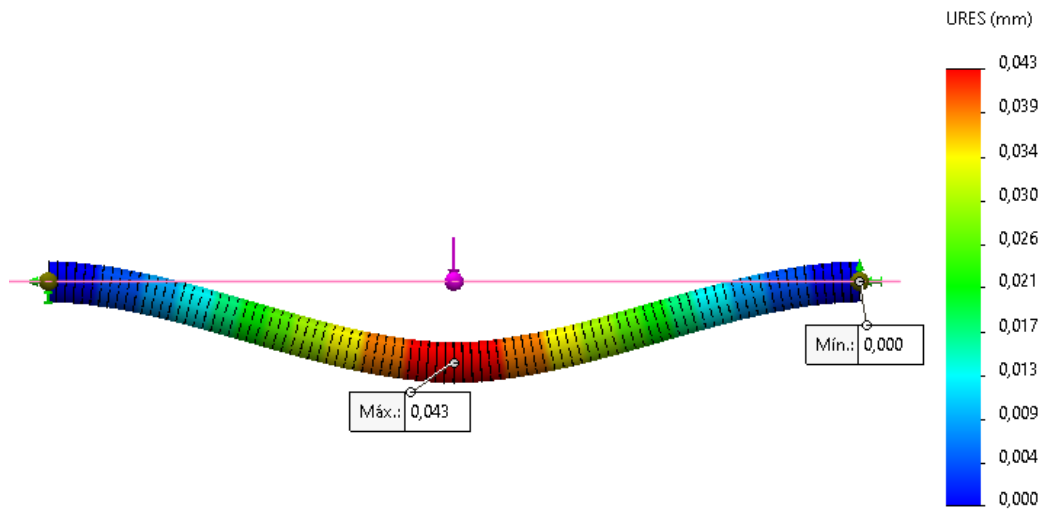


Figura 23. Deflexión hallada por software.

Con la ayuda del software SolidWorks se ha determinado un factor de seguridad de 15.48, mucho mayor que el factor de diseño de 2.5. Se muestra en la Figura 24.

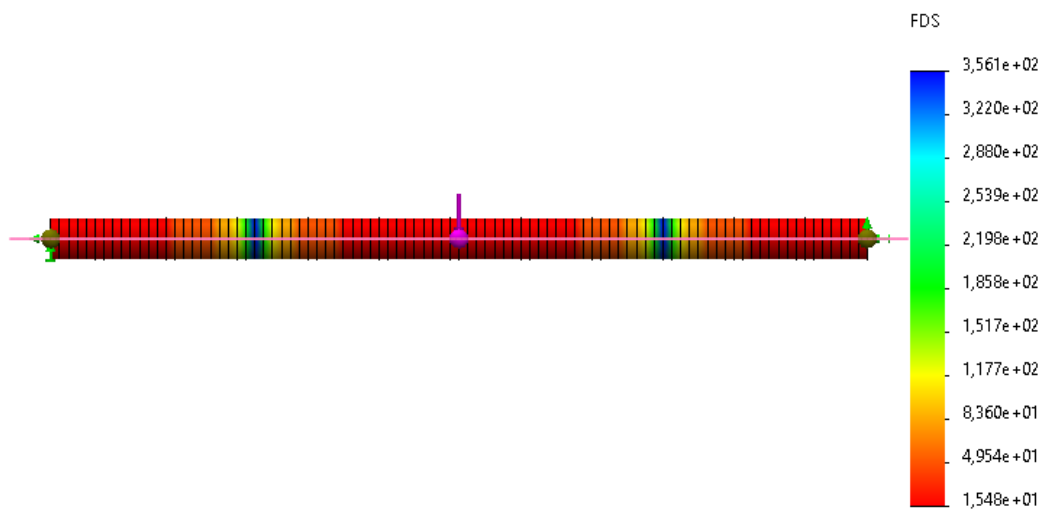


Figura 24. Factor de seguridad de eje guía (C-C').

2.4.1.4. DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA (D-D´)

Para continuar con el cálculo del tornillo de potencia (D-D´) se debe considerar el peso de los elementos que afectan directamente al tornillo, los cuales se aprecian en la Figura 25 en los detalles a, b, c, d.

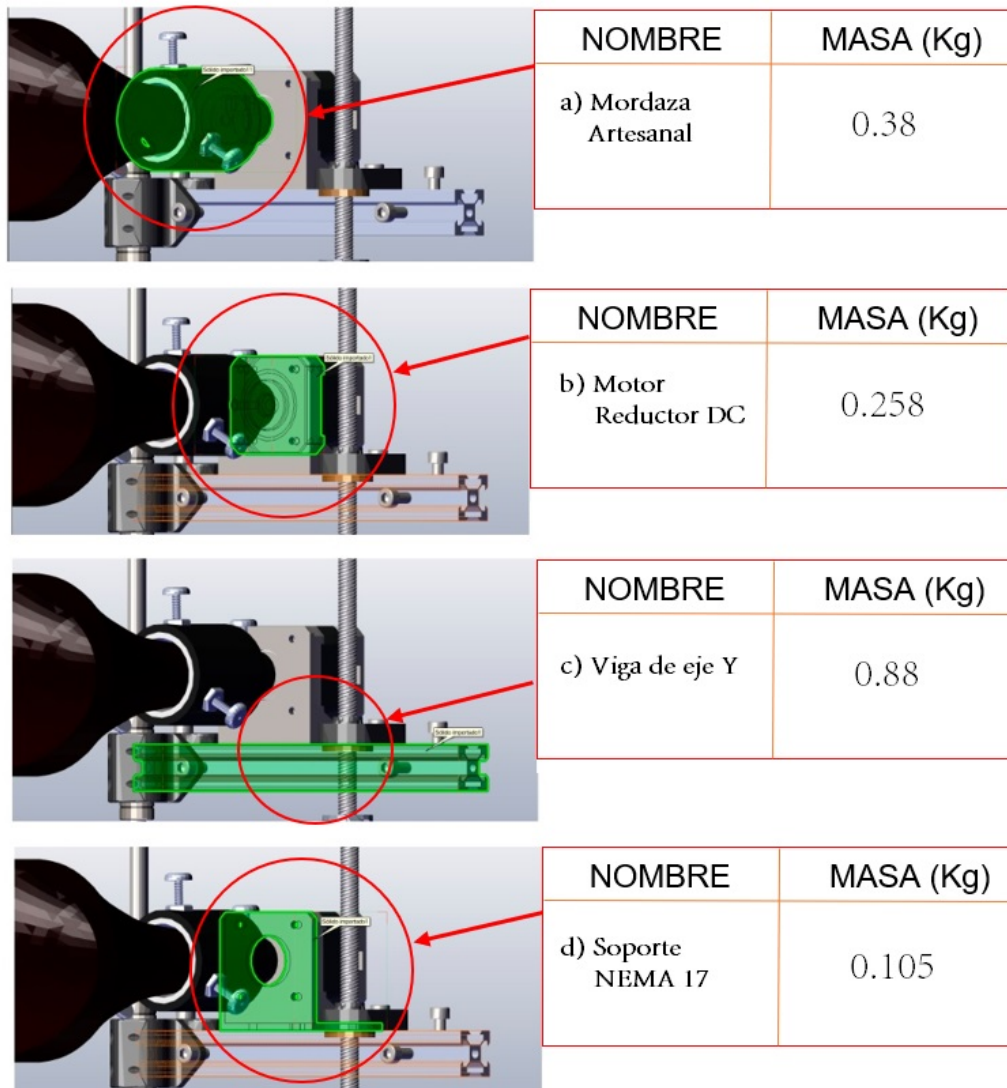


Figura 25. Elementos que afectan al tornillo de potencia (D-D´) con su respectiva masa en kilogramos de arriba hacia abajo: a) Mordaza artesanal, b) Motor reductor DC, c) Viga de eje Y, d) Soporte Nema 17.

Al sumar las masas de los elementos se obtiene la masa total aplicada en el tornillo de potencia (D-D´):

$$(0.38) + (0.258) + (0.88) + (0.105) = 0.489 [kg]$$

Sin embargo, se necesita considerar el peso que se aplica, por lo que se debe multiplicar este valor por la gravedad:

$$0.489 * 9.8 = 4.792 \text{ [N]}$$

Observe la Figura 26 que muestra el tornillo de potencia (D-D') y se observa el peso que es la Fuerza que se aplica sobre este elemento y la cual de ahora en adelante se la nombrará como Fuerza a mover ($F_{D-D'}$)

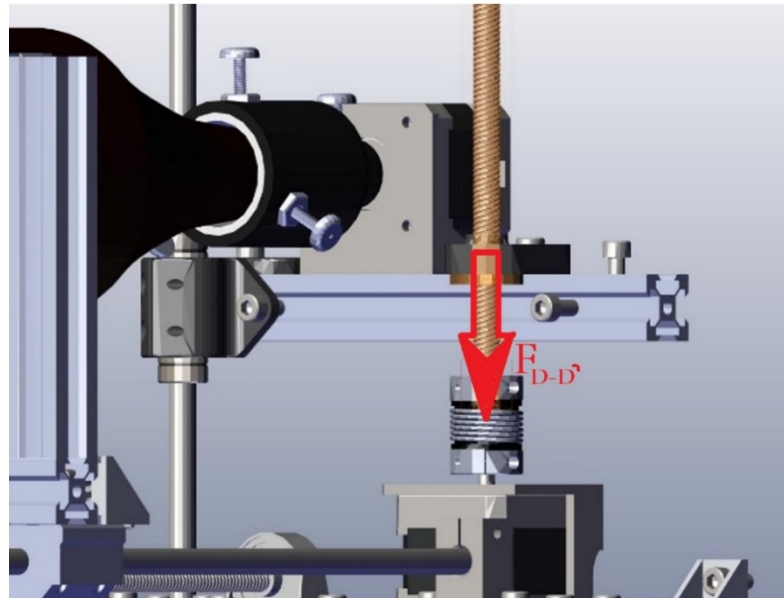


Figura 26. Fuerza que afecta al tornillo de potencia (D-D')

Como se mencionó en el cálculo del tornillo (C-C') el par torsor que genera movimiento en una carga “rosca arriba” en un tornillo de potencia con rosca del tipo Acme y se lo obtiene aplicando las ecuaciones [1] y [2] con un ligero ajuste al reemplazar $F_{C-C'}$ por $F_{D-D'}$:

$$T_{u2} = \frac{F_{D-D'} D_p}{2} \left[\frac{(\cos\phi * \tan\lambda + f)}{(\cos\phi - f * \tan\lambda)} \right]$$

Par torsor que se utiliza para generar un movimiento de una carga “rosca abajo” en un tornillo de potencia con rosca Acme:

$$T_{d2} = \frac{F_{D-D'} D_p}{2} \left[\frac{(f - \cos\phi * \tan\lambda)}{(\cos\phi + f * \tan\lambda)} \right]$$

Donde:

T_{u2} : Par torsional para “subir” una carga con una rosca Acme [Nm]

T_{d2} : Par torsional para “bajar” una carga con una rosca Acme [Nm]

$F_{D-D'}$: Fuerza a mover, calculada anteriormente; $F_{D-D'} = 4.792 \text{ [N]}$

D_p : Diámetro medio o de paso [m];

El diámetro de paso se halla con la ecuación [3]:

$$D_p = d - 0.649 519p$$

Tomando en cuenta los requerimientos, el valor del paso experimental a utilizar para fines prácticos será, ($p = 1\text{mm} = 0.001\text{m}$), con este dato se ingresa en la tabla del Anexo 1, y se selecciona el correspondiente diámetro mayor o nominal:

$$d = 6[\text{mm}] = 0,006[\text{m}]$$

Por lo tanto, el diámetro medio o de paso será:

$$D_p = 0.006 - 0.649 519 * (0.001)$$

$$D_p = 5.35[\text{mm}] = 0.00535[\text{m}]$$

f : Coeficiente de fricción; dado que se trabajará con acero bien lubricado, entonces tenemos que el coeficiente $f = 0.15$, dato obtenido de (MOTT, 2009).

φ : Ángulo de rosca [$^\circ$]; para una rosca Acme, el valor $2\varphi = 29^\circ$, en consecuencia $\varphi = 14.5^\circ$ como lo menciona (MOTT, 2009).

λ : Ángulo de avance o de inclinación [$^\circ$];

El ángulo de avance se puede obtener mediante la ecuación [4].

$$\tan \lambda = \frac{L}{(\pi D_p)}$$

Donde:

L : Es el avance y es igual al paso [m];

πD_p : Es la circunferencia de línea de paso del tornillo

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{0,001}{(\pi * 0,00535)}$$

$$\lambda = 3.405^\circ$$

Para identificar si la rosca es autoasegurante se aplica la ecuación [5]:

$$f > \tan \lambda$$

$$0.15 > \tan 3.405^\circ$$

$$0.15 > 0.05949$$

Por lo tanto, la rosca se considera “autoasegurante”.

Entonces el par torsor que se necesita para mover una carga “rosca arriba” en el tornillo de potencia (D-D’) es:

$$T_{u2} = \frac{4,792 * 0.00535}{2} \left[\frac{(\cos 14.5^\circ * \tan 3.405^\circ + 0.15)}{(\cos 14.5^\circ - 0.15 * \tan 3.405^\circ)} \right]$$

$$T_{u2} = 0.002774 [Nm]$$

Finalmente, el par torsor que se necesita para mover una carga “rosca abajo” en un tornillo de potencia (D-D’) es:

$$T_{d2} = \frac{4,792 * 0.00535}{2} \left[\frac{(0.15 - \cos 14.5^\circ * \tan 3.405^\circ)}{(\cos 14.5^\circ + 0.15 * \tan 3.405^\circ)} \right]$$

$$T_{d2} = 0.001212 [Nm]$$

La eficiencia del tornillo de potencia (D-D’) aplicando la ecuación [6].

$$e = \frac{T'}{T_u} = \frac{F_{D-D'} * L}{2\pi * T_u}$$

$$e = \frac{4.792 * 0.001}{2\pi * 0.002774}$$

$$e = 0.274$$

Por lo tanto, es eficiente.

El esfuerzo cortante nominal en torsión del cuerpo del tornillo se expresa con la ecuación [7].

$$\tau_{D-D'} = \frac{16T_{u2}}{\pi D_r^3}$$

Donde:

T_{u2} : Es el par de torsión en el exterior del tornillo (D-D’) rosca arriba;

$$T_{u2} = 0.002774 [Nm]$$

D_r : Es el diámetro menor se determina mediante la ecuación [8]:

$$D_r = d - 1.226869p$$

Donde:

d : Diámetro mayor o nominal [m];

p : Paso o avance $L = p$ [m];

El diámetro menor es:

$$D_r = 0.006 - 1.226869 * (0.001)$$

$$D_r = 4.773[mm] = 0.00477[m]$$

Se toma en cuenta que, debido al momento de torsión en el exterior del cuerpo del tornillo (D-D') rosca arriba, es:

$$\tau_{D-D'} = \frac{16 * (0.002774)}{\pi(0.00477)^3}$$

$$\tau_{D-D'} = 130.173 * 10^3[Pa] = 0.130[MPa]$$

En la ecuación [9], se presenta el esfuerzo de tensión nominal en torsión del cuerpo del tornillo producido por la carga F .

$$\sigma_{D-D'} = \frac{4F_{D-D'}}{\pi D_r^2}$$

$$\sigma_{D-D'} = \frac{4(4.792)}{\pi(0.00477)^2}$$

$$\sigma_{D-D'} = 268.16 * 10^3[Pa] = 0.268[MPa]$$

Se considera la ecuación [10].

$$A_t = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D_r + D_p}{2} \right)^2$$

Donde:

A_t : Área del esfuerzo a tensión [m^2];

D_r : Es el diámetro menor, se determina mediante; $D_r = 0.00477[m]$

D_p : Diámetro medio o de paso; $D_p = 0.00535[m]$

$$A_t = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0.00477 + 0.00535}{2} \right)^2$$

$$A_t = 20.1 * 10^{-6}[m^2]$$

Para ingresar en la tabla del Anexo 2, es necesario transformar el área del esfuerzo a tensión en [mm^2].

Entonces:

$$A_t = 20.1[mm^2]$$

Por lo tanto, el diámetro $d = 0,006[m]$ que se eligió es igual a la que se calcula por medio de la ecuación [10].

Para calcular el diámetro mínimo requerido " d_{min} ", se considera la ecuación [11]

$$\sigma_d \leq \frac{S_y}{N} - \frac{1}{N} \left(\frac{S_y l}{2\pi k} \right)^2 \frac{1}{C_c E}$$

Donde:

σ_d : Esfuerzo de diseño admisible se determina mediante la ecuación [12]

$$\sigma_d = \frac{P_{crit}}{A}$$

P_{crit} : Carga crítica aplicada considerando el factor de seguridad para el diseño de la ecuación [13]:

$$P_{crit} = F_{D-D'} * N$$

N : Factor de diseño;

Se consideró un factor de diseño de 2.5 tomando en cuenta que la estructura es de tipo estática y con cargas posiblemente inciertas, esto debido a que los pesos de las botellas que se coloquen pueden variar por su tamaño y forma.

$F_{D-D'}$: Fuerza a mover o aplicada; $F_{D-D'} = 4,792 [N]$

l : Longitud del tornillo de potencia [m];

Al tomar en cuenta los requerimientos, el máx. Diámetro de corte es igual a 0.09[m] o 9 [cm], por lo que se decidió utilizar un tornillo de potencia $D - D'$ con una longitud superior a este valor e igual a 0.122 [m] ó 12.2 [cm]

A : Área del esfuerzo de diseño al aplicar una carga crítica en un tornillo de potencia [m^2];

El área del esfuerzo de diseño se calcula con la ecuación [14]

$$A = \frac{\pi d_{min}^2}{4}$$

En el mercado ecuatoriano es fácil encontrar barras de acero SS304 o AISI 304 además de las prestaciones que ofrece como se mencionó.

La resistencia a la fluencia que se utiliza:

$$S_y = 241 * 10^6 [Pa]$$

k : Radio de giro para sección circular [m], haciendo uso de la ecuación [15]:

$$k = \frac{d_{min}}{4}$$

C_c : Constante de Columna;

Se seleccionó el valor de $C_c = 1$, que es el valor convencional a utilizar en el diseño de tornillos de potencia, esto porque cumple con la condición de articulado en ambos extremos, lo cual permite la rotación del tornillo (C-C').

E : Módulo de Young o elasticidad $E = 207 * 10^9 [Pa]$;

Entonces:

$$\left(\frac{F_{D-D'} * N}{A} \right) \leq S_y - \left(\frac{S_y l}{2\pi k} \right)^2 \frac{1}{CE}$$

Al reemplazar valores se tiene que:

$$\left(\frac{4.792 * 2.5}{\frac{\pi * d_{min}^2}{4}} \right) \leq 241 * 10^6 - \left(\frac{241 * 10^6 * 0.122}{2 * \pi * \frac{d_{min}}{4}} \right)^2 * \frac{1}{1 * 207 * 10^9}$$

$$47,92 \leq 757.124 * 10^6 * d_{min}^2 - 5,318 * 10^3$$

$$\pm \sqrt{\frac{47,92 + (5,318 * 10^3)}{757,124 * 10^6}} \leq d_{min}$$

$$d_{min} \geq 0,00266[m]$$

Como se ha mencionado antes, en el mercado ecuatoriano no se encuentran tornillos de potencia con diámetros de $2,66[mm]$, por lo cual se ha decidido colocar el tornillo de potencia con diámetro igual a $8[mm]$ de acero inoxidable del catálogo de (BOHMAN Ivan, 2021) que es vendido por metros lo cual facilita la adquisición y hace más amigable el costo, ver Anexo 4.

Se calculó el espesor de la pared del cilindro con la ecuación [22] y utilizando un factor de diseño de 2.5 como se mencionó:

$$\sigma' \leq \frac{S_y}{N}$$

$$\frac{F}{\frac{\pi d_{min}^2 \text{ tornillo}}{4}} \leq \frac{241 * 10^6 [Pa]}{2.5}$$

$$d_{min \text{ tornillo}} \geq \sqrt{\frac{(2.5)(4)(4.792)}{(241 * 10^6)(\pi)}}$$

$$d_{\min \text{ tornillo}} \geq 0.000252 [m]$$

El diámetro mínimo necesario del tornillo de potencia D-D' es de 0.000252 [m], por lo tanto, el tornillo de potencia de 8[mm] que se seleccionó es el adecuado para soportar el sistema corte-botella.

2.4.1.5. SELECCIÓN DEL EJE GUÍA (D-D')

Los ejes guía D-D' no soportan carga, como se muestra en la Figura 27, solo se usan para direccionar el recorrido al ajustar la altura de cada botella, por lo tanto, se usaron del mismo diámetro que los ejes C-C'.

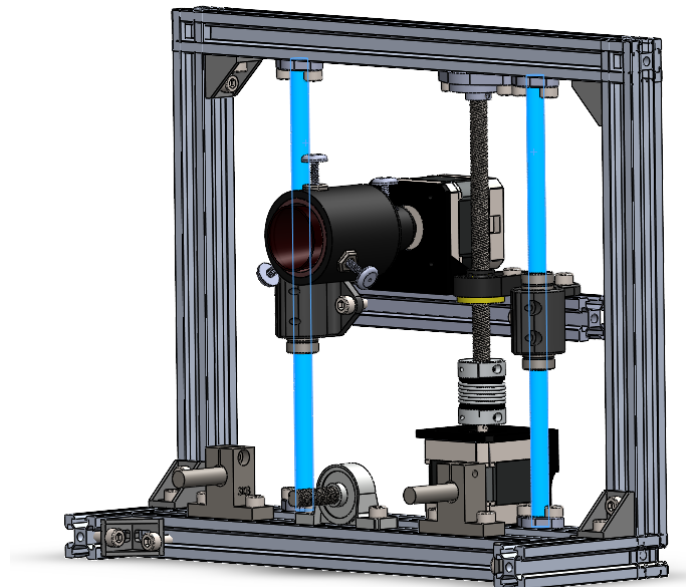


Figura 27. Ejes guía (D-D').

2.4.1.6. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ELEMENTOS IMPRESOS

Puesto que no existen en el mercado elementos normalizados para anclar los diferentes componentes a la bancada, fue necesario diseñarlos en un software y posteriormente imprimirlos en 3D. Existen varios materiales de impresión en el mercado, pero el disponible, con mejores características mecánicas, es el ABS. En la Tabla 6 se muestra como este material presenta una mayor resistencia a la deformación por temperatura que el resto de materiales y en este proyecto es una característica fundamental, debido a la radiación que puede experimentar a causa de la niquelina.

Tabla 6. Comparación de materiales para impresión 3D.

Material	Resistencia a la tracción	Resistencia a la flexión	Módulo de flexión	Dureza superficial	Temperatura de reblandecimiento	Temperatura de fusión
PLA	65.5 MPa	126 MPa	4357 MPa	70 MPa	85 °C	-
ABS	42 MPa	68 MPa	2255 MPa	110 Rockwel	105 °C	200 °C
TPU	-	-	-	98 Shore	90 °C	215 °C
PETG	50 MPa	69 MPa	2100 MPa	108 Rockwel	85 °C	-

(Blanco, 2020)

2.4.1.7. SOPORTE DE EJE GUÍA (D-D'-Y1)

Este componente mostrado en la Figura 28 soporta toda la carga provocada por el peso del motor y una reacción causada por la botella que se encuentre anclada en dicho momento.

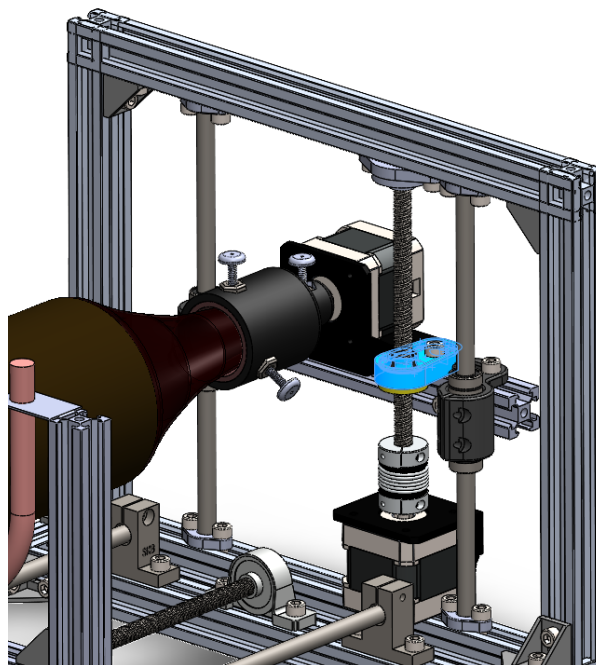


Figura 28. Soporte de eje guía (D-D'-Y1).

Para comprobar que el diseño se encuentre realizado de forma correcta, se aplicó el material ABS, se aplicaron las respectivas cargas, sujeciones y se simuló en SolidWorks. En la Figura 29 se observa que la deflexión máxima es de 0.026 mm, la cual es adecuada.

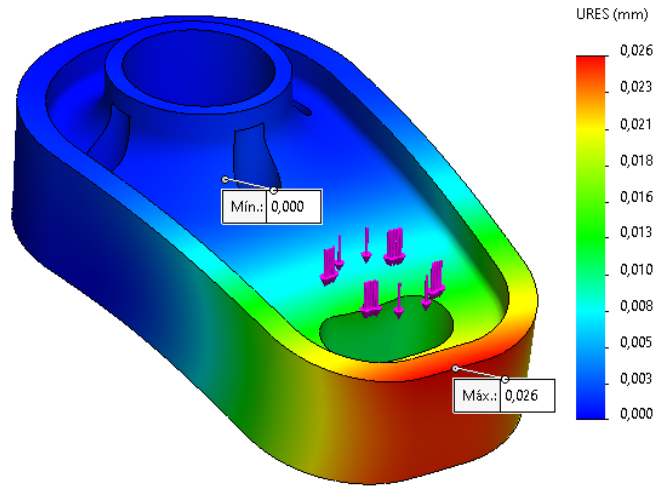


Figura 29. Deflexión máxima en soporte de eje guía (D-D'-Y1).

Se realizó el análisis de factor de seguridad, obteniendo un FDS mínimo de 4.6, el cual es mayor que el factor de diseño de 2.5 y se observa en la Figura 30.

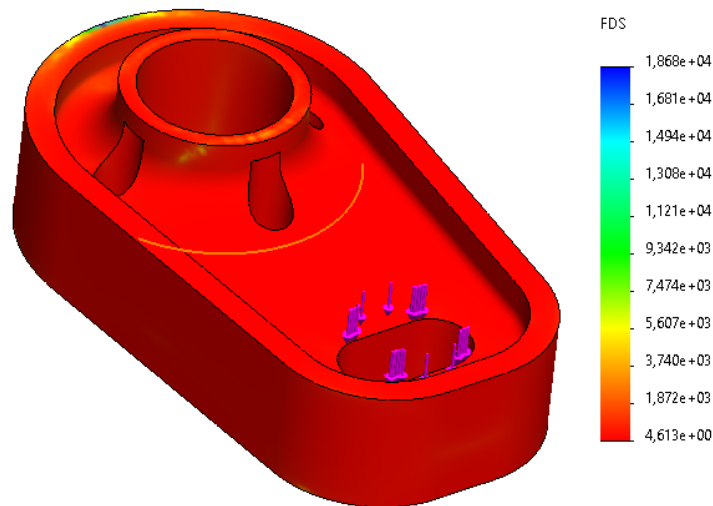


Figura 30. Factor de seguridad en soporte de eje guía (D-D'-Y1).

2.4.1.8. MORDAZA

La mordaza mostrada en la Figura 31 sujeta la botella a cortar, por lo que se ha simulado aplicando la carga de la botella e 1 [L], con la que se ha obtenido una deflexión máxima de 0.001 [mm], la cual es adecuada.

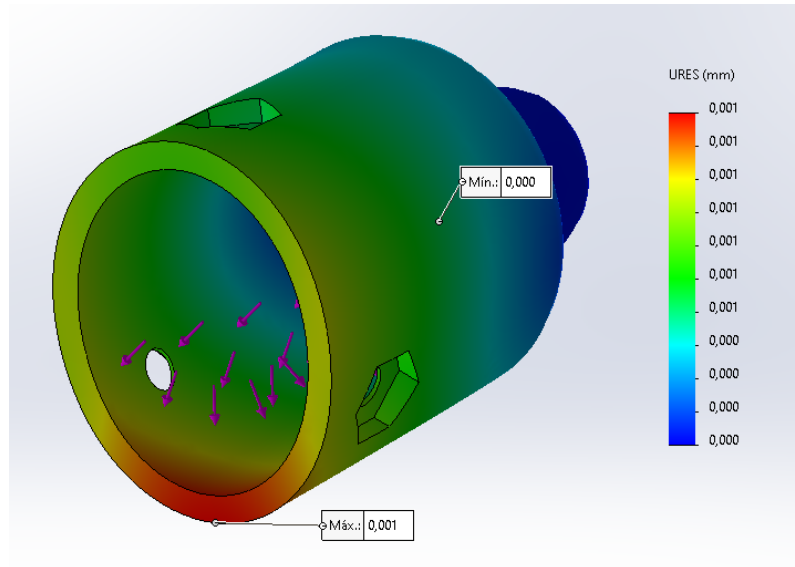


Figura 31. Deflexión en mordaza.

El factor de seguridad se observa en la Figura 32, obteniendo FDS de 3, mayor al factor de diseño de 2.5.

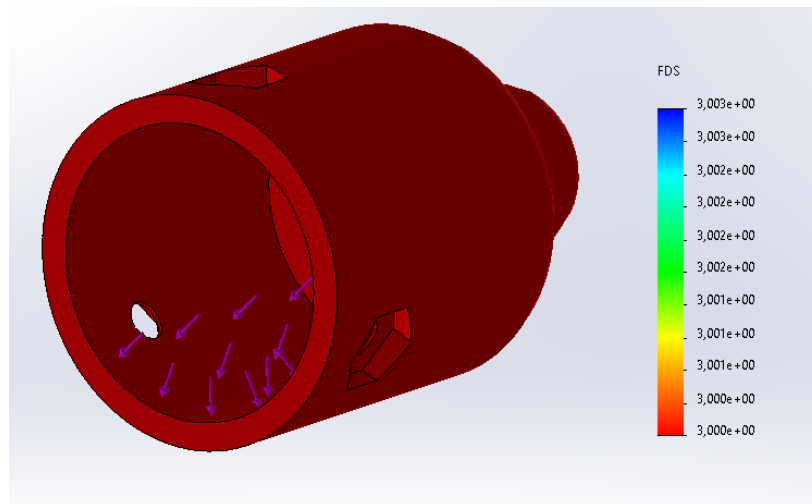


Figura 32. Factor de seguridad en mordaza.

2.4.1.9. SELECCIÓN DEL MOTOR (C-C')

Mediante los cálculos de diseño del tornillo de potencia C-C' se ha encontrado el torque necesario para mover el carro, en este caso es de $T = 0.006049 [Nm]$ con unas revoluciones máximas de $60 [rpm]$. Por lo tanto, la potencia necesaria del motor se halla a partir de la ecuación [31].

$$P = T * \omega \quad [31]$$

Donde:

P : Potencia [W]

T : Torque [Nm]

ω : Velocidad angular [rad/seg]

Es necesario transformar de [rpm] a [rad/seg]

$$\frac{60[\text{rev}]}{[\text{min}]} * \frac{2 * \pi * [\text{rad}]}{1 [\text{rev}]} * \frac{1[\text{min}]}{60[\text{seg}]} = 6.28[\text{rad/seg}]$$

$$P = 0.006049 [\text{Nm}] * 6.28[\text{rad/seg}]$$

$$P = 0.73[\text{W}]$$

Puesto que es necesario un control preciso del movimiento y por disponibilidad del mercado, se ha seleccionado un motor a pasos Nema 17 17hs3001 20b, cuyas características principales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Características de motor Nema 17.

Características	Valores
Corriente nominal	1.2 A (por bobina)
Voltaje nominal	2V
Torque	0.4 Nm
Angulo del paso	1.8°
Masa	0.25Kg
Inercia del rotor	57 g ² cm

(ROBOTDIGG, 2021)

2.4.1.10. SELECCIÓN DEL MOTOR (D-D')

Mediante los cálculos de diseño del tornillo de potencia D-D' se ha encontrado el torque necesario para mover el carro, en este caso es de $T = 0.002774 [\text{Nm}]$ con unas revoluciones máximas de $60[\text{rpm}] = 6.28[\text{rad/seg}]$. Se utiliza la ecuación [31]

$$P = T * \omega \quad [31]$$

$$P = 0.002774 [\text{Nm}] * 6.28[\text{rad/seg}]$$

$$P = 0.01742[\text{W}]$$

Al igual que el caso anterior y por disponibilidad del mercado, se ha seleccionado el motor a pasos Nema 17 17hs3001 20b.

2.4.1.11. SELECCIÓN DEL MOTOR PARA GIRO DE BOTELLA (M)

Experimentalmente, se ha hallado la fuerza necesaria para mover la botella de un litro, la cual es de 3.14 [N] aplicada en el extremo del tornillo de la mordaza. En la Figura 33 se muestra la locación de la fuerza y la distancia al centro.

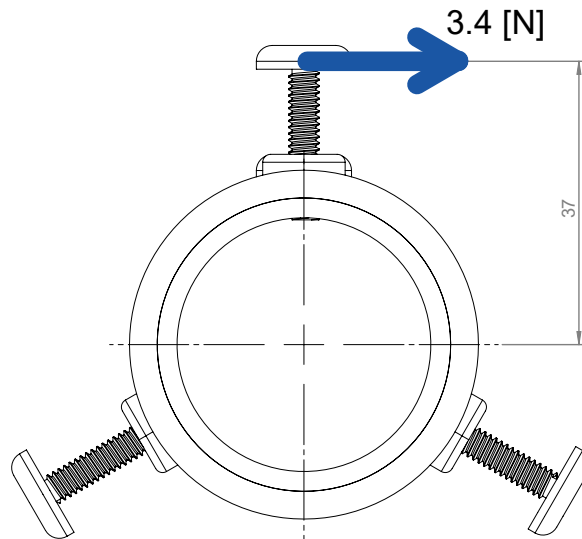


Figura 33. Fuerza necesaria en mordaza.

Para hallar el torque necesario se utiliza la ecuación [32].

$$T = F * d \quad [32]$$

Donde:

T : Torque [Nm]

F : Fuerza [N]

d : Distancia [m]

$$T = 3.4[N] * 0.037[m]$$

$$T = 0.1258[Nm]$$

En otras máquinas de similares características, el motor trabaja a aproximadamente 30 [rpm], valor que necesita ser transformado a [rad/seg].

$$\frac{30[rev]}{[min]} * \frac{2 * \pi * [rad]}{1 [rev]} * \frac{1[min]}{60[seg]} = 3.14[rad/seg]$$

La potencia se halla a partir de la ecuación [31].

$$P = 0.1258[Nm] * 3.14[rad/seg]$$

$$P = 0.39[Nm]$$

Se ha seleccionado el motorreductor IT-25GA370 de 30 [rpm], sus características principales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Características del motorreductor.

Características	Valores
Velocidad	30 [rpm]
Corriente	0.5 [A]
Torque	3.2 [kg cm]
Potencia	1 [W]

(ITO MOTOR, 2014)

2.4.1.12. Diseño de la estructura

Ya que existen varios componentes que necesitan de pequeños ajustes para su correcto funcionamiento, como lo son, los ejes guía, la posición de motores, niquelina, entre otros, se ha seleccionado como estructura el perfil de aluminio 6063 tipo V 20x20, sus dimensiones se muestran en la Figura 34, el cual permite una gran flexibilidad a la hora del ensamblaje.

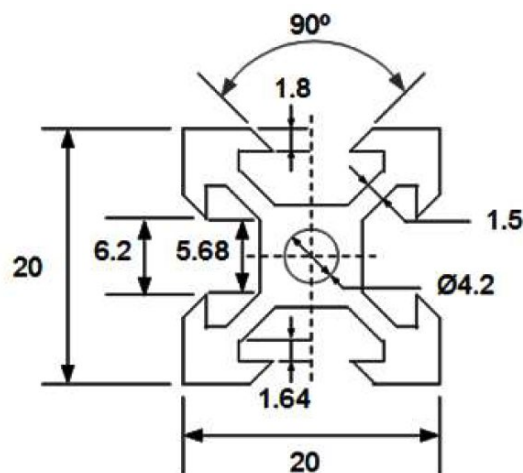


Figura 34. Perfil de aluminio con riel tipo V 20x20
(PERFILES CNC, 2021)

Las cargas aplicadas a la estructura son mínimas, por lo que en la simulación se ha hecho con el propio peso de la estructura, la cual se puede observar en la Figura 35, obteniendo una deflexión máxima de 0.001 [mm], que es aceptable.

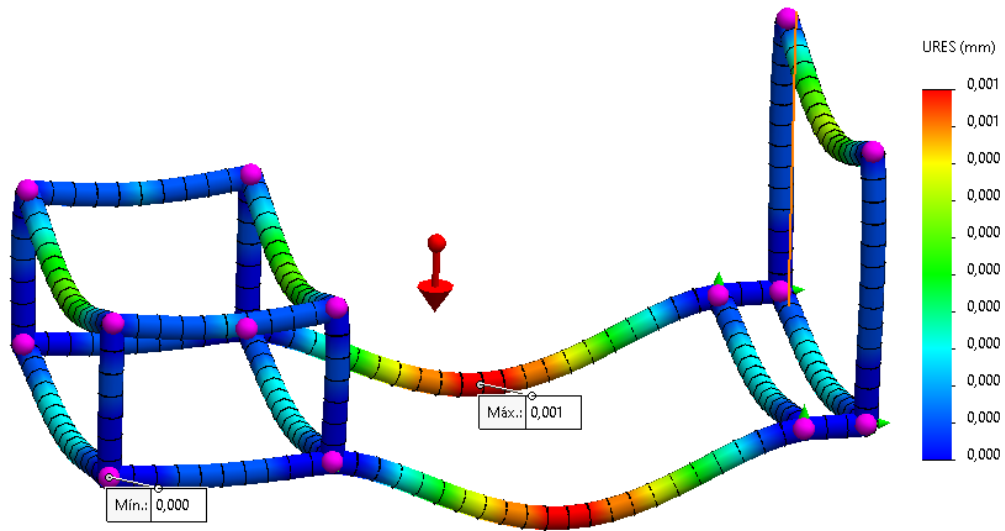


Figura 35. Deflexión máxima en la estructura.

El factor de seguridad obtenido se observa en la Figura 36 con un valor de 542.6, este valor se encuentra muy por encima del factor de diseño de 2.5.

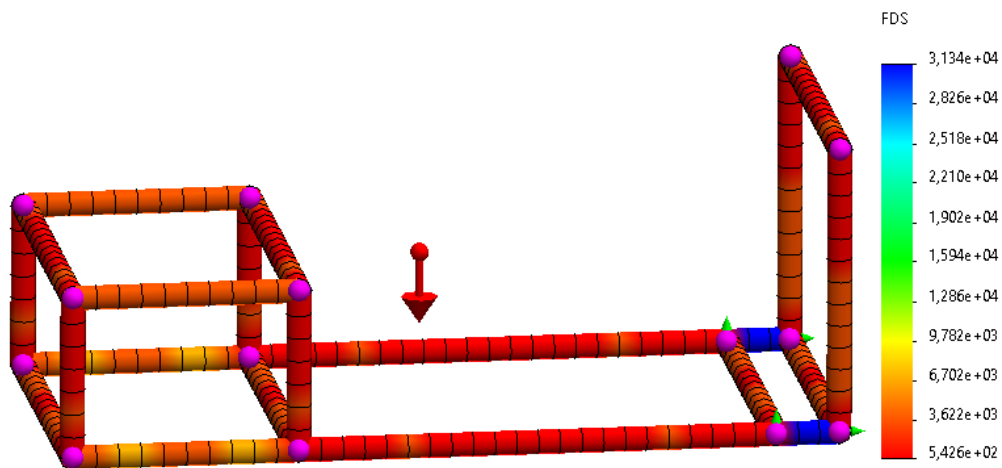


Figura 36. Factor de seguridad en la estructura.

2.4.2. DISEÑO ELÉCTRICO

El proyecto cuenta con dos circuitos, uno de mando, el cual contiene la parte electrónica y de potencia, en donde se encuentran los motores y la niquelina.

2.4.2.1. CIRCUITO DE MANDO

El circuito de mando se muestra en la Figura 37 y consta de un interruptor automático magneto-térmico, el cual protege contra cortocircuitos y sobrecargas, a continuación, se encuentra un pulsador seta NC, el cual se acciona en caso de una emergencia, después un selector encargado de prender o apagar el sistema. Para el funcionamiento de los componentes es necesario transformar la energía eléctrica de 110 [V] AC a 12 [V] DC, por lo que se utiliza una fuente de poder, la que alimenta dos motores a pasos, un motor DC de imanes permanentes y el controlador de temperatura. A continuación, se transforman los 12 [V] a 5 [V] para alimentar el controlador principal, la pantalla HMI y los finales de carrera.

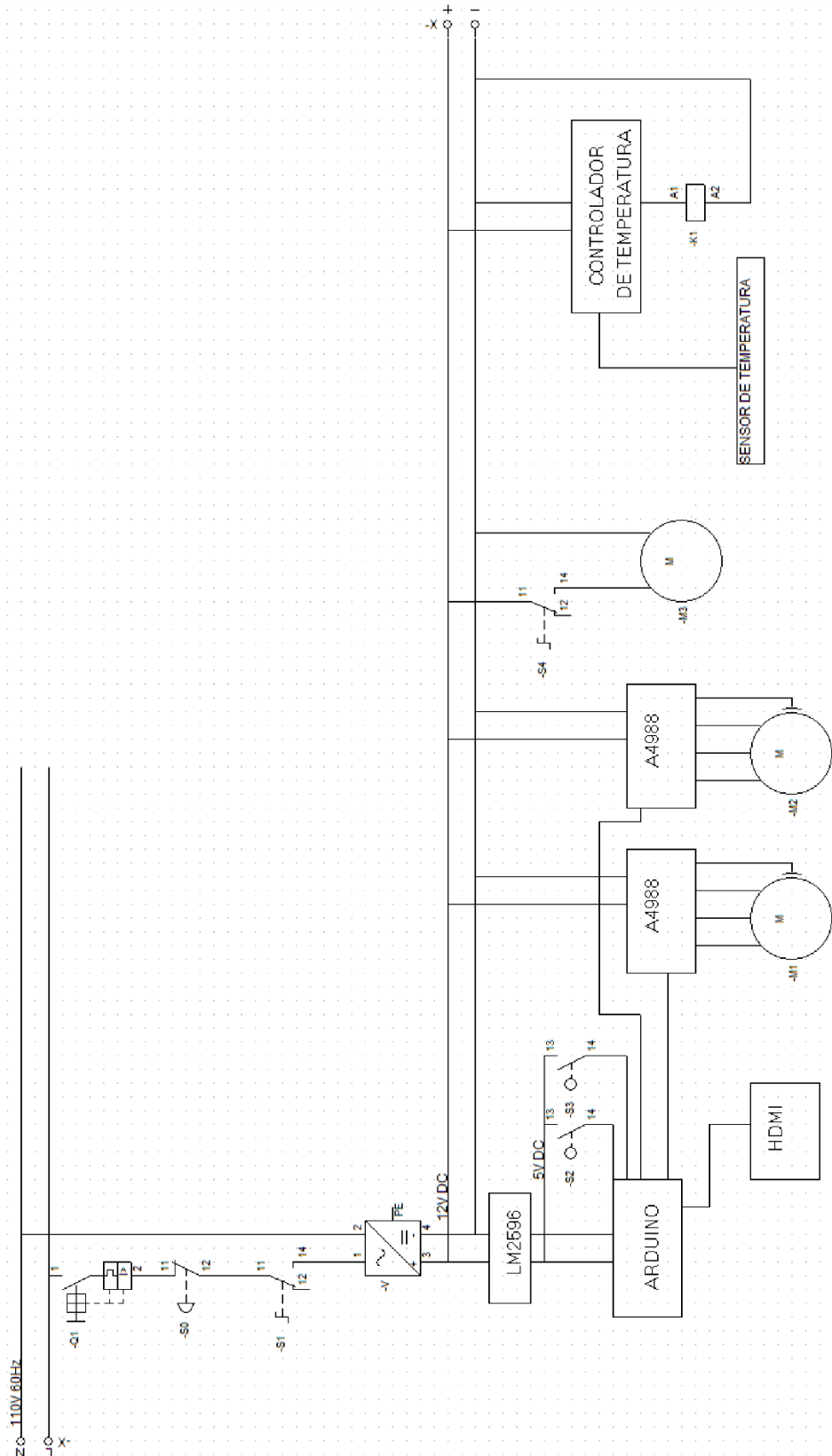


Figura 37. Circuito de mando.

El diagrama de conexiones se muestra en la Figura 38.

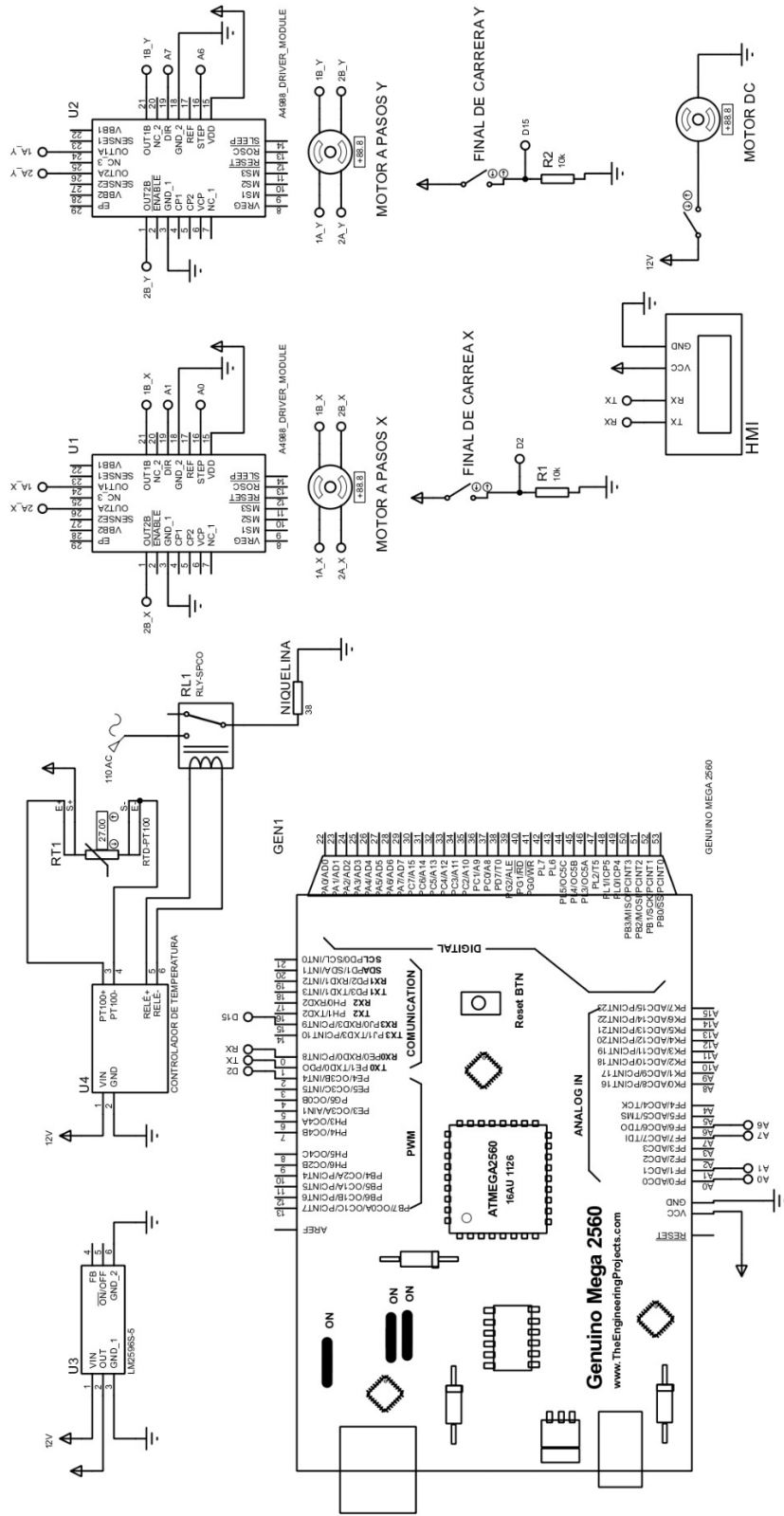


Figura 38. Circuito electrónico.

Cada componente del circuito se selecciona y se describe a continuación.

El breaker se seleccionará en un apartado posterior.

Por seguridad del operario se ha seleccionado un pulsador seta NC, que se observa en la Figura 39 y las características principales del mismo se muestran en la Tabla 9.



Figura 39. Pulsador seta NC
(CHINT, 2020).

El pulsador que se muestra en la Figura 39 se lo conoce como pulsador normalmente cerrado y necesita una rotación para ser activado razón por la que se le dice de tipo zeta y funciona como paro de emergencia.

Tabla 9. Características del pulsador seta NC

Características	Valores
Tensiones nominales AC	120[V] 240[V] 415[V]
Corrientes nominales AC	6[A] 3[A] 1.9[A]
Grado de protección	IP40
Temperatura de funcionamiento	-5[°C] ~ 40[°C]
Pulsaciones soportadas	1 millón

(CHINT, 2020).

Para activar el circuito se ha seleccionado un selector de dos posiciones, como el de la Figura 40, al ser de la misma marca y calidad, sus características principales son las mismas que las de la Tabla 9.



Figura 40. Selector de dos posiciones
(CHINT, 2020).

El selector de dos posiciones que se muestra en la Figura 40 permite encender y apagar la máquina.

Debido a que el consumo estimado de los componentes electrónicos y actuadores será de aproximadamente 3A, se ha seleccionado una fuente de poder de 5 [A] a 12 [V]. Se muestra en la Figura 41, sus características principales se detallan en la Tabla 10.



Figura 41. Fuente de alimentación
(DELTA, 2021)

Como se muestra en la Figura 41, la fuente de alimentación aporta otras salidas tanto de voltaje como de corriente, permitiendo así su combinación y versatilidad ya que es necesario más de una salida, como se aprecia en figuras siguientes donde se explica el amperaje y voltaje al que funciona cada una de ellas.

Tabla 10. Características de fuente de alimentación

Características	Valores
Tensión de alimentación	120[V]
Voltaje de salida	12[V]
Carga máxima	5[A]
Potencia entregada	60[W]
Salidas	2

(DELTA, 2021)

Ya que el controlador y sus componentes asociados funcionan a una tensión de 5 [V] es necesario utilizar un elemento que reduzca los 12 [V] de la fuente a los 5 [V] de funcionamiento. Se ha seleccionado un regulador de voltaje con un valor de salida de entre 1.5 [V] y 35 [V], concretamente el LM2596, el que se muestra en la Figura 42 y sus características principales están en la Tabla 11.



Figura 42. Regulador de voltaje
(Ardobot, 2020)

Como se aprecia en la Figura 42, el regulador de voltaje se calibra de forma analógica, por lo que es necesario utilizar un multímetro y un desarmador punta plana para conseguir que el potenciómetro regule al voltaje deseado.

Tabla 11. Características de regulador de voltaje

Características	Valores
Voltaje de entrada	4.5-40[V]
Voltaje de salida	1.5-35[V]
Corriente de salida máxima	3[A]
Frecuencia de switching	150[KHz]

(Ardobot, 2020)

El proyecto está basado en el funcionamiento de una CNC, por lo tanto, se ha escogido como controlador un Arduino Mega, ya que para el mismo existen shields especializadas en controlar motores a pasos de manera sencilla. El microcontrolador se muestra en la Figura 43 y sus características principales en la Tabla 12.

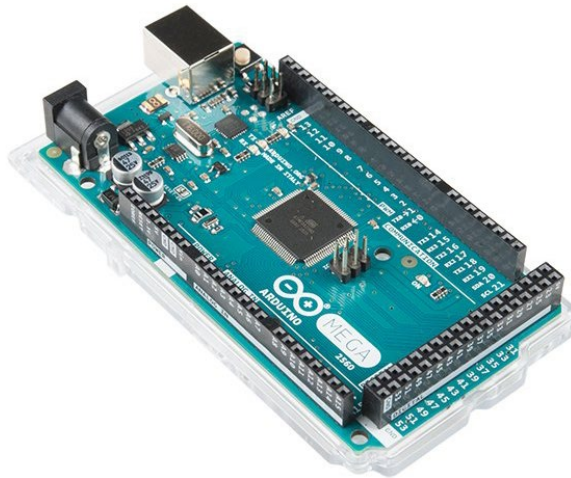


Figura 43. Microcontrolador ATmega2560
(Arduino, 2019)

La Figura 43 muestra un Arduino Mega original, en el mercado ecuatoriano existen versiones genéricas que se adquieren por menor precio y con iguales prestaciones.

Tabla 12. Características de Arduino Mega

Características	Valores
Modelo	ATmega2560
Voltaje de entrada	7-12[V]
Pines digitales E/S	40
Salidas PWM	14
Entradas análogas	16
Velocidad de reloj	16[MHz]

(Arduino, 2019)

Como se mencionó anteriormente, es necesaria una shield que nos permita controlar los motores a pasos, en este caso se ha seleccionado la Ramps 1.6, ya que puede controlar más potencia que los anteriores modelos y esto contribuirá a una mayor durabilidad. En la Figura 44 se muestra la shield con sus complementos.

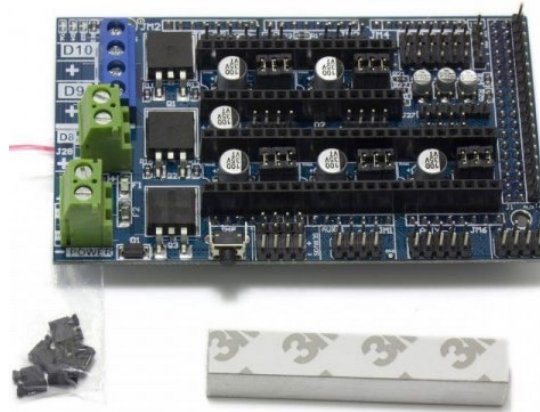


Figura 44. Shield Ramps 1.6
(Createc3D, 2021)

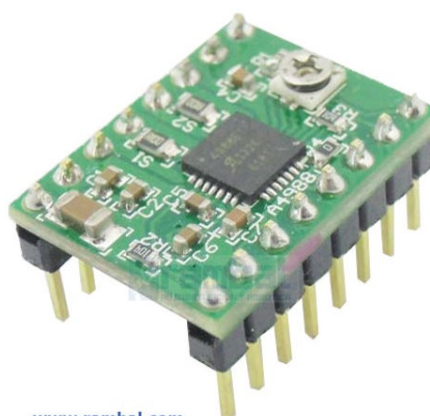
En la Tabla 13 se encuentran las características principales del Shield Ramps 1.6.

Tabla 13. Características de Ramps 1.6

Características	Valores
Modelo	Ramps 1.6
Potencia	270[W]
Capacidad de conexión	5 motores a pasos
Protección contra	Cortocircuitos

(Createc3D, 2021)

El driver para los motores a pasos seleccionado es el A4988, porque el consumo máximo que admite es de 2 [A] y la corriente nominal de los motores es de 1.2 [A] por lo que es adecuado. Se muestra en la Figura 45.



www.rambal.com

Figura 45. Driver A4988
(RAMBAL, 2014)

Las características principales del Driver A4988 se aprecian en la Tabla 14.

Tabla 14. Características de driver A4988

Características	Valores
Corriente máxima sin disipador	1.3[A]
Corriente máxima con disipador	2[A]
Voltaje de alimentación	3-5[V]
Protección contra	Cortocircuitos

(RAMBAL, 2014)

Para la interacción con el usuario se ha seleccionado una pantalla Nextion modelo NX3224T028 de 2.8", ya que al ser táctil se pueden incluir los menús y distintos botones que incluyen los mismos, ahorrando espacio y obteniendo una mejor presentación y visualización frente al operario. En la Figura 46 se la muestra.



Figura 46. Pantalla HMI Nextion NX3224T028
(NEXTION, 2017)

En la Tabla 15 se detallan algunas de las características principales de la pantalla Nextion NX3224T028.

Tabla 15. Características de pantalla Nextion

Características	Valores
Resolución	320x240[Píxeles]
Tipo de toque	resistivo
Iluminación de fondo	LED
Vida útil promedio	>30000[h]
Peso	29.5[g]
Voltaje de alimentación	4.5-7[V]
Temperatura de trabajo	-20 y 70 [°C]

(NEXTION, 2017)

Es necesario controlar la temperatura de la niquelina, por lo que se optó por un termostato digital, concretamente el modelo W1209 dedicado, el cual se muestra en la Figura 47.

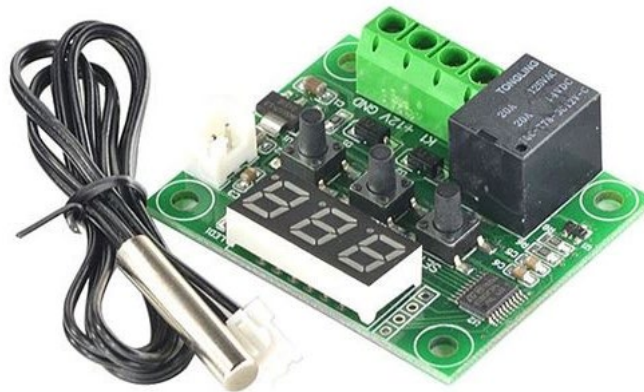


Figura 47. Termostato digital W1209 dedicado
(MVelectronica, 2021)

En la Tabla 16 se aprecian las prestaciones principales por las que se seleccionó este termostato.

Tabla 16. Características de termostato W1209 dedicado

Características	Valores
Tensión de alimentación	12[V]
Tipo de sensor	Ntc
Tensión máxima de salida	220[V]AC
Corriente máxima de salida	4[A]

(MVelectronica, 2021)

En los extremos del recorrido de los motores necesitan parar para que no sigan trabajando fuera de su rango y exista una sobre corriente, para ello se emplean finales de carrera, en este caso se ha seleccionado uno mecánico especializado para máquinas CNC.

Se puede observar en la Figura 48 el modelo del final de carrera que se utilizó.

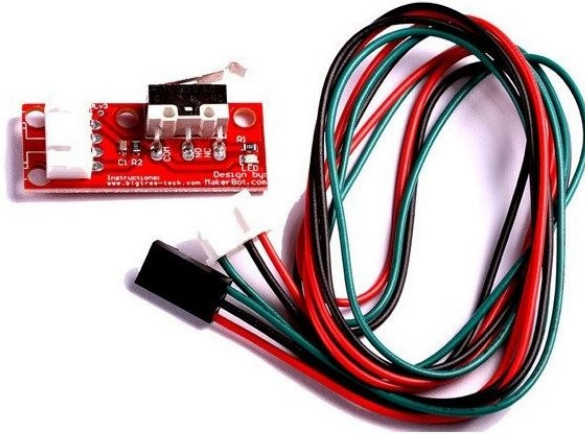


Figura 48. Final de carrera mecánico
(Solectro, 2021)

Las características principales del final de carrera se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17. Características de final de carrera

Características	Valores
Tensión soportada	125[V] AC
Corriente soportada	1[A]
Longitud de cable	0.7[m]

(Solectro, 2021).

2.4.2.2. CIRCUITO DE FUERZA

El circuito de fuerza consta de un breaker que lo protege contra sobrecargas y cortocircuitos, después se encuentra el contacto normalmente abierto del relé del controlador de temperatura, el que se encarga de activar y desactivar la niquelina. En la Figura 49 se observa el diagrama del circuito de fuerza.

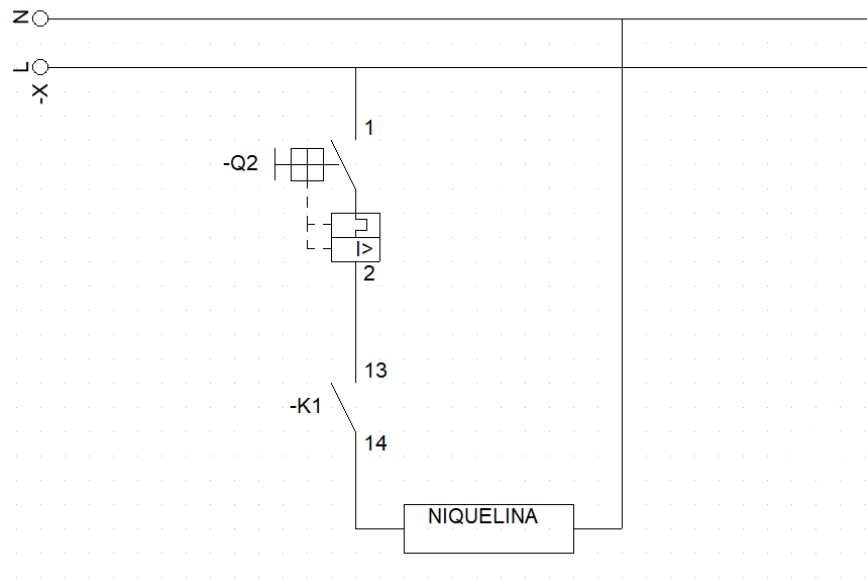


Figura 49. Circuito de fuerza.

La protección se seleccionará en un apartado posterior

En máquinas de funcionamiento similar ha observado que la potencia de las niquelinas varía entre 200 y 400 [W] y la temperatura necesaria para este propósito oscila entre los 300 y 800 [°C] por lo que se ha diseñado una resistencia de aproximadamente 400[W], la cual se observa en la Figura 50 y sus características principales se encuentran en la Tabla 18. (VERGARA, 2018)



Figura 50. Niquelina

Tabla 18. Características de niquelina.

Características	Valores
Tensión de alimentación	110[V] AC
Resistencia	34.4[Ω]
Corriente	3.2[A]
Potencia	351.7[W]

2.4.2.3. SELECCIÓN DE CABLES Y PROTECCIONES

Para determinar la sección de cables y protecciones necesarias se emplea el método de la corriente y para ello es necesario dividir las secciones de cables a analizar observadas en la Figura 51, en este caso encontramos tres, la primera es la sección que alimenta a toda la máquina, la segunda al circuito de mando y la tercera al circuito de potencia.

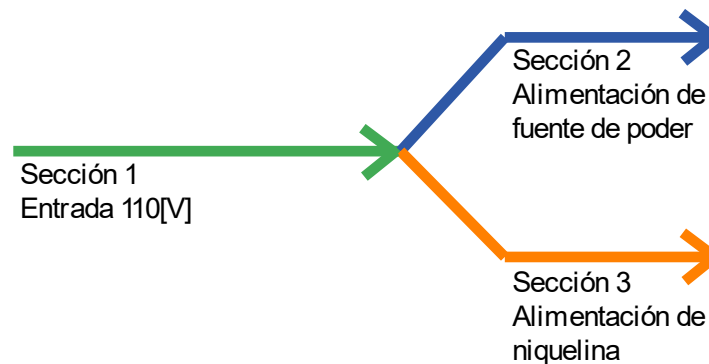


Figura 51. Secciones de cables a analizar.

Primero se analizan las secciones dos y tres, ya que por la sección uno pasa las dos corrientes y se analiza al final.

2.4.2.3.1. Análisis de la sección número dos

El segmento número dos se encuentra alimentando la fuente de poder de 60[W]. La intensidad de esta sección para un sistema monofásico se halla mediante la ecuación [33].

$$I = \frac{P}{V * FP} \quad [33]$$

Donde:

P : Potencia [W]

V : Voltaje [V]

FP : Factor de potencia = 0.65 (Schneider Electric, 2021)

$$I = \frac{60[W]}{110[V] * 0.65}$$

$$I = 0.84[A]$$

Para hallar la intensidad máxima se utiliza la ecuación [34].

$$I_{max} = I * K_S * K_E \quad [34]$$

Donde:

I_{max} : Intensidad máxima [A]

K_S : Coeficiente de simultaneidad, si todos los elementos se encienden a la vez

$$K_S = 1$$

K_E : Coeficiente específico. Para una fuente de alimentación $K_E = 1.73$

$$I_{max} = 0.84[A] * 1 * 1.73$$

$$I_{max} = 1.45[A]$$

Por disponibilidad se ha seleccionado un cable de AWG 16 con 1.31 [mm²] y una capacidad máxima de 20 [A] (SAB cables, 2021).

Se halla el factor de carga mediante la ecuación [35]. Este debe ser menor a 0.85.

$$F_C = \frac{I_{max}}{I_{cable}} \leq 0.85 \quad [35]$$

Donde:

F_C : Factor de carga

I_{cable} : Intensidad de cable [A]

$$F_C = \frac{1.45[A]}{20[A]}$$

$$F_C = 0.072 < 0.85$$

El factor de carga es menor a 0.85, por lo que se encuentra correctamente seleccionado.

Para la selección de la protección se ha seleccionado un breaker con una curva de disparo C, monopolar, de 3[A] y 110[V] de la marca CNC, como el de la Figura 52.



Figura 52. Breaker monopolar
(CNC ELECTRIC, 2018)

Para que toda la selección esté correcta es necesario cumplir con la siguiente condición.

$$I_{cable} > I_{protección} > I_{max}$$

$$20[A] > 3[A] > 1.45[A]$$

La condición se cumple por lo que se encuentran bien seleccionados todos los elementos.

2.4.2.3.2. Análisis de la sección número tres

La carga de la sección número tres es una niquelina de 350[W] y su intensidad fue medida, obteniendo 3.2[A]

Para obtener la intensidad máxima se usa la ecuación [34]. En este caso el coeficiente simultaneidad también es de 1 y el coeficiente específico no se ha encontrado para una carga de este tipo, por lo que se establece un factor de seguridad de 1.25 que se suele utilizar en redes de baja tensión. (EPM-UCET-NYL-GM-01, 2019)

$$I_{max} = 3.2[A] * 1 * 1.25$$

$$I_{max} = 4[A]$$

Al igual que el caso anterior, se selecciona el cable AWG 16 con una capacidad máxima de 20 [A] (SAB cables, 2021).

Se halla el factor de carga mediante la ecuación [35].

$$F_C = \frac{4[A]}{20[A]}$$

$$F_C = 0.2 < 0.85$$

El factor de carga es menor a 0.85, por lo que se encuentra correctamente seleccionado.

Para la selección de la protección se ha seleccionado un breaker con una curva de disparo C, monopolar, de 6[A] y 110[V] de la marca CNC, similar al de la sección anterior.

Se verifica la condición de selección

$$I_{cable} > I_{Protección} > I_{max}$$

$$20[A] > 6[A] > 4[A]$$

La condición se cumple por lo que se encuentran bien seleccionados todos los elementos.

2.4.2.3.3. Análisis de la sección número uno

Por esta sección circula la corriente de las dos secciones anteriores. Para determinar la corriente máxima se utiliza la ecuación [36].

$$I_{max} = K_S * (I_m * K_{Sm} + I_{otros}) \quad [36]$$

Donde:

I_m : Intensidad máxima de las secciones anteriores [A]

K_{Sm} : Coeficiente de simultaneidad de la carga máxima

I_{otros} : La suma del resto de intensidades [A]

$$I_{max} = 1 * (4[A] * 1 + 1.45[A])$$

$$I_{max} = 5.45[A]$$

El cable AWG 16 soporta hasta 20[A] por lo que es adecuado para la sección número uno.

2.4.3. LÓGICA DE PROGRAMACIÓN

En el diagrama de flujo mostrado en la Figura 53 se expone el funcionamiento del dispositivo mediante la pantalla táctil. Al inicio, dentro del menú principal, aparecen cuatro botones en pantalla: el primero, llamado “Calibración”, permite a los motores paso a paso llevar a los carros del eje X y del Y a su posición inicial; el segundo, llamando “Acerca de”, muestra en pantalla una pequeña descripción del proyecto y el nombre del autor; el tercero, llamado “Manual de usuario” muestra un código QR que lleva al manual de usuario y los detalles del proyecto realizado; el tercero, llamado “Cortar” lleva a otra página con dos botones más, uno para el corte automático y otro para el corte manual.

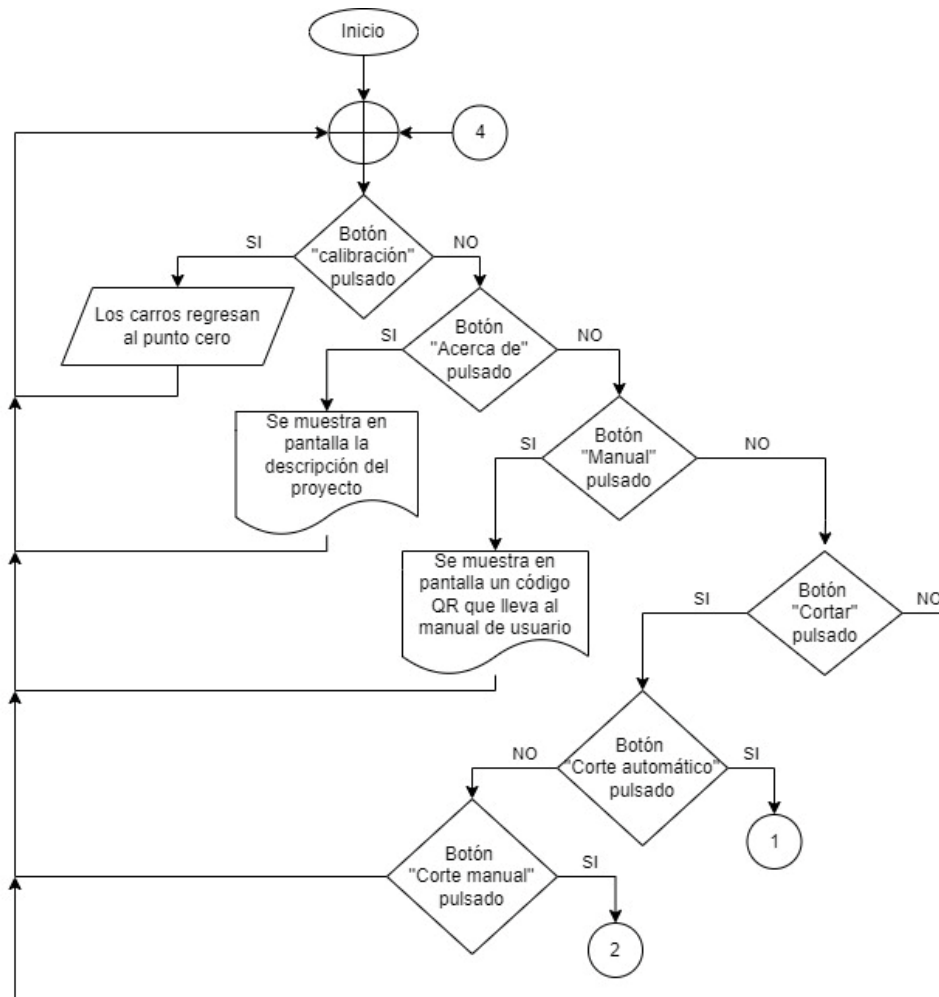


Figura 53. Diagrama de flujo del menú principal

En la Figura 54 se muestra el diagrama de flujo con el funcionamiento del corte automático, en esta pantalla se muestran tres botones: el primero llamado “Botella 1L”, el cual ajusta la máquina para el corte de esta botella en específico, una vez pulsado baja el carro del eje “Y” a la altura de la botella y

aparece un submenú con tres opciones para obtener vasos de 13 [cm], 20 [cm] y 30 [cm], el carro X se ajustará a la medida insertada; con los requerimientos fijados se enciende el motor encargado de girar la botella y la niquelina, una vez cortada la botella, se apagan los actuadores y culmina el proceso; el segundo botón abre un menú para cortar botellas de 750 [ml] a tamaños de 9 [cm], 10 [cm] y 11 [cm]; el tercer botón abre una pantalla que permite cortar botellas de 330 [ml] a tamaños de 9 [cm] y 11 [cm]. En caso de no desear ninguna opción, se puede volver al menú inicial.

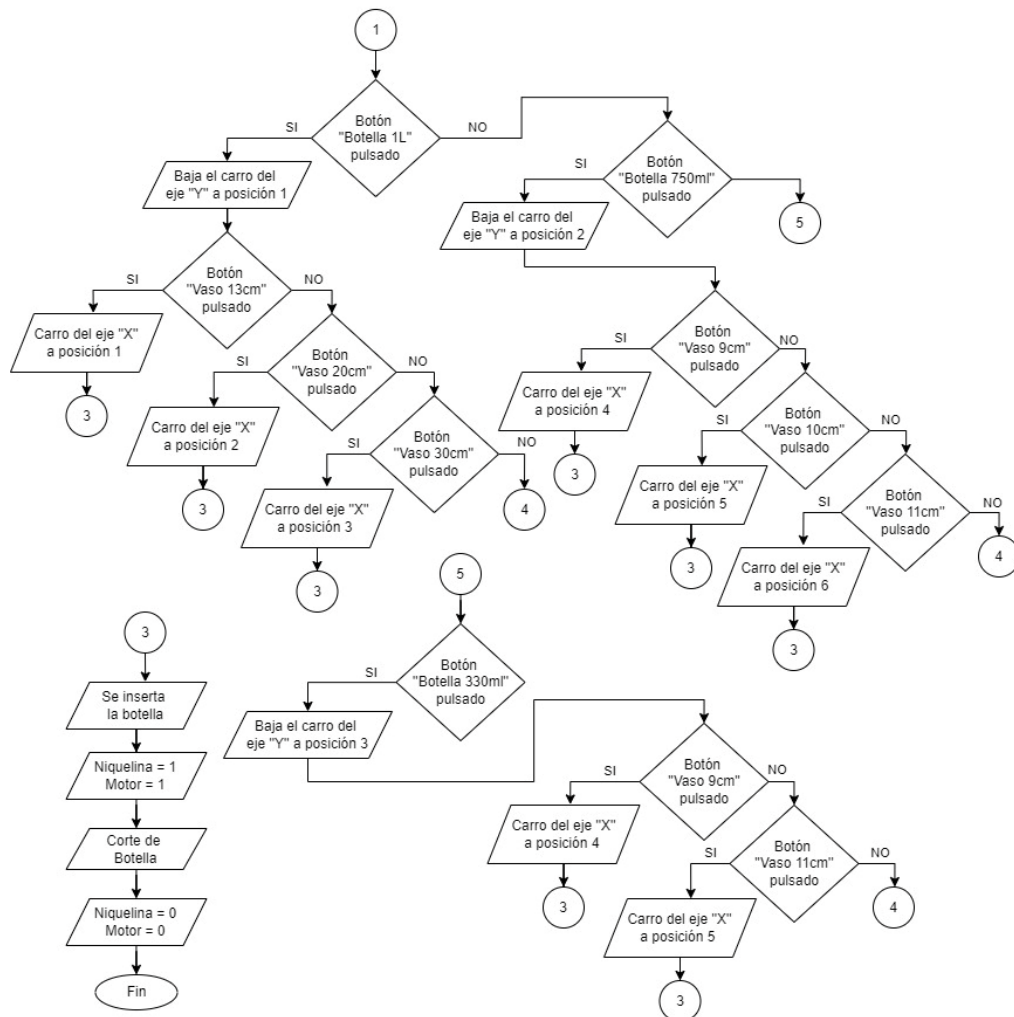


Figura 54. Diagrama del corte automático

Para el corte manual se emplea el menú del mismo nombre, cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 55. En él se puede introducir las distancias a las que se desea mover los carros del eje (X, Y); una vez configurados, se pulsa el botón aplicar, se inserta la botella, con lo cual se procede a activar la niquelina y el motor puede empezar con el corte, una vez concluido el proceso se procede a apagar los actuadores.

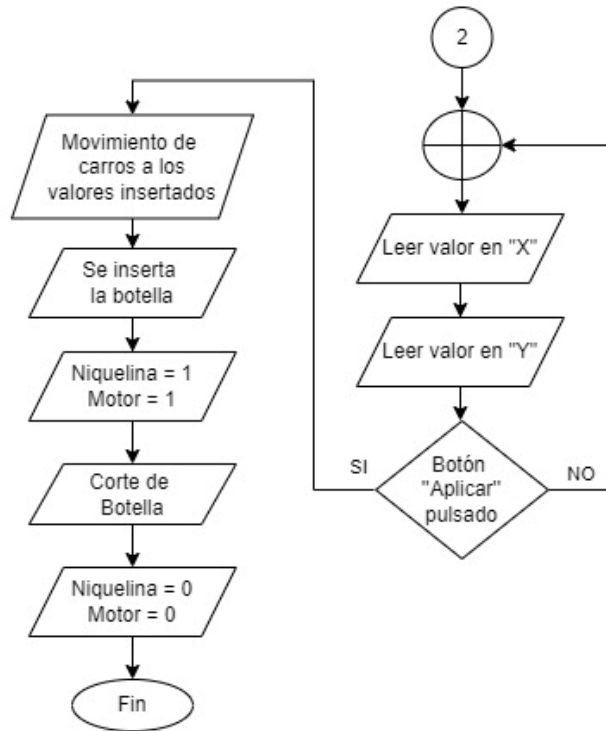


Figura 55. Diagrama de flujo del corte manual

2.4.4. DISEÑO DE UX/UI

2.4.4.1. Experiencia de usuario (UX)

La experiencia de usuario o UX por sus siglas en inglés es un término que se definió por Don Norman, UX se refiere a todo aquello que tiene que ver entre la forma de interactuar de un usuario y su nivel de expectativa de algún producto, proceso o servicio convirtiendo esto en algo novedoso o actualizado y está relacionado con la percepción de cada persona. (UNIVERSIDAD EUROPEA, 2022).

UX es aplicable a todo aquello que cause experiencia en la vida y no se lo encuentra solo en el desarrollo de nuevas tecnologías o transformación digital.

La finalidad de UX es:

- Crear experiencias fáciles.
- Generar experiencias eficientes.
- Producir experiencias relevantes.
- Originar experiencias agradables para el usuario.

2.4.4.2. Interfaz de usuario (UI)

El diseño de la interfaz de usuario o UI es aplicable solo al campo digital.

UI es el punto intermedio entre el humano y un producto digital mediante la interacción, por ejemplo, la pantalla o panel táctil que se utiliza para seleccionar qué tipo de impresión se desea en una impresora. (UNIVERSIDAD EUROPEA, 2022).

Los puntos clave de UI en relación con las páginas web y las aplicaciones son:

- Considerar el aspecto.
- Considerar la sensación.
- Considerar la interactividad del producto.

Todo esto mediante flujos intuitivos y elementos visuales e interactivos que permitan al usuario manejar el producto y cumplir con su objetivo.

El desarrollo de la lógica de programación está relacionado con el flujo de cada transición UX/UI que se puede apreciar en la pantalla HMI Nextion y el manual de usuario respectivamente, en la Figura 56 se puede apreciar cómo está estructurado todo el programa de la pantalla Nextion.

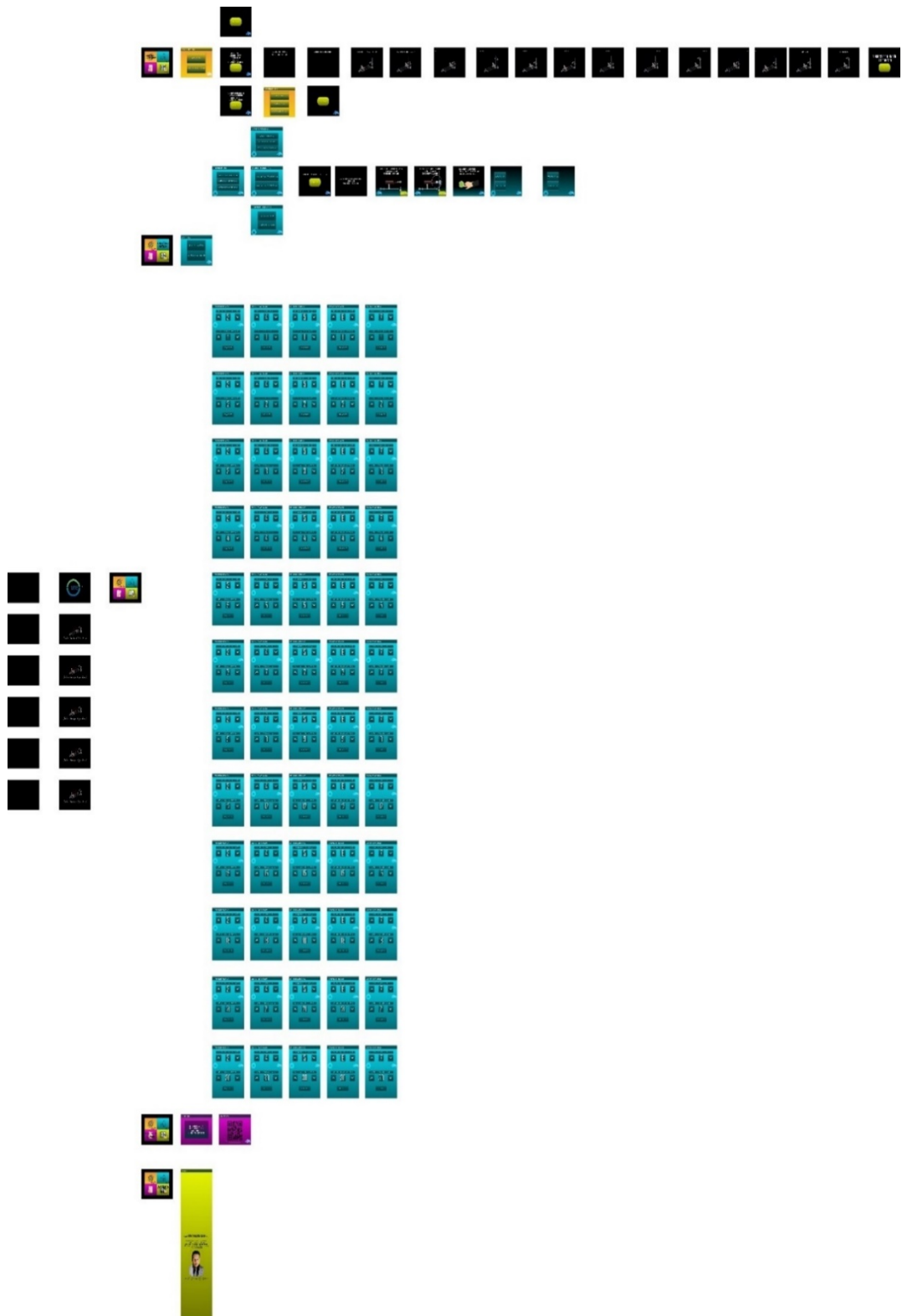


Figura 56. Esquema de programación en pantalla HMI

Al encender la máquina el usuario podrá ver una pequeña ilustración hasta que se configure todo el sistema, algo similar a una impresora. En la Figura

57 se puede ver el nombre de su creador mientras se procesa el encendido de la máquina.

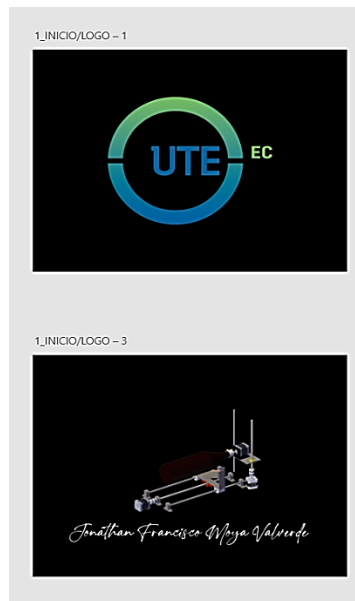


Figura 57. Tiempo de encendido por pantalla

Al estar lista la tarjeta madre controlada por el Shield RAMPS 1.6, aparece el menú principal, el cual está dividido en 4 partes, las cuales fueron nombradas y organizadas como se muestra en la Figura 58.



Figura 58. Menú principal de la pantalla Nextion

Al momento que el usuario toca la pantalla Nextion en alguno de los cuatro apartados que se relatan a continuación

2.4.4.3. Calibración y mantenimiento

En este apartado el usuario encontrará dos modos de funcionamiento, en la Figura 59 se observa el botón reiniciar y el modo de mantenimiento preventivo desactivado.

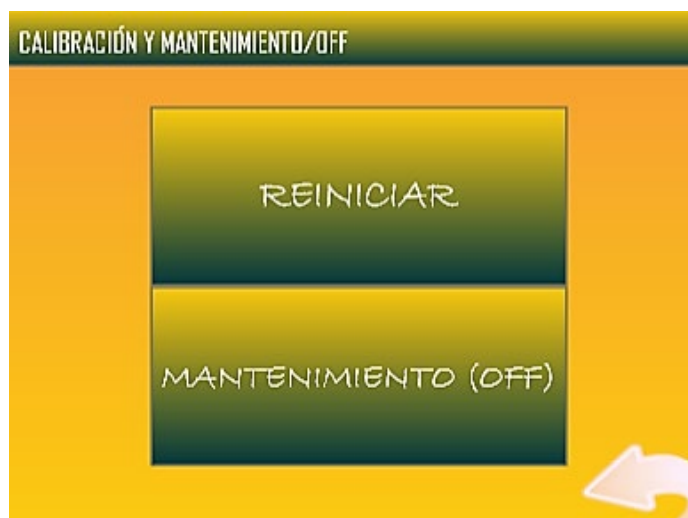


Figura 59. Apartado calibración y mantenimiento

2.4.4.4. Cortar una botella

Aquí el usuario podrá encontrar todas las opciones para cortar una botella de forma personalizada ingresando la longitud que desea en el corte.

Se visualiza en la Figura 60 el submenú de corte personalizado y automático y las opciones que se encuentran dentro del modo personalizado.



Figura 60. Submenú cortar una botella por corte personalizado

De igual forma se tiene una lista de opciones en el modo automático, donde las opciones ya están previamente configuradas, cumpliendo así con uno de los requerimientos del sistema, y es el control de longitud de corte.

En la Figura 61 se ve la diferencia del modo Automático que como se mencionó tiene una lista de opciones ya pre-configuradas.



Figura 61. Submenú corte automático

2.4.4.5. Manual de usuario

Aquí el usuario podrá encontrar una imagen QR para escanearla y acceder a un repositorio donde se almacena un manual de usuario con realidad aumentada.



Figura 62. QR para ingresar a la carpeta compartida manual de usuario.

La Figura 63 muestra la carpeta compartida donde se encuentra el manual de usuario, también se observa que la carpeta cuenta con videos demostrativos de funcionamiento, entre otros.

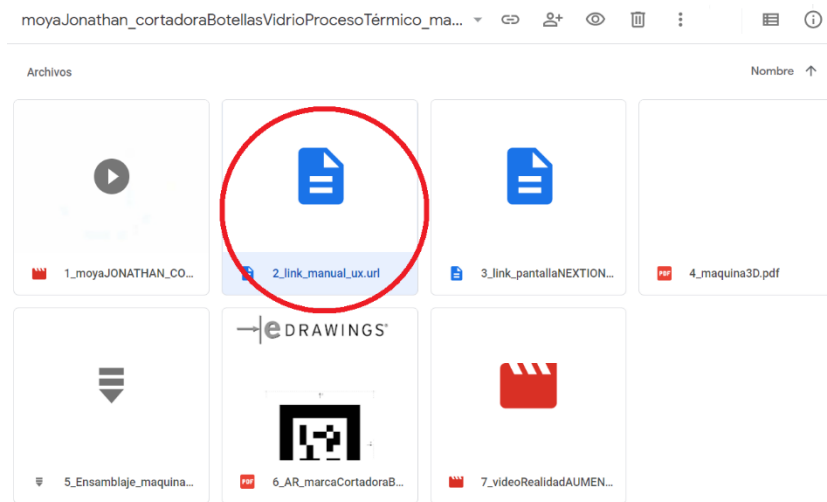


Figura 63. Carpeta compartida

Para mejorar la visualización y comodidad del usuario se creó el manual de forma interactiva dentro de una página web donde además de responder varias preguntas de funcionamiento, se puede observar las partes y piezas con sus nombres respectivos y así poder dar mantenimiento preventivo, además se menciona algunos procesos de seguridad en su manejo.

En la siguiente Figura 64, se observa el manual de usuario interactivo



Figura 64. Página principal del manual de usuario.

2.4.4.6. Acerca de

En la Figura 65 se muestra el apartado Acerca de, el cual contiene información del desarrollador del proyecto, números de contacto y un pequeño resumen motivacional con agradecimientos,



Figura 65. Acerca de


3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo una máquina semiautomática, construida en aluminio 20X20 mm, con dimensiones (63, 30, 25) cm de “largo, ancho y altura” respectivamente, capaz de cortar botellas de vidrio mediante una niquelina que alcanza 300 °C, los cortes se obtienen mediante 2 modos de funcionamiento; manual y automático. La longitud máx. de corte de una botella en un proceso manual es de 30 cm y el mín. 1 cm, en un proceso automático se puede obtener vasos estandarizados de 9, 10, 11, 13, 20 y 30 cm de longitud.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA

En la Tabla 19 se muestran las características principales de la cortadora de botellas.

Tabla 19. Características de la máquina

Características	Valores
Voltaje de alimentación	120[V]
Corriente nominal	3[A]
Potencia	367[W]
Protección contra	Cortocircuitos y sobrecargas
Masa	6[kg]
Capacidad de corte	28[Cortes/hora]
Pantalla táctil resistiva	
Control de temperatura	
	

3.2. ANÁLISIS DE COSTOS

3.2.1. COSTO DE ELEMENTOS

En la Tabla 20 se muestran todos los elementos que se han empleado en la elaboración de la cortadora de botellas, las cantidades de los mismos, su costo unitario y total.

Tabla 20. Elementos y sus costos

Elemento	Cantidad	Valor unitario	Total
Perfil de aluminio V20x20 630mm	2	5.79	11.58
Perfil de aluminio V20x20 260mm	6	2.38	14.31
Perfil de aluminio V20x20 110mm	4	1	4.03
Perfil de aluminio V20x20 210mm	2	1.92	3.85
Perfil de aluminio V20x20 300mm	1	2.75	2.75
Perfil de aluminio V20x20 180mm	1	1.66	1.66
Perfil de aluminio V20x20 186mm	1	1.71	1.71
Perfil de aluminio V20x20 640mm	1	6.01	6.01
Soporte de esquina serie 20	30	1	30
Tuerca T insertable M4	100	0.20	20.16
Tornillo sinfín 8mm 380mm	1	8.78	8.78
Tornillo sinfín 8mm 146mm	1	3.37	3.37
Tuerca de bronce 8mm	2	3.50	7.01
Rodamiento lineal LM8LUU	2	3	6
Chumacera de pared 8mm KFL08	1	3	3
Cumacera de piso 8mm KP08	1	3	3
Soporte horizontal SHF8	4	3	12
Soporte vertical SK8 SH8	4	3.50	14.02
Acople flexible 8mm a 5mm	2	4.50	9
Motor NEMA 17	2	16.50	33
Bloque lineal SC8UU	2	4.24	8.49
Eje liso D8mm 400mm	2	6.60	13.20
Eje liso D8mm 210mm	2	3.46	6.92
Soporte NEMA 17	1	5	5
Motor 12V 23RPM	1	25	25
Breaker CNC 1P 3A	1	4.81	4.81
Breaker CNC 1P 6A	1	4.81	4.81
Drive A4988	3	2.50	7.50
RAMPS 1.6	1	18	18
Arduino MEGA	1	18.90	18.90
Reductor de voltaje LM2596	1	2	2
Fin de carrera + cable	2	2.50	5

Continuación de Tabla 20

Pulsador de emergencia	1	4.50	4.50
Selector de dos posiciones	1	4.50	4.50
Fuente de poder 12V	1	16	16
Niquelina	2	10	20
Tornillos varios	1	2	2
Controlador de temperatura	1	7	7
Pantalla Nextion	1	40	40
Impresiones 3D	25h	2.50	62.50
Total			475.36

3.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA

En la Tabla 21 se muestra los costos de mano de obra de los operarios que se necesitaron.

Tabla 21. Costo de mano de obra

Operador	Horas	USD/h	Total
Mecánico	10	7	70
Electrónico	2	15	30
Total			100

3.2.3. COSTO DE TRANSPORTE

En la Tabla 22 se observan los costos asociados al transporte de los componentes.

Tabla 22. Costo de transporte

Descripción	Costo
Traslado para obtener los componentes	5
Traslado de componentes de Cuenca a Quito	3.50
Total	8.50

3.2.4. COSTO TOTAL

En la Tabla 23 se muestra el costo total de producción de la máquina.

Tabla 23. Costos totales

Tipo de costo	Costo
Elementos	475.36
Mano de obra	100
Transporte	8.50
Total	583.86

3.2.5. COSTO DE CONSUMO ELÉCTRICO AL MES

Se estima que la cortadora trabajará unas 2[h/día] durante 20 días al mes, por lo tanto, estará operativa un total de 40[h/mes]. Tomando en cuenta que el costo del [kWh] está en 0.092[USD] y la potencia de la cortadora es de 367[W], el consumo eléctrico mensual se halla de la siguiente manera.

$$\text{Consumo al mes} = 40[h/mes] * 367[W]$$

$$\text{Consumo al mes} = 14.68[kWh/mes]$$

$$\text{Costo eléctrico mensual} = 14.68[kWh/mes] * 0.092[USD/kWh]$$

$$\text{Costo eléctrico mensual} = 1.35[USD/mes]$$

También se añade el concepto de comercialización con el valor de 1.41[USD] obteniendo un costo eléctrico mensual total de:

$$\text{Costo eléctrico total} = 2.76[USD/mes]$$

3.3. PRUEBAS Y VERIFICACIÓN

Una vez realizado el montaje y programación de la cortadora de botellas se procede a ejecutar las pruebas que aseguren un buen funcionamiento. Los objetivos propuestos son los siguientes:

Verificar la capacidad de corte en función de la forma de la niquelina

Verificar la capacidad de corte en función de la velocidad de giro

Verificar la capacidad de corte en función de la temperatura

3.3.1. CORTE EN FUNCIÓN DE LA FORMA DE LA NIQUELINA

Se llevó a cabo dos pruebas para verificar que forma de niquelina es más eficiente, en cada una de ellas se efectuó 5 cortes de botellas de 750[ml] obteniendo dos gráficas de barras para una mejor visualización de los datos.

En la Figura 66 se observa la gráfica de barras elaborada a partir de los cortes con la niquelina en forma de "V" obteniendo tiempos entre 150 y 178 segundos, con un promedio de 167.8 segundos. Con esta niquelina se obtiene una producción de 21[Cortes/hora].

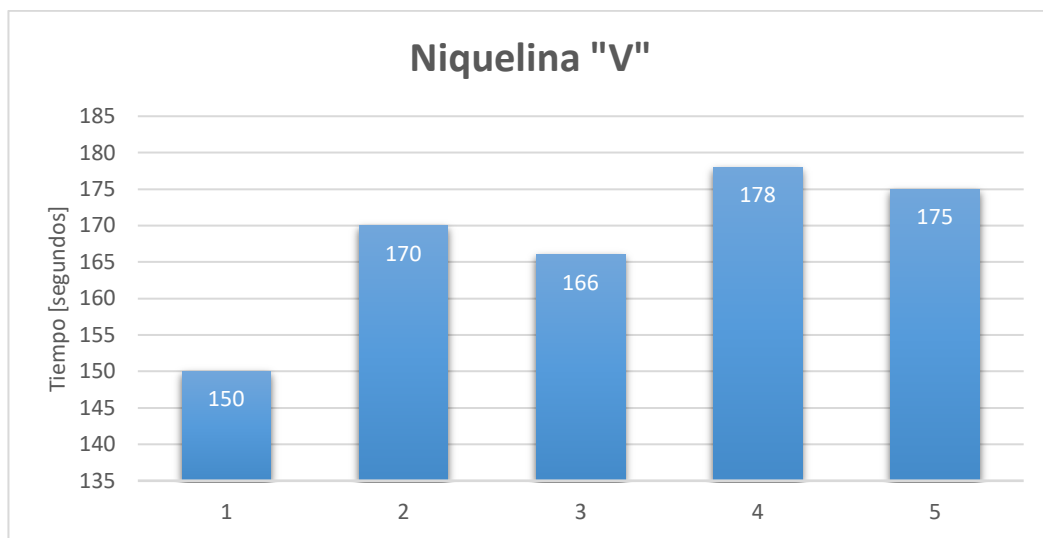


Figura 66. Gráfica de barras de la niquelina en "V".

En la Figura 67 se observa la gráfica de barras elaborada a partir de los cortes con la niquelina con forma de "U" obteniendo tiempos entre 112 y 138 segundos, con un promedio de 124.8 segundos. Con esta niquelina se obtiene una producción de 28[Cortes/hora].

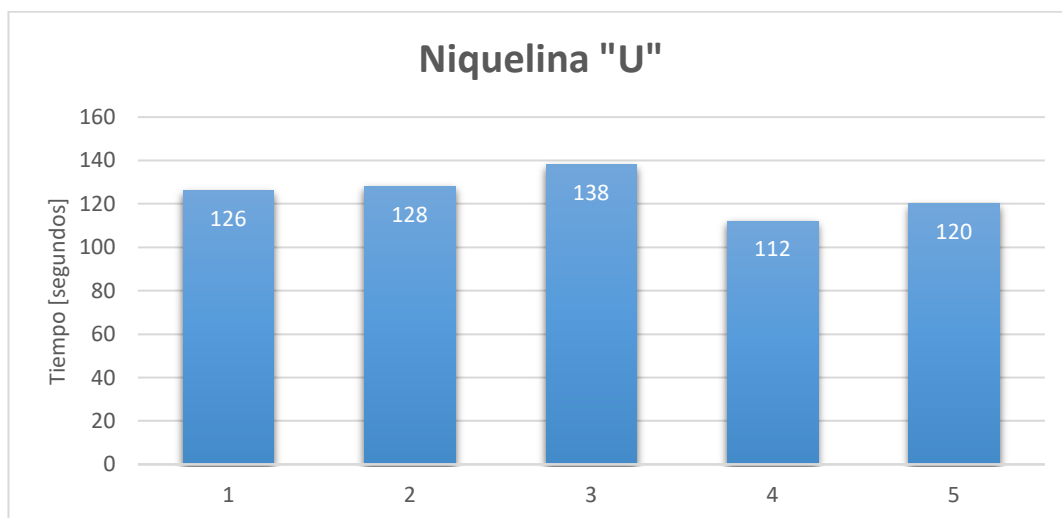


Figura 67. Gráfica de barras de la niquelina en "U".

Estos datos nos permiten verificar que la niquelina con una mayor eficiencia es la que tiene forma de “U”, porque en promedio es 43 segundos más rápida que la que tiene forma de “V”. Esto se debe a que tiene una mayor superficie de contacto con la botella, por lo que la transferencia de calor hacia la misma se realizará en menos tiempo y por consecuencia el tiempo de corte será menor.

3.3.2. CORTE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO

Se utilizó botellas de 750[ml] para llevar a cabo esta prueba debido a que son las más comunes y fáciles de encontrar. Concretamente, se han ejecutado 5 ensayos en los que se han variado las revoluciones del motor DC con la implementación de un puente H, después de cada prueba se ha dejado enfriar la resistencia hasta un valor de 30 °C antes de empezar con la siguiente.

En la Figura 68 se observa el gráfico de columnas de tiempo de corte versus revoluciones por minuto.

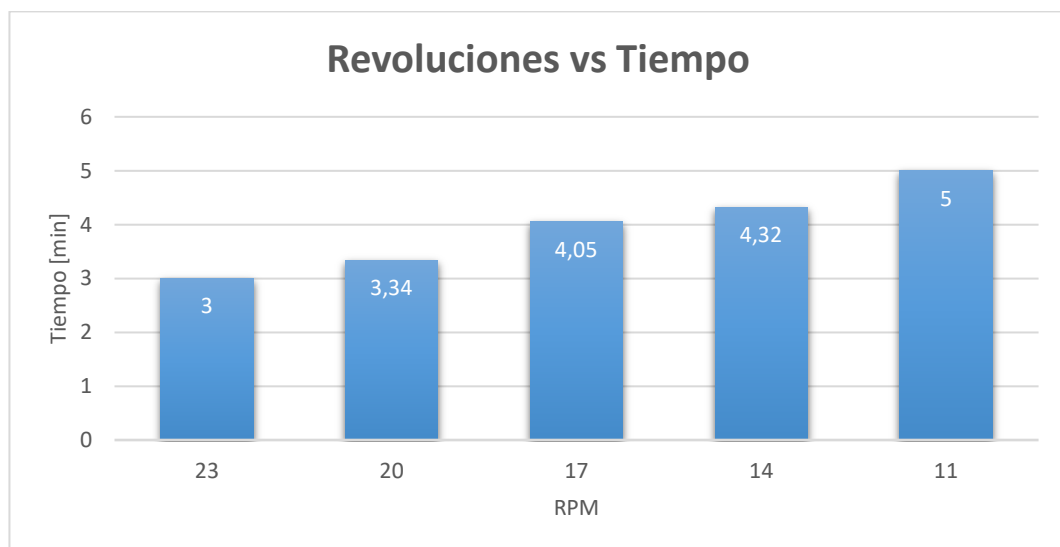


Figura 68. Gráfico de Tiempo de corte versus RPM.

En el gráfico se observa que la velocidad con la que se cortan las botellas es directamente proporcional a las revoluciones por minuto que se apliquen a la botella. Puesto que el motor está diseñado para ofrecer una velocidad máxima de 23 [rpm], el tiempo mínimo de corte es de 3 minutos.

3.3.3. CORTE EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Se hizo cinco pruebas experimentales, variando la temperatura de la resistencia desde los 300 °C a los 500 °C utilizando cinco botellas de 750 [ml] y la niquelina con forma de "V".

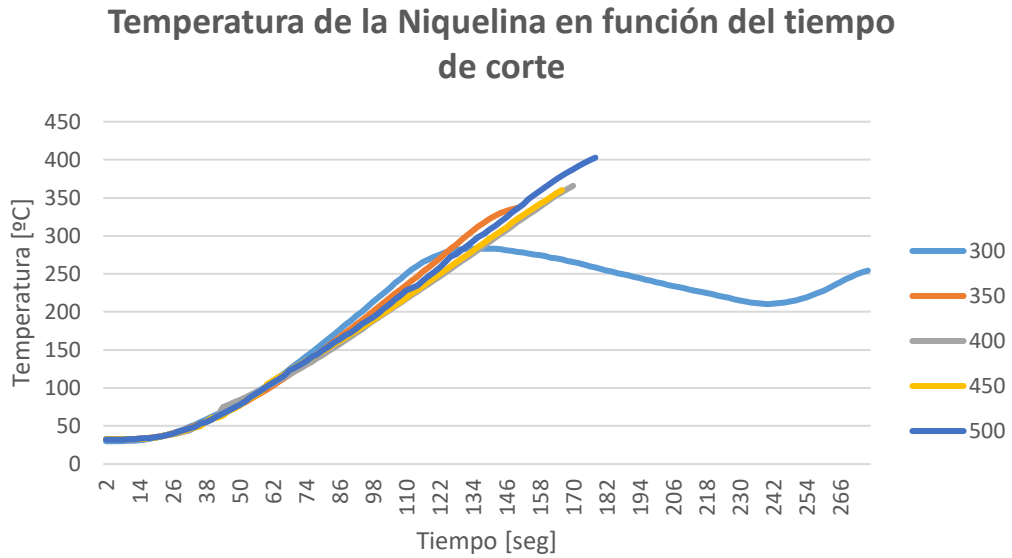


Figura 69. Gráfica de la temperatura que alcanza la niquelina en función del tiempo que se demora en ser cortada una botella

Como se observa en la Figura 69, la primera prueba presenta una curva distinta, esto se debe al tipo de control usado, ON/OFF, con él se intenta estabilizar la temperatura a unos 300 °C.

Para las demás pruebas, la botella se cortó antes de llegar a las temperaturas propuestas y se puede observar que se parten a partir de los 300 °C hasta los 400 °C en un tiempo aproximado de 3 minutos.

En la figura 70 se observan vasos como resultado de cortes realizados a botellas con diferentes tamaños.

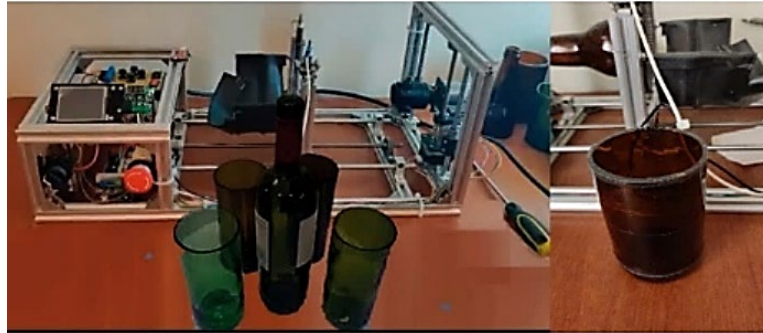


Figura 70. Vasos obtenidos de botellas de diferentes tamaños

Los cortes que se observan en la Figura 70 en la parte inferior, de izquierda a derecha tenemos, una botella de 330 mililitros, 750 mililitros y 1 litro respectivamente.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con base en los requerimientos planteados, se logró la implementación de una máquina capaz de realizar cortes en botellas cilíndricas de 1[L] con una longitud y ancho, máximos de 30[cm] y 9[cm] respectivamente, mediante la aplicación de una niquelina la cual genera un corte-térmico, cumpliendo así con los requerimientos propuestos al principio del proyecto.

El diseño y selección de los diferentes elementos que conforman esta máquina han permitido la adecuada integración de los componentes mecánicos, electrónicos y de control, dando como resultado una mejora del proceso con una producción máxima de 28[cortes/h].

El proceso que condiciona a la máquina (corte-térmico), se lleva a cabo mediante la transferencia de calor existente entre una niquelina de 400[W] y la botella, además se aplica un giro homogéneo que en conjunto con un cortador de vidrio garantizan un corte limpio, lo que es favorable, pues minimiza el postproceso, que en este caso sería el suavizado de los bordes mediante el lijado.

Para garantizar la durabilidad de la niquelina y la optimización de recursos eléctricos se ha implementado un control de temperatura ON/OFF mediante un termostato que mantiene la temperatura en un rango entre 300[°C] y 400[°C].

Se han incluido varios elementos de seguridad como lo son: protecciones magneto-térmicas en el circuito de mando y de fuerza; pulsador tipo seta de emergencia y cables de alta temperatura, forrados de fibra de vidrio para la alimentación de la niquelina.

En cuanto al manejo de la máquina, se ha logrado diseñar un menú intuitivo que transmite una experiencia fluida y amigable para el usuario, mostrada en una pantalla táctil de fácil manejo, en la misma se encuentran el modo de funcionamiento manual y el automático que cuenta con distintos tamaños de botellas estándar.

Con respecto al mantenimiento y seguridad de la máquina en el manual de usuario interactivo, se permite la visualización de varias características de la máquina con realidad aumentada y su uso. Además, se ha instalado una botonera con el fin de realizar pequeños ajustes en los carros de los ejes debido a que no todas las botellas tienen el mismo tamaño a causa de su proceso de elaboración.

Se cumplió con la validación mediante tres pruebas en las que se verificó la capacidad de corte en función de la forma de la niquelina, obteniendo como resultado que la niquelina con forma de U es más eficiente, también se analizó

la capacidad de corte en función de la velocidad de giro es directamente proporcional, en cuanto a la capacidad de corte en función de la temperatura se estableció un rango de temperaturas de funcionamiento que oscilan entre 300[°C] y 400[°C].

RECOMENDACIONES

Se recomienda un ajuste de tornillos semanal porque tienden a aflojarse debido a las vibraciones producidas durante el corte, sobre todo los que se sitúan en el carro del eje X.

En cuanto a los ejes, se recomienda utilizar aceite para su lubricación y una limpieza después de cada uso, ya que se adhieren pequeños fragmentos de cristal en las guías y esto puede ocasionar un desgaste prematuro de los rodamientos.

El corte se puede producir en cualquier momento, en cuanto se superen los 300[°C], independientemente del tamaño de la botella, por lo que se recomienda un continuo monitoreo durante el proceso y evitar que el motor siga girando cuando la botella se encuentra cortada.

A la hora de ajustar el cuello de la botella en la mordaza, se recomienda ajustar los tornillos un poco cada vez, consiguiendo así un acoplamiento parejo, evitando así zonas con mayor fricción durante el corte.

Para tener un desempeño óptimo de la precisión de corte se recomienda hacer uso de la placa adicional para controlar el movimiento de los actuadores, esto debido a que algunas botellas pueden tener forma irregular y podrían afectar la distancia de corte.

Para cortar botellas en las que su ancho sobrepasa las medidas permitidas, se incluyen botellas de forma cúbica, se recomienda cambiar la niquelina en forma de "U" por la niquelina que tiene la forma "V".

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Ardobot. (09 de 07 de 2020). *Módulo LM2596 Regulador de Voltaje DC-DC Buck 1.25-35V*. Obtenido de Ardobot: <https://www.ardobot.co/modulo-lm2596-regulador-de-voltaje-dc-dc-buck-1-25v-35v.html>
- Arduino. (15 de 01 de 2019). *Arduino Mega 2560*. Obtenido de Arduino: <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Beveridge, P. y. (2010). *"El Vidrio: Técnicas de trabajo en horno"*. España:: Parramón Ediciones S.A.
- Blanco, A. (2020). Estudio comparativo entre la obtención de piezas mediante impresión 3D y su obtención mediante moldes u otros procesos de fabricación. (*Memoria*). UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, València. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/153236/Blanco%20-%20Estudio%20comparativo%20entre%20la%20obtenci%C3%B3n%20de%20piezas%20mediante%20impresoras%203D%20y%20su%20obtenci%C3%B3n%20m....pdf?sequence=4>
- BOHMAN Ivan. (5 de Enero de 2021). *Catálogo Ivan Bohman* . Obtenido de <https://bohman.com.ec/categorias-de-productos>
- CHINT. (07 de febrero de 2020). *Pulsadores, Pilotos y Zumbadores*. Obtenido de CHINT: file:///C:/Users/Jose/Downloads/Ficha_Chint_Serie%20NP2.pdf
- Cia. Genarl de Aceros S.A. (marzo de 2007). *SAE 1020 Y SAE 1045*. Obtenido de General de Aceros: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>
- CNC ELECTRIC. (05 de 10 de 2018). *YCB6-63H*. Obtenido de CNC Electric: <http://www.cncele.com/product/XeTGs8/4oUGTj/YCB6-63H-Miniature-Circuit-Breaker.html>
- CONQUITO. (25 de Febrero de 2011). <http://www.conquito.org.ec/>. Recuperado el 4 de Marzo de 2020, de <http://www.conquito.org.ec/ferias-inclusivas/>
- CPE INEN 003. (2020). *" Lista de piezas. "*, actual. Recuperado el viernes 27 de Noviembre de 2020, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CPE-3.pdf>
- Createc3D. (05 de 10 de 2021). *Ramps 1.6 - Repap Arduino Mega Pololu Shield*. Obtenido de Createc3D: <https://createc3d.com/es/comprar->

electronica-impresora-3d/1206-comprar-ramps-16-repap-arduino-mega-pololu-shield.html

DELTA. (07 de 11 de 2021). *Shop delta*. Obtenido de FICHA TÉCNICA: https://shopdelta.eu/pdf.php?page=shop/datasheet&product_id=3960

DIPAC. (2021). "EJES AISI 304 INOXIDABLE". Recuperado el 8 de Junio de 2021, de DIPAC PRODUCTOS DE ACERO: [http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi#:~:text=Norma%3A%20AISI%20304%20\(Inoxidable\),con%20la%20superficie%20pulida%20espejo](http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi#:~:text=Norma%3A%20AISI%20304%20(Inoxidable),con%20la%20superficie%20pulida%20espejo).

EMASEO EP. (27 de Marzo de 2017). *emaseo.gob.ec*. Recuperado el 3 de Marzo de 2020, de <http://www.emaseo.gob.ec/gestion-ambiental/quitoareciclar/>

EPM-UCET-NYL-GM-01. (07 de 2019). *Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico*. Obtenido de cens: <https://www.cens.com.co/Portals/0/normas-y-especificaciones/documentos%20en%20revisi%C3%B3n/1-CALCULO%20CONDUCTOR%20ECONOMICO/GM-01%20GUIA%20METODOLOGICA%20CALCULO%20DE%20CONDUCTOR%20ECONOMICO.pdf?ver=2021-04-19-145212-173>

GAUSEMEIER J, M. S. (2003). "NEW GUIDELINE VDI 2206 – A FLEXIBLE PROCEDURE MODEL FOR". En *designsociety.org* (Ed.), *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN*, (pág. 10). STOCKHOLM. Recuperado el Lunes 23 de Noviembre de 2020, de <https://www.designsociety.org/publication/23949/NEW+GUIDELINE+VDI+2206+-+A+FLEXIBLE+PROCEDURE+MODEL+FOR+THE+DESIGN+OF+MECHATRONIC+SYSTEMS>

GODOY, L. H. (13 de Noviembre de 2008). *MESA DE CORTE PARA VIDRIO DE 4GDL*. PROYECTO DE GRADO, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, ROBÓTICA INDUSTRIAL. Recuperado el 5 de Marzo de 2020, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2971/MESADECORTE4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GPE INEN 029. (1993). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/GPE-29.pdf>

GROOVER, M. (2007). En *fundamentos de manufactura moderna*. México, D.F.: McGraw-Hill.

- GUTIÉRREZ, M. (2015). *CRISTALERÍA ECOLÓGICA A BASE DE BOTELLAS DE VIDRIO. Trabajo de Graduación previo la obtención del Título de Ingeniero en Diseño Industrial.* (Q. UCE, Ed.) doi:T-UCE-0011-24.pdf
- IMBAQUINGO, J. (18 de diciembre de 2017). Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente. *Enfoque UTE*, 8, 89-102. doi:10.29019/enfoqueute.v8n5.183
- ITO MOTOR. (1 de agosto de 2014). *IT-25GA370*. Obtenido de itomotor: <http://aftabcdn.s3.amazonaws.com/aftab/%202748-91-4496/IT-25GA370.pdf>
- KEBS_MALL. (Lunes 28 de Noviembre de 2020). *Glass Bottle Cutter 01*. Obtenido de ALIBABA: https://www.amazon.com/-/es/Kebs_mall-Cortador-herramientas-cuadradas-ovaladas/dp/B0826TL8S3/ref=zg_bs_12896601_4?_encoding=UTF8&psc=1&refRID=F7EP4QQC9SV5Z9XGSDV0
- LA HORA, EGÜEZ D. (2016). "El reciclaje de vidrio es otra opción para cuidar el ambiente". pág. 1. Recuperado el miercoles 18 de noviembre de 2020, de <https://lahora.com.ec/noticia/1101979645/el-reciclaje-de-vidrio-es-otra-opcin-para-cuidar-el-ambiente>
- MAE "Regulación para la gestión de residuos de botellas de vidrio en el Ecuador", Acuerdo N°121 (2016). Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Acuerdo-Ministerial-121-Expedir-la-regulacion-para-la-gestion-de-residuos-de-botellas-de-vidrio-en-el-Ecuador.pdf>
- MAE-PNGIDS. (2020). *Ministerio del Ambiente*. Recuperado el 24 de Febrero de 2020, de www.ambiente.gob.ec: <https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- MÁQUINAS.EC. (Lunes 23 de Noviembre de 2020). "*Máquina láser que estás buscando FORZA 4 PRO*". Obtenido de <https://maquinasec.com/nueva-maquina-laser/>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, M. (15 de Diciembre de 2016). REGISTRO OFICIAL. *SUPLEMENTO Acuerdo Ministerial N° 079*. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 3 de Marzo de 2020, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Acuerdo-Ministerial-121-Expedir-la-regulacion-para-la-gestion-de-residuos-de-botellas-de-vidrio-en-el-Ecuador.pdf>

- MOTT, R. L. (2009). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- MVelectronica. (09 de 02 de 2021). *MANUAL DE USO TERMOSTATO W1209*. Obtenido de mvelectrónica: [https://mvelectronica.com/download-product-file/W1209/Manual%20w1209%20\(2021-02-09%2017-38-36\).pdf](https://mvelectronica.com/download-product-file/W1209/Manual%20w1209%20(2021-02-09%2017-38-36).pdf)
- NEXTION. (14 de 07 de 2017). *Hoja de datos NX3224T028*. Obtenido de NEXTION: <https://nextion.tech/datasheets/nx3224t028/>
- NORTON, R. (2009). *Diseño de Maquinaria*. México: McGraw-Hill.
- PERFILES CNC. (2021). *Perfil de aluminio tipo V 20x20*. Obtenido de Perfilescnc: <https://perfilescnc.com/?product=perfil-de-aluminio-tipo-v-20x20>
- RAMBAL. (18 de 03 de 2014). *Módulo Controlador A4988 para el Motor paso a paso*. Obtenido de RAMBAL AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA: <https://rambal.com/motor-servo-actuador/306-driver-a4988-motor-paso-a-paso.html>
- RENAREC. (2015). *Red nacional de Recicladores del Ecuador*. Recuperado el 5 de Marzo de 2020, de <https://renarec.files.wordpress.com/2018/05/reciclaje-inclusivo-y-recicladores-de-base-en-ec.pdf>
- ROBOTDIGG. (2021). *NEMA17 40mm long 17hs3001-20b Stepper Motor*. Obtenido de ROBOTDIGG: <https://www.robotdigg.com/product/7/NEMA17-40mm-long-17hs3001-20b-Stepper-Motor>
- SAB cables. (2021). *Construcciones de conductores americanas tabla de AWG*. Obtenido de SAB BROCKSKES SPECIAL CALBES: <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>
- Schneider Electric. (23 de 07 de 2021). *Fuente de poder 100..240V AC - salida 12V DC - 5A*. Obtenido de Schneider Electric: <https://www.se.com/cl/es/product/ABL1REM12050/fuente-de-poder-100-240v-ac-salida-12v-dc-5a/>
- SHIGLEY, B. R. (2018). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*. México: McGraw-Hill Education Holdings LLL. doi: ISBN 978-0-07339820-4
- SMITH, H. (2010). *"Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales"*. México, D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A. DE C.V.

- Solectro. (02 de 08 de 2021). *Final de Carrera Mecánico CNC Ramps 1.4 Impresora 3D*. Obtenido de Solectroshop: <https://solectroshop.com/es/drivers-y-kits-de-control/415-final-de-carrera-mecanico-cnc-ramps14-impresora-3d.html>
- SOTO A, S. J. (2018). "Desarrollo de un prototipo extrusor de pasta". *Dspace ESPOL*, 87. doi:D-CD88723
- TAPIA C. (Agosto de 2013). "La Evaluación. Modelo V". *Researchgate.net*, 3. Recuperado el Lunes 23 de Noviembre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/288826735_La_Evaluacion_Modelo_V
- TRUPER. (lunes 23 de Noviembre de 2020). "*Cortador de vidrio 5" Truper Expert con depósito de aceite*". Obtenido de <https://www.truper.com/cortador-de-vidrio-5-truper-expert-con-deposito-de-aceite.html>
- UNIVERSIDAD EUROPEA. (29 de Marzo de 2022). *universidadeuropea.com*. Obtenido de <https://universidadeuropea.com/blog/diferencia-entre-ux-ui/>
- VERGARA, H. (2018). PROPUESTA DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINA CORTADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO, PARA FABRICACIÓN DE LÁMPARAS. *Peumo Repositorio digital USM*, 102. Recuperado el 26 de Febrero de 2020, de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42339/3560901544271UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO 1.

DIÁMETROS Y PASO DE ROSCAS MÉTRICAS

Tabla
Diámetros de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso		Serie de paso fino	
	Paso p , mm		Paso p , mm	
1.6	0.35			
2	0.40			
2.5	0.45			
3	0.5			
3.5	0.6			
4	0.7			
5	0.8			
6	1			
8	1.25		1	
10	1.5		1.25	
12	1.75		1.25	
14	2		1.5	
16	2		1.5	
20	2.5		1.5	
24	3		2	
30	3.5		2	
36	4		2	
42	4.5		2	
48	5		2	
56	5.5		2	
64	6		2	
72	6		2	
80	6		1.5	
90	6		2	
100	6		2	
110			2	

(SHIGLEY, 2018)

ANEXO 2.

DIÁMETROS Y ÁREAS DE ROSCAS MÉTRICAS

Tabla 8-1

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Paso p , mm	Serie de paso grueso		Serie de paso fino		
		Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

* Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.226\ 869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

En las figuras 8-3a) y b) se ilustran las roscas cuadradas y Acme, respectivamente, que se emplean cuando se va a transmitir potencia. En la tabla 8-3 se listan los pasos preferidos para roscas Acme de la serie en pulgadas. Sin embargo, con frecuencia pueden usarse otros pasos, puesto que no existe la necesidad de una norma para tales roscas.

A menudo se hacen modificaciones a las roscas Acme y cuadradas. Por ejemplo, la rosca cuadrada algunas veces se modifica cortando el espacio entre los dientes para incluir un ángulo de 10 a 15°. Esta tarea no es difícil, puesto que de todos modos dichas roscas se cortan usualmente con una herramienta que tiene una sola punta de corte; en gran medida, la modificación retiene la alta eficiencia inherente de las roscas cuadradas y simplifica el corte. Algunas veces, las roscas Acme se modifican hasta una forma achatada para hacer los dientes más cortos, de lo cual resulta un diámetro menor más largo y un tornillo un poco más resistente.

ANEXO 3.

PROPIEDADES AISI 304 EN EL SITIO WEB DIPAC

 [Productos](#) [Sucursales](#) [Catálogos](#) [Blog](#)

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220 - 241	20	249 - 278

DIMENSIONES	
DIÁMETRO	
3/16"	
1/4"	
5/16"	
3/8"	
1/2"	
5/8"	
3/4"	
1"	
1-1/4"	
1-1/2"	
2"	
2-1/2"	
3"	
3-1/2"	
4"	
5"	
6"	


ANEXO 4.

ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Tornillos sinfín y de potencia

► Barra roscada inoxidable

Información general	
<p>Material: Acero inoxidable AISI SS 304(A2) / ANSI/ASME B18.3.1-1978/1987</p> <p>Presentación: Barra de 1 metro de longitud, paso grueso</p> <p>Disponble en Sistema Métrico Decimal y Pulgadas, Rosca UNC.</p> <p>Eficiencia: Mayor igual a 0.1</p> <p>Medidas: Información en archivo Excel.</p>	 <p style="color: red; font-weight: bold; font-size: small;">Milimétricas y en pulgadas Hilo grueso</p>

Barras roscadas inoxidables 304 (métricas - pulgadas)

BARRAS ROSCADAS MÉTRICAS MARCA THE - INOXIDABLES 304	BARRAS ROSCADAS PULGADAS MARCA THE - INOXIDABLES 304																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #eee;"> <th style="padding: 2px;">MEDIDAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 2px;">6 - 1.00 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">8 - 1.25 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">10 - 1.50 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">12 - 1.75 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">14 - 2.00 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">16 - 2.00 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">18 - 2.50 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">20 - 2.50 X 1000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">24 - 3.00 X 1000 - MM.</td></tr> </tbody> </table>	MEDIDAS	6 - 1.00 X 1000 - MM.	8 - 1.25 X 1000 - MM.	10 - 1.50 X 1000 - MM.	12 - 1.75 X 1000 - MM.	14 - 2.00 X 1000 - MM.	16 - 2.00 X 1000 - MM.	18 - 2.50 X 1000 - MM.	20 - 2.50 X 1000 - MM.	24 - 3.00 X 1000 - MM.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #eee;"> <th style="padding: 2px;">MEDIDAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 2px;">1/4" - 20 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">5/16" - 18 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">3/8" - 16 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">7/16" - 14 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1/2" - 13 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">9/16" - 12 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">5/8" - 11 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">3/4" - 10 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">7/8" - 9 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1" - 8 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1.1/4" - 7 X 1000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1.1/2" - 6 X 1000 - PULG.</td></tr> </tbody> </table>	MEDIDAS	1/4" - 20 X 1000 - PULG.	5/16" - 18 X 1000 - PULG.	3/8" - 16 X 1000 - PULG.	7/16" - 14 X 1000 - PULG.	1/2" - 13 X 1000 - PULG.	9/16" - 12 X 1000 - PULG.	5/8" - 11 X 1000 - PULG.	3/4" - 10 X 1000 - PULG.	7/8" - 9 X 1000 - PULG.	1" - 8 X 1000 - PULG.	1.1/4" - 7 X 1000 - PULG.	1.1/2" - 6 X 1000 - PULG.
MEDIDAS																								
6 - 1.00 X 1000 - MM.																								
8 - 1.25 X 1000 - MM.																								
10 - 1.50 X 1000 - MM.																								
12 - 1.75 X 1000 - MM.																								
14 - 2.00 X 1000 - MM.																								
16 - 2.00 X 1000 - MM.																								
18 - 2.50 X 1000 - MM.																								
20 - 2.50 X 1000 - MM.																								
24 - 3.00 X 1000 - MM.																								
MEDIDAS																								
1/4" - 20 X 1000 - PULG.																								
5/16" - 18 X 1000 - PULG.																								
3/8" - 16 X 1000 - PULG.																								
7/16" - 14 X 1000 - PULG.																								
1/2" - 13 X 1000 - PULG.																								
9/16" - 12 X 1000 - PULG.																								
5/8" - 11 X 1000 - PULG.																								
3/4" - 10 X 1000 - PULG.																								
7/8" - 9 X 1000 - PULG.																								
1" - 8 X 1000 - PULG.																								
1.1/4" - 7 X 1000 - PULG.																								
1.1/2" - 6 X 1000 - PULG.																								



Barras roscadas grado 2 x 3 metros de longitud galvanizadas (métricas - pulgadas)

BARRAS ROSCADAS MÉTRICAS GRADO 2 X 3 METROS DE LONGITUD GALVANIZADAS	BARRAS ROSCADAS PULGADAS GRADO 2 X 3 METROS DE LONGITUD GALVANIZADAS																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #eee;"> <th style="padding: 2px;">MEDIDAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 2px;">6 - 1.00 X 3000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">8 - 1.25 X 3000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">10 - 1.50 X 3000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">12 - 1.75 X 3000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">14 - 2.00 X 3000 - MM.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">16 - 2.00 X 3000 - MM.</td></tr> </tbody> </table>	MEDIDAS	6 - 1.00 X 3000 - MM.	8 - 1.25 X 3000 - MM.	10 - 1.50 X 3000 - MM.	12 - 1.75 X 3000 - MM.	14 - 2.00 X 3000 - MM.	16 - 2.00 X 3000 - MM.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #eee;"> <th style="padding: 2px;">MEDIDAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 2px;">1/4" - 20 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">5/16" - 18 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">3/8" - 16 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">7/16" - 14 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1/2" - 13 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">5/8" - 11 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">3/4" - 10 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">7/8" - 9 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1" - 8 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1.1/4" - 7 X 3000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1.1/2" - 6 X 2000 - PULG.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1.1/2" - 6 X 3000 - PULG.</td></tr> </tbody> </table>	MEDIDAS	1/4" - 20 X 3000 - PULG.	5/16" - 18 X 3000 - PULG.	3/8" - 16 X 3000 - PULG.	7/16" - 14 X 3000 - PULG.	1/2" - 13 X 3000 - PULG.	5/8" - 11 X 3000 - PULG.	3/4" - 10 X 3000 - PULG.	7/8" - 9 X 3000 - PULG.	1" - 8 X 3000 - PULG.	1.1/4" - 7 X 3000 - PULG.	1.1/2" - 6 X 2000 - PULG.	1.1/2" - 6 X 3000 - PULG.
MEDIDAS																					
6 - 1.00 X 3000 - MM.																					
8 - 1.25 X 3000 - MM.																					
10 - 1.50 X 3000 - MM.																					
12 - 1.75 X 3000 - MM.																					
14 - 2.00 X 3000 - MM.																					
16 - 2.00 X 3000 - MM.																					
MEDIDAS																					
1/4" - 20 X 3000 - PULG.																					
5/16" - 18 X 3000 - PULG.																					
3/8" - 16 X 3000 - PULG.																					
7/16" - 14 X 3000 - PULG.																					
1/2" - 13 X 3000 - PULG.																					
5/8" - 11 X 3000 - PULG.																					
3/4" - 10 X 3000 - PULG.																					
7/8" - 9 X 3000 - PULG.																					
1" - 8 X 3000 - PULG.																					
1.1/4" - 7 X 3000 - PULG.																					
1.1/2" - 6 X 2000 - PULG.																					
1.1/2" - 6 X 3000 - PULG.																					





ANEXO 5.
PLANOS DE LA CORTADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO
POR PROCESO TÉRMICO

1

2

3

4

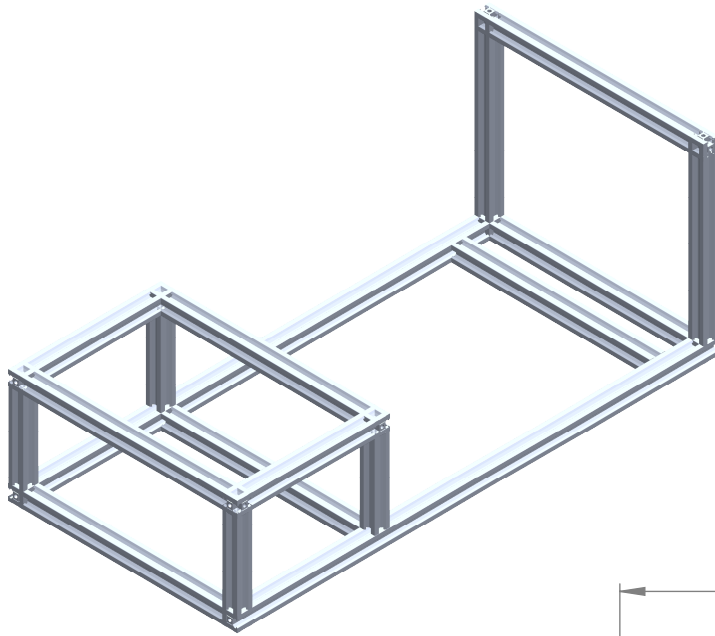
A

B

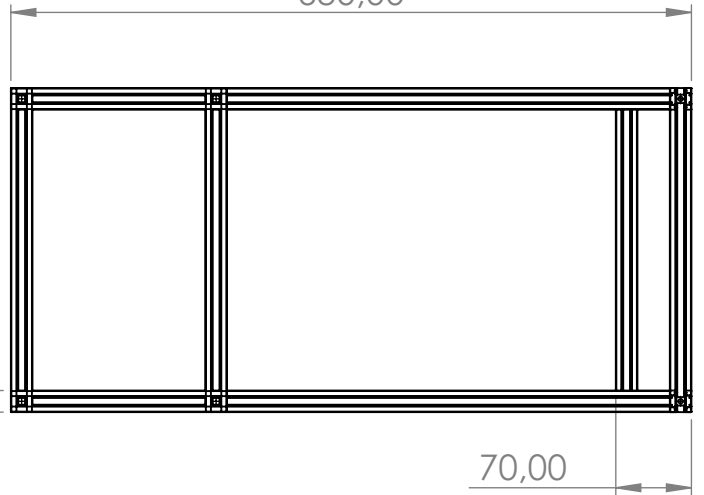
C

D

E



630,00



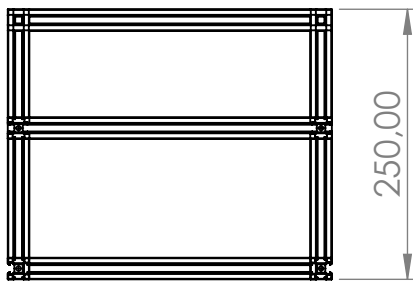
70,00

20,00

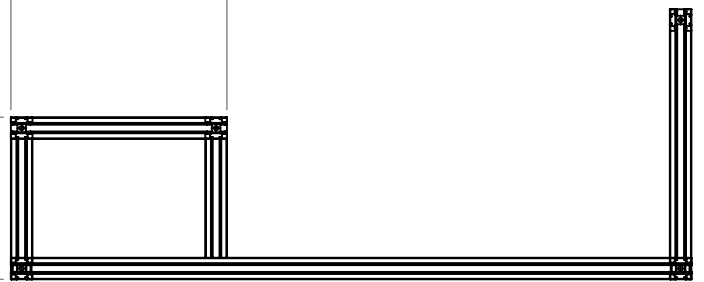
200,00

250,00

150,00



150,00



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 ± 0.1

Fecha

Nombre

Dibujado 31/01/2022

Revisado

Aprobado

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO Nº:

ESCALA:

Estructura

1:10

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre



1

2

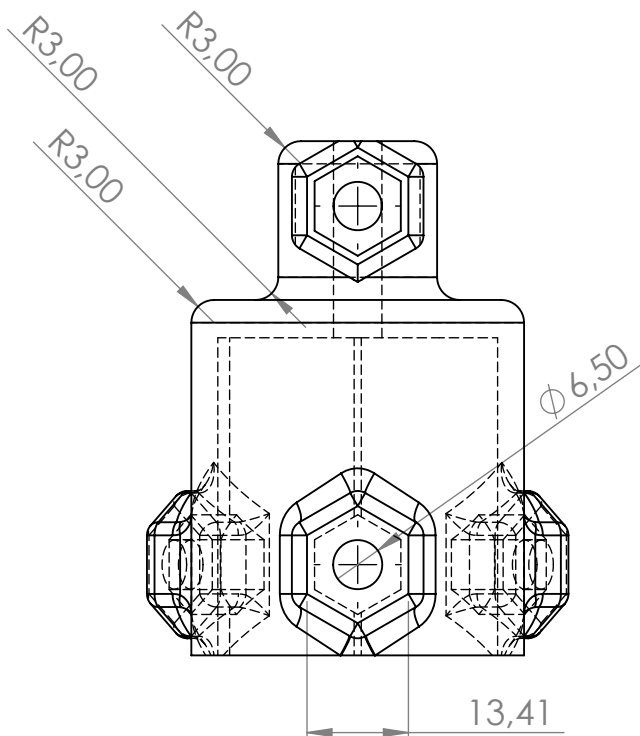
3

4

A

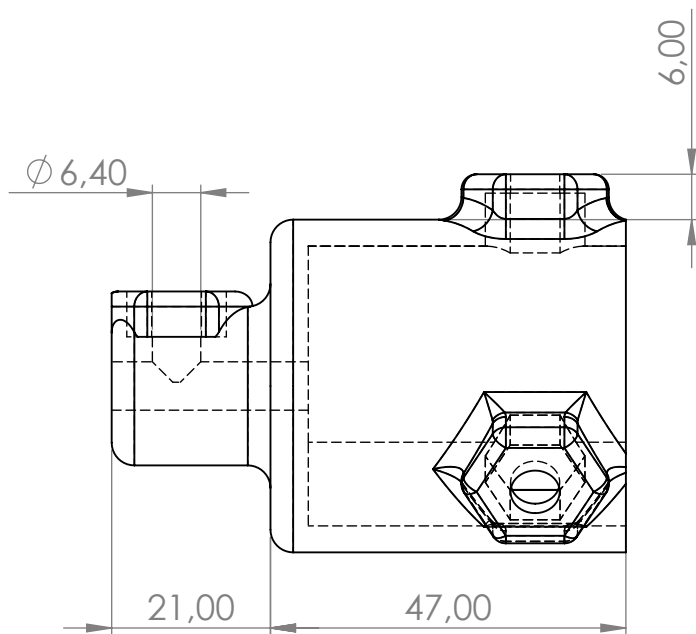


B

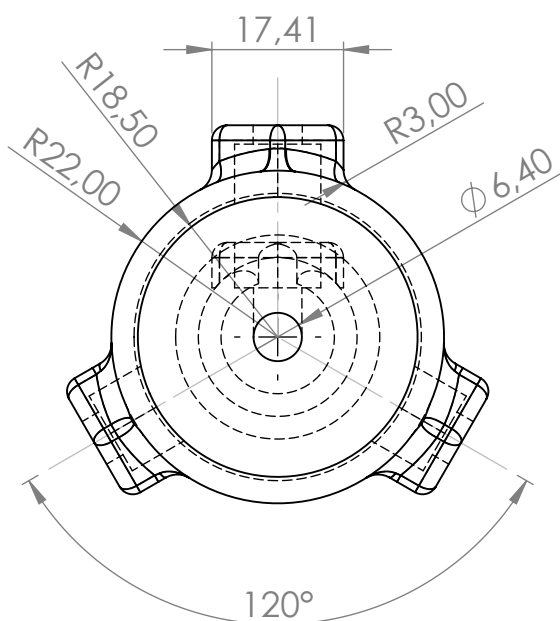


C

D



E



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 ± 0.1

Fecha

Nombre

Dibujado 01/02/2022

Revisado

Aprobado

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO N°:

ESCALA:

Mordaza Artesanal

1:2

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre



1

2

3

4

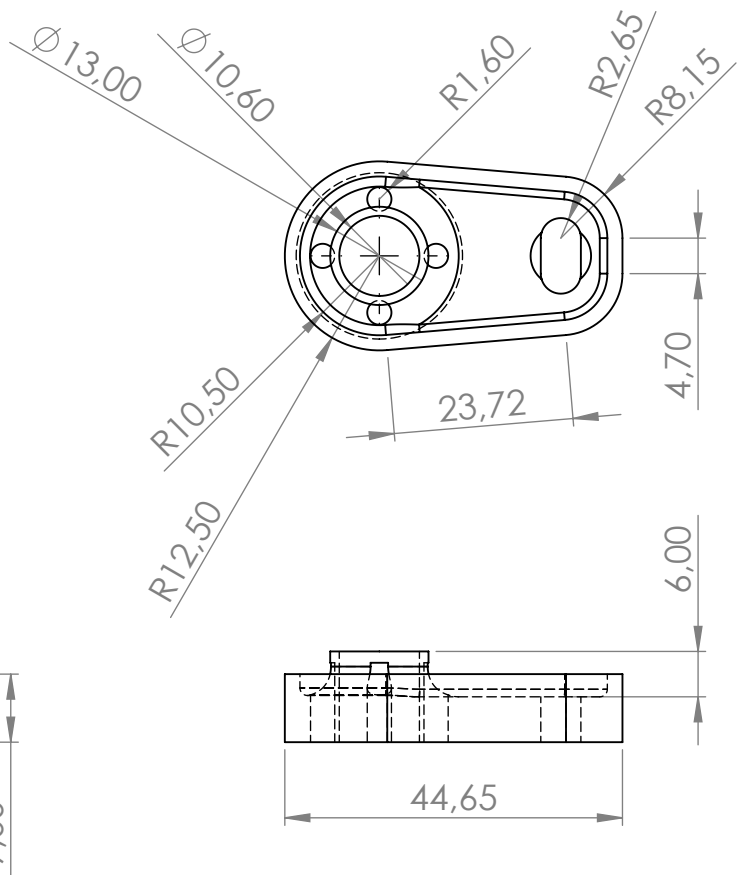
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	<h1>Anclaje</h1>	ESCALA:
				Dibujado 31/01/2022			1:1
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

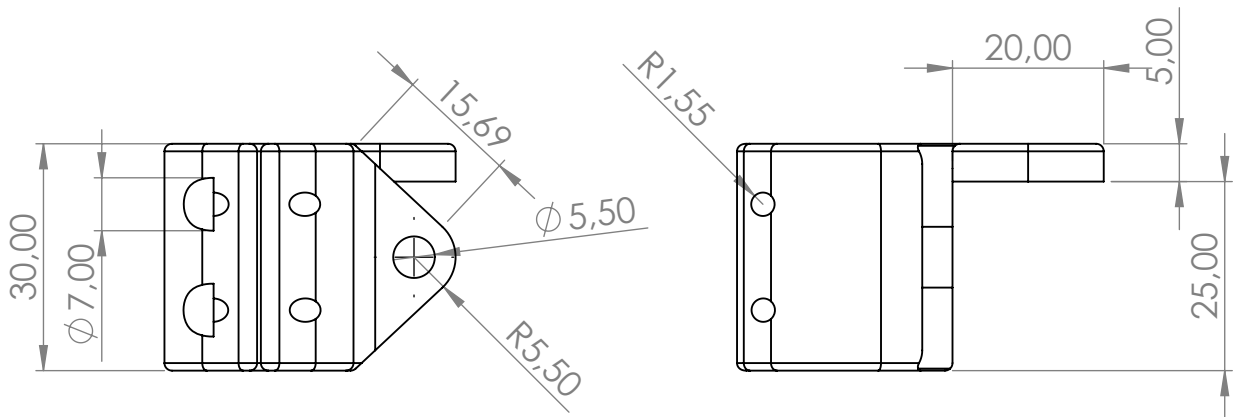
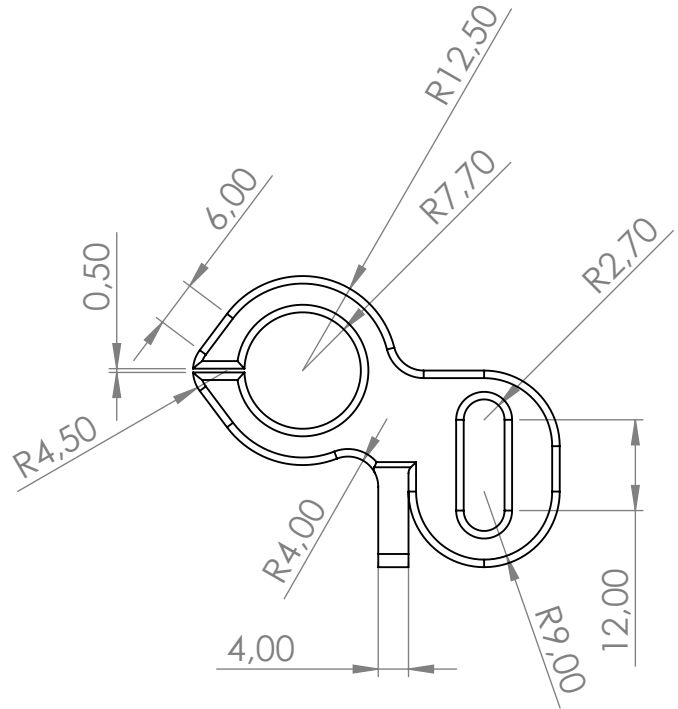
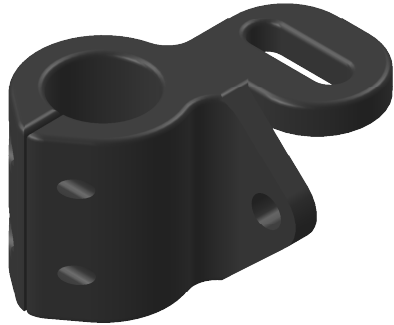
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	Soporte de viga	ESCALA:
			Dibujado	31/01/2022			1:1
			Revisado				
			Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

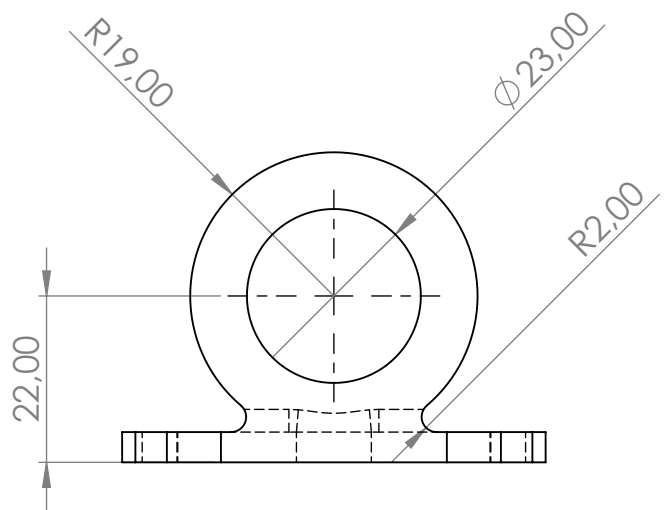
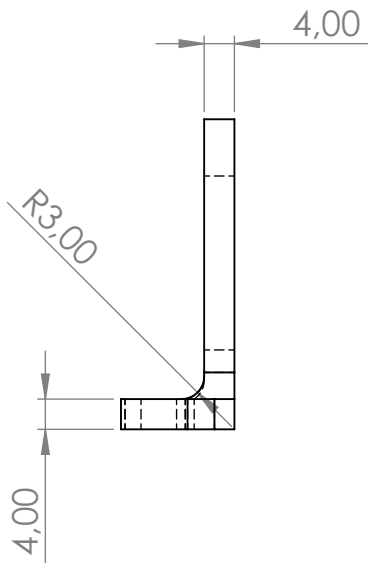
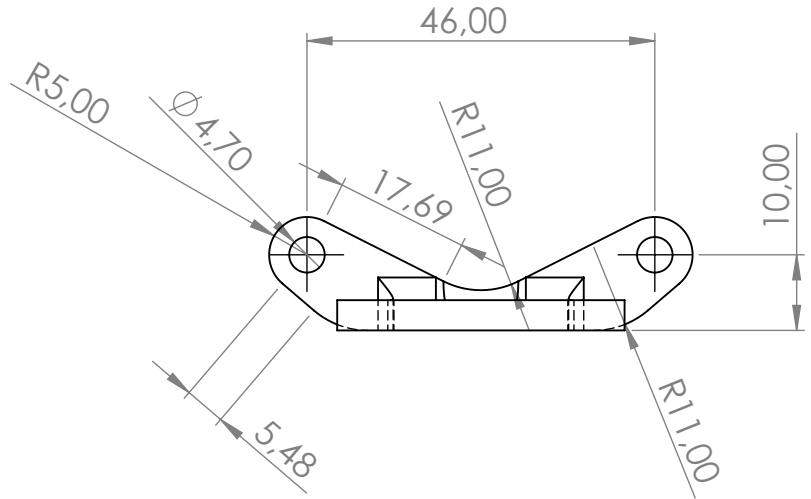
A


B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	Soporte de botones	
				Dibujado 01/02/2022			
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	ESCALA:
							1:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				HOJA:
							A4

1

2

3

4

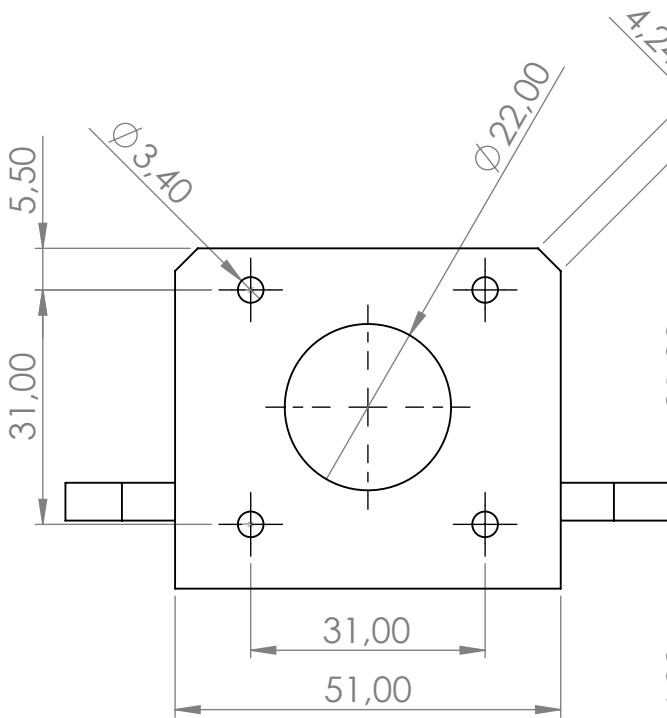
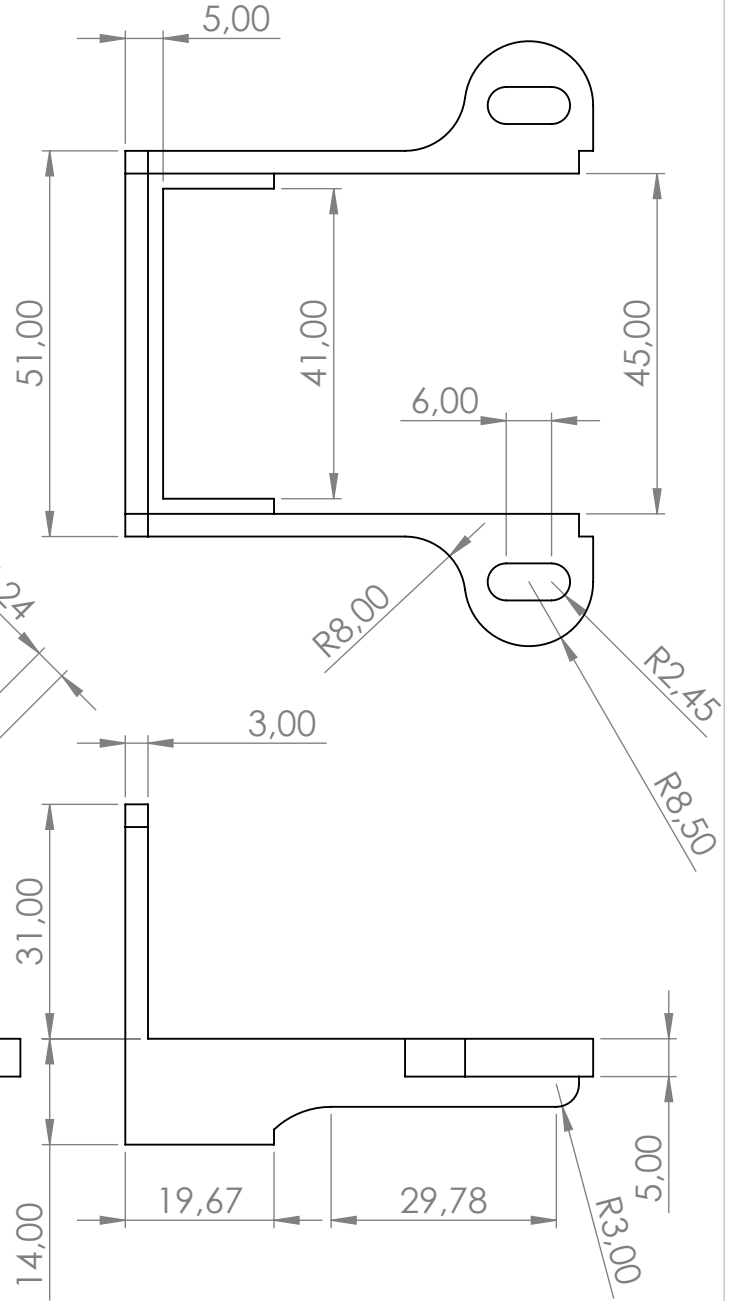
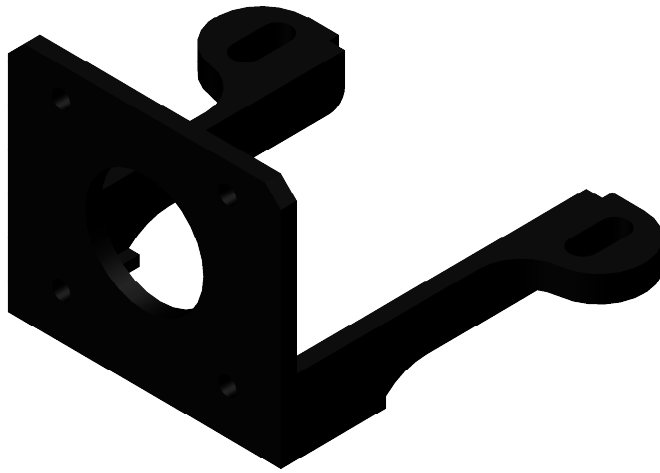
A


B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:		
				± 0.1				
				Fecha	Nombre	Soporte de motor a pasos		
				Dibujado 01/02/2022				ESCALA:
				Revisado				1:2
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:	
							A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

2

3

4

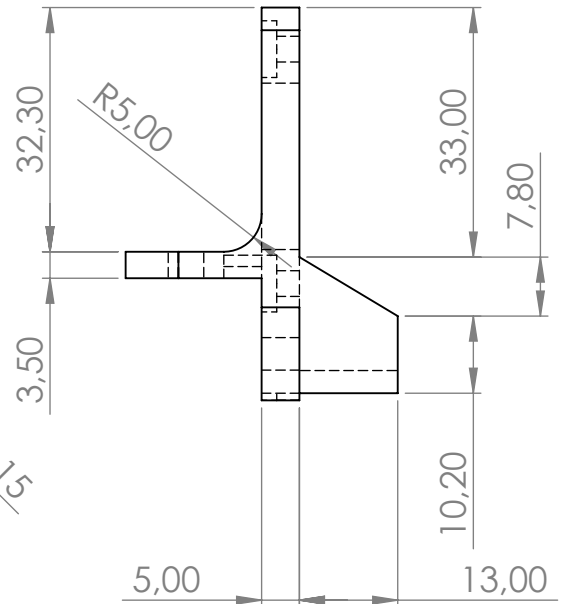
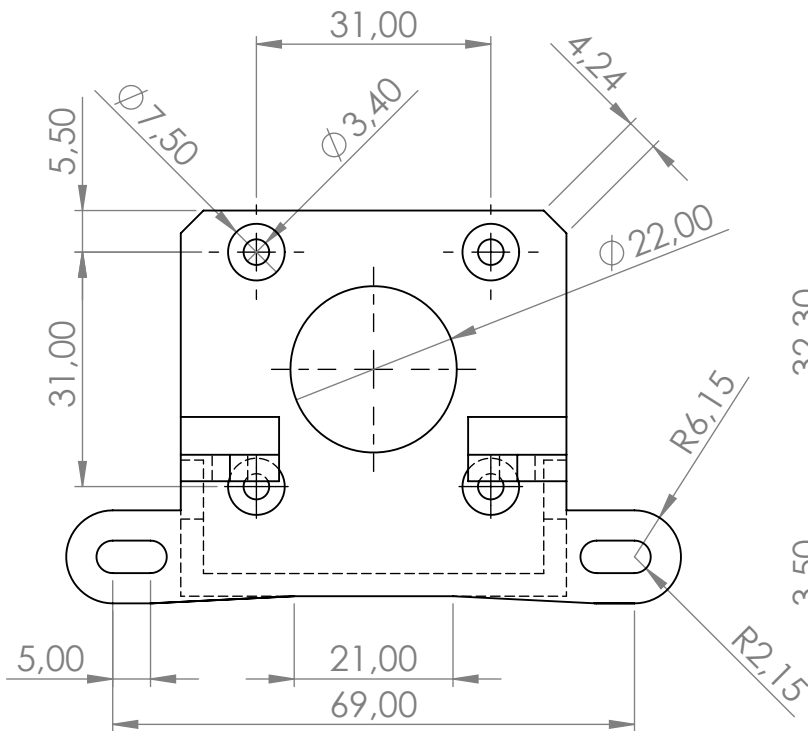
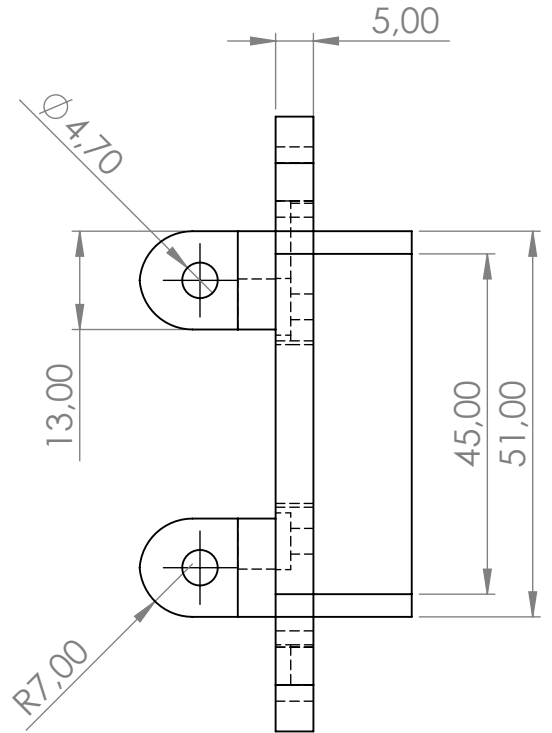
A

B

C

D

E



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 ± 0.1

Fecha

Nombre

Dibujado 01/02/2022

Revisado

Aprobado

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO Nº:

ESCALA:

Soporte de motor a pasos 2**1:2**

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre



1

2

3

4

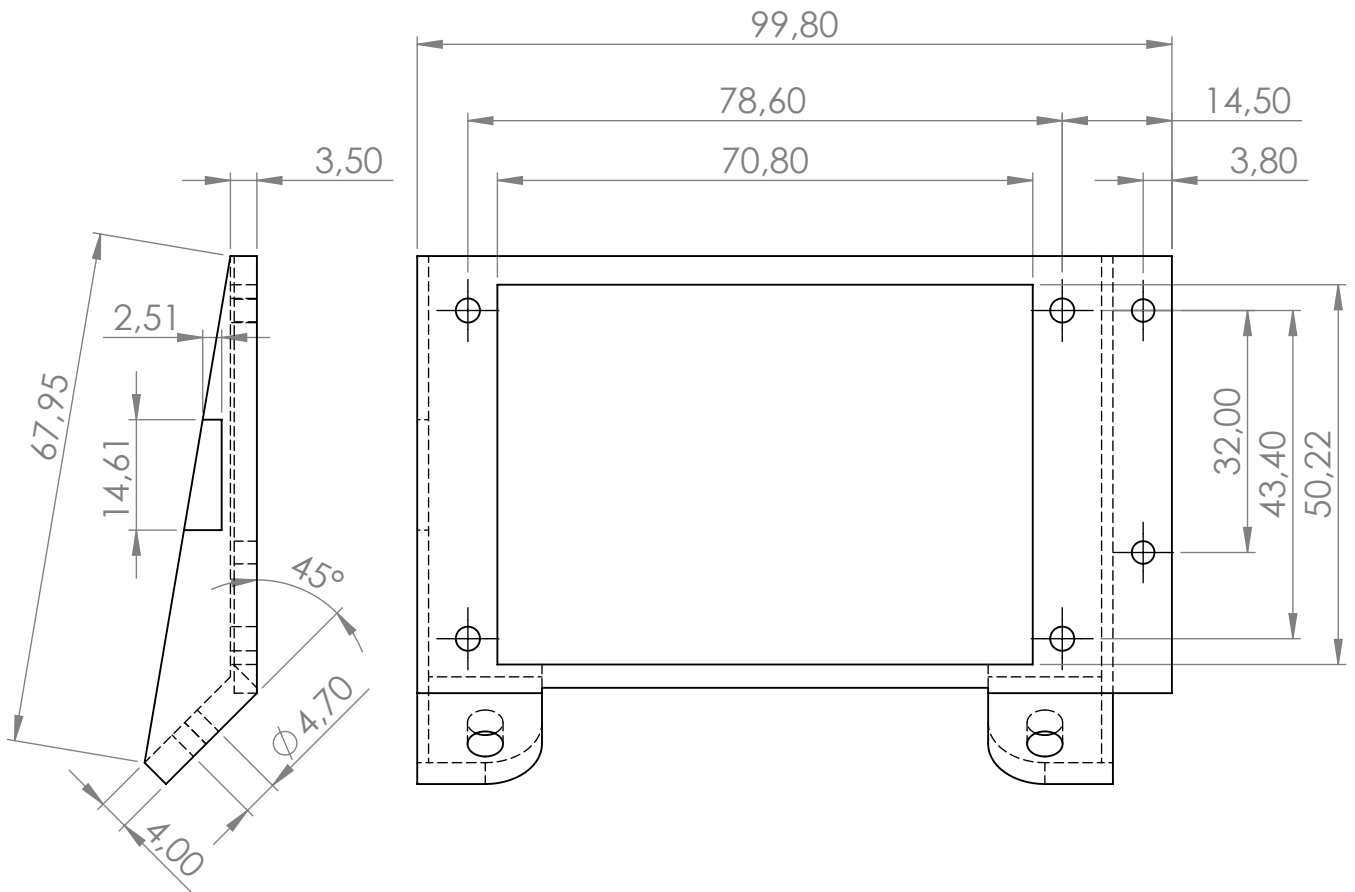
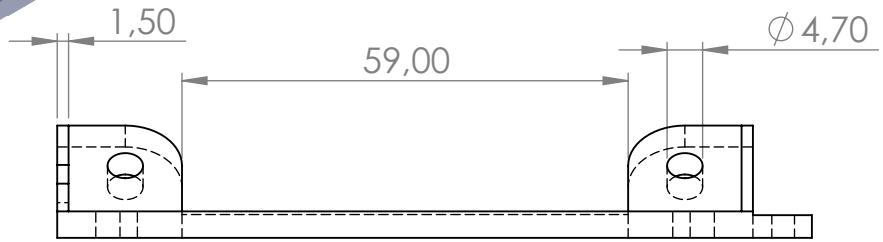
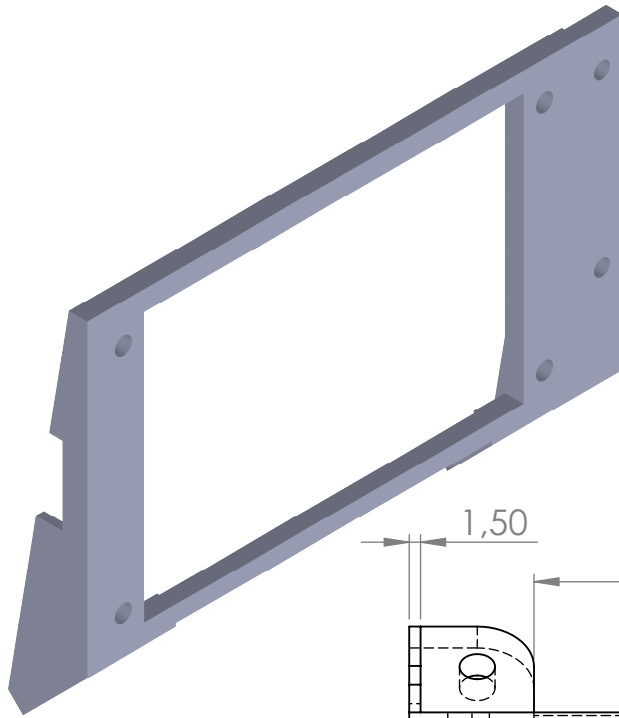
A

B

C

D

E



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 ± 0.1

Fecha

Nombre

Dibujado 01/02/2022

Revisado

Aprobado

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO N°:

ESCALA:

Soporte de pantalla

1:2

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre



1

2

3

4

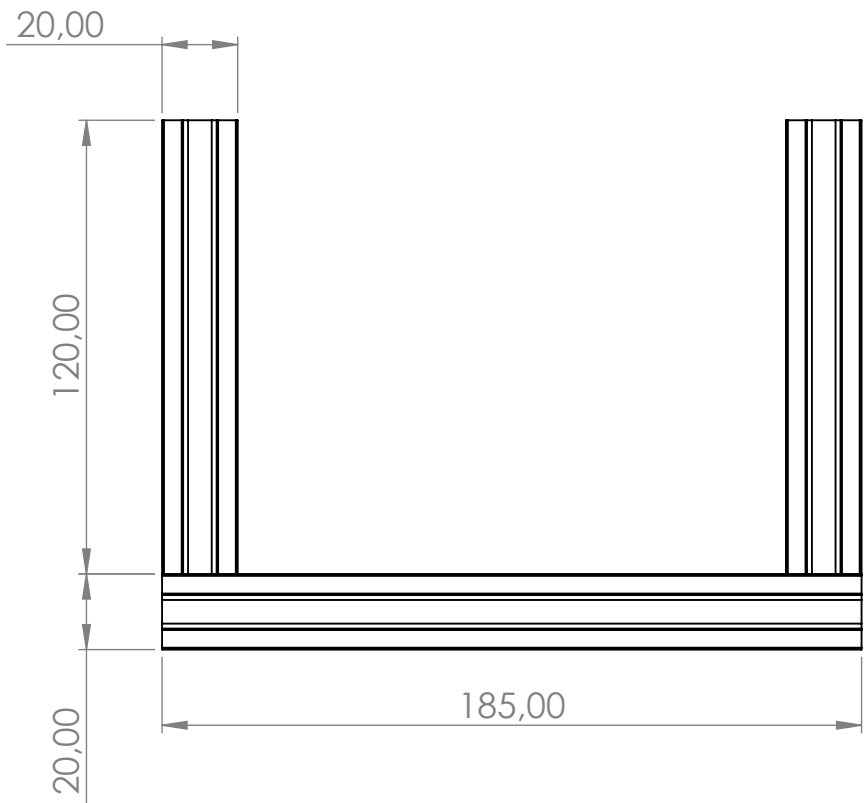
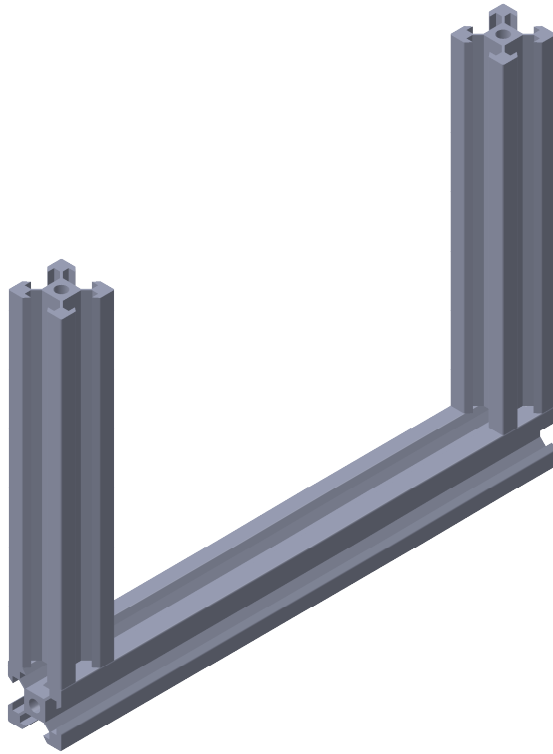
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	Soporte de niquelina	ESCALA:
				Dibujado 31/01/2022			1:2
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				