



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
SEMIAUTOMÁTICA PARA CORTE Y POSICIONAMIENTO DE CHAMPIÑONES EN
BANDEJAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: RODOLFO SEBASTIAN LÓPEZ COELLO

TUTOR: EDWIN MARCELO CASA CASA

Quito-Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rodolfo Sebastian López Coello con documento de identificación N.º 2350687279 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 22 de julio de 2025

Atentamente,



Rodolfo Sebastian López Coello

2350687279

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

Yo, Rodolfo Sebastian López Coello con documento de identificación N.º 2350687279, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Dispositivo Tecnológico: “Diseño y construcción de un prototipo de máquina semiautomática procesadora de champiñones para corte y posicionamiento en bandejas de poliestireno expandido”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 22 de julio de 2025

Atentamente,



Rodolfo Sebastian López Coello

2350687279

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo Casa Casa con documento de identificación N.º 0503405946, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PROCESADORA DE CHAMPIÑONES PARA CORTE Y POSICIONAMIENTO EN BANDEJAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, realizado por Rodolfo Sebastián López Coello con documento de identificación N.º 2350687279, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de julio de 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "EDWIN MARCELO CASA" with a small mark at the end.

Ing. Edwin Marcelo Casa Casa.MSc.

0503405946

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por iluminar mi camino y concederme salud y la fortaleza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres, Rodolfo Abelardo López Salazar y Patricia del Carmen Coello Jumbo, cuyo amor incondicional, sacrificio de diario y fe constante se han convertido en el cimiento de cada logro alcanzado. Su paciencia infinita, sus sabios consejos y el ejemplo de integridad y perseverancia que me han legado son, y seguirán siendo siempre, mi mayor inspiración.

A mi hermano, Patricio Rafael López Coello, compañero incansable de esta aventura, gracias por tu apoyo discreto pero firme y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A mis familiares, quiénes, con una palabra de aliento o un gesto de cariño, han contribuido a que este sueño sea posible.

A los docentes que han forjado mi formación académica; su dedicación, rigor y pasión por la enseñanza encendieron en mí el deseo permanente de aprender y superarme.

A mis laboratoristas, por su constante apoyo técnico y su disposición para compartir sus conocimientos prácticos permitiéndome convertir la teoría en experiencias reales de aprendizaje.

A mis amigos, por los momentos de alegría, las conversaciones que nutrieron mi espíritu y la comprensión brindada en los días difíciles.

A todas aquellas personas e instituciones que, de una u otra manera, aportaron su tiempo, conocimiento o recurso para que este proyecto se hiciera realidad.

Por último, y no menos importante, a mí mismo, por la dedicación de no rendirme, por mantener la disciplina cuando las fuerzas se agotaban y por recordar que cada obstáculo es sólo un peldaño más en el camino hacia las metas.

Gracias a todos por ser parte de esta etapa fundamental en mi vida.

Rodolfo López

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVI
PROBLEMA.....	1
OBJETIVO DE ESTUDIO.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS:	4
GENERAL:.....	4
ESPECÍFICOS:.....	4
METODOLOGÍA.....	5
DESCRIPCIÓN BREVE DE CADA UNO DE LOS CAPÍTULOS	6
Capítulo I	6
Capítulo II.....	6
Capítulo III.....	7
Capítulo IV.....	7
CAPÍTULO I	8
Marco teórico	8
1.1. Antecedentes	8
1.2. Características de los champiñones	9
1.3. Corte manual.....	10
1.4. Corte automático.....	10
1.5. Técnicas de seguridad e higiene alimentaria	11

1.6. Tipos de cortes	11
1.7. Tipos de cuchillas para corte de champiñones.....	13
1.8. Material para uso de grado alimenticio.....	14
1.9. Motores a pasos.....	15
1.10. Movimientos dimensionales	16
1.11. Sensores analógicos y digitales.....	17
1.11.1. Tipos de sensores digitales.....	17
1.11.2. Tipos de sensores analógicos	17
1.12. Automatización industrial	17
1.13 Tipos de máquinas automática relacionadas y existentes en el mercado.....	18
CAPÍTULO II.....	20
Análisis de alternativas	20
2.1 Alternativas de tipo de máquina.....	20
2.1.1. Máquina automática.....	20
2.1.2. Máquina semiautomática	20
2.1.3. Máquina manual.....	20
2.2. Clasificación de las alternativas del tipo de máquina	21
2.3. Alternativa de movimiento para la mesa cartesiana.....	22
2.3.1. Husillo de bolas.....	22
2.3.2. Husillo trapezoidal	22
2.3.3. Banda dentada.....	23
2.4. Clasificación de las alternativas de movimiento de la mesa cartesiana.....	23
2.5. Alternativa de cuchilla para el sistema de corte del champiñón	24
2.5.1. Cuchilla recta	24
2.5.2. Cuchilla circular.....	25

2.6. Clasificación de las alternativas de las cuchillas	25
2.7. Alternativa para motores a pasos	26
2.7.1. Nema 23 23HS5102.....	26
2.7.2. Nema 17 17HS4023.....	27
2.7.3. Nema 17 17HS3401.....	27
2.8. Clasificación de las alternativas de motores a pasos	28
2.9. Alternativa de controlador del motor a pasos	29
2.9.1. Driver TB6600	29
2.9.2. Driver A4988	29
2.9.3. Driver Easyv4.4 pins.....	30
2.10. Clasificación de las alternativas de drivers para el control de motor	30
2.11. Alternativas de sensor celda de carga 5 kg.....	31
2.11.1 Celda de carga HX711	31
2.11.2. Hbm pw27a.....	32
2.11.3. SP4M.....	32
2.12. Clasificación de alternativas de sensores de peso.....	33
2.13. Material	33
2.13.1. Acero inoxidable 316	33
2.13.2. Acero AISI 304	34
2.13.3. Acero AISI 410	34
2.14. Clasificación de las alternativas de material	34
2.15. Selección de rodamientos	35
2.15.1. LM8UU.....	35
2.15.2. SC8UU	35
2.15.3. LME8UU	36

2.16. Clasificación de las alternativas de material	36
CAPÍTULO III.....	38
Diseño y simulación.....	38
3.1. Arquitectura electrónica.....	38
3.2. Descripción del sistema	39
3.3. Funcionamiento del sistema.....	40
3.4. Diagrama de flujo de la cortadora y posicionadora de champiñones	44
3.5. Descripción del sistema	45
3.6. Arquitectura electrónica.....	46
3.7. <i>Diseño en software CAD (SolidWorks)</i>	47
3.8. Cálculos y selección.....	49
3.8.1 Cálculo de las masas	49
3.8.2 Análisis estático estructural	50
3.9 Análisis de soldadura en estructura de sistema de corte	57
3.9.1. Especificaciones de diseño	57
3.9.2. Área efectiva de la soldadura.....	58
3.9.3. Esfuerzo cortante aplicado	58
3.9.4. Esfuerzo cortante admisible.....	58
3.10. Análisis y selección de pernos	59
3.11. Selección del calibre del cable por norma IEC/NEC	62
3.11.1. Cálculo del par del motor.....	64
3.12. Conclusión del diseño y simulación	67
CAPÍTULO IV.....	68
Pruebas y resultados.....	68
4.1 Seguimiento del prototipo.....	68

4.2 Comprobación de hipótesis.....	70
4.3 Resultados del funcionamiento continuo del prototipo.	71
4.4 Comprobación de resultados.....	74
4.5 Análisis de costo de la implementación del proyecto	74
4.6 Justificación de costos.....	78
4.7. Análisis económico	79
4.8 Discusión de resultados.....	82
4.9. Sostenibilidad Del prototipo	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES.....	85
LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	92
Anexo 1. Manual de usuario	92
Anexo 2. Código del sistema de control y su explicación	95
Explicación del Código.....	104
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del AISI 304[25]	15
Tabla 2. Alternativas del tipo de máquina.....	21
Tabla 3. Clasificación de alternativas para tipos de movimientos lineales.....	24
Tabla 4. Clasificación de alternativas de cuchillas para el corte del champiñón.	26
Tabla 5. Clasificación de alternativas para el motor a pasos.	28
Tabla 6. Clasificación de alternativas para el Driver del motor a pasos	31
Tabla 7. Clasificación de alternativas para el sensor de celda de carga.....	33
Tabla 8. Clasificación de alternativas de materiales	34
Tabla 9. Clasificación de alternativas de materiales	36
Tabla 10. Componentes electrónicos del prototipo.....	39
Tabla 11. Características mecánicas del rodamiento lineal SC8UU.....	42
Tabla 12. Característica de la banda dentada GT2.....	43
Tabla 13. Elementos para la construcción de la máquina	49
Tabla 14. Características del Perno M5	61
Tabla 15. Características del perno M4.....	61
Tabla 16. Sumatoria de consumo de corriente del prototipo.	62
Tabla 17. Selección del calibre para el cable.	62
Tabla 18. Definición de los colores para el cableado del prototipo	63
Tabla 19. Calidad del posicionamiento	71
Tabla 20. Muestra de tiempos del ciclo de rebanado y posicionamiento.....	72
Tabla 21. Muestra del peso del plato de champiñones.....	73
Tabla 22. Análisis de resultados.....	74
Tabla 23. Tabla de costos de implementos para el prototipo	75
Tabla 24. Mano de obra indirecta	76
Tabla 25. Costos indirectos	77
Tabla 26. Costos Generales del proyecto	77
Tabla 27. Flujo de caja	79
Tabla 28. inversión.....	79
Tabla 29. VAN.....	80
Tabla 30. Periodos para obtener rentabilidad.....	81

Tabla 31. Componentes de la maquina	92
Tabla 32. Frecuencia de Mantenimiento	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte tipo rodaja.....	12
Figura 2. Corte tipo Rondelle.....	12
Figura 3. Corte tipo Chips.....	13
Figura 4. Cuchillas circulares[22].....	13
Figura 5. Cuchillas rectas.....	14
Figura 6. Tipos de motores a pasos.....	16
Figura 7. Dimensiones espaciales.....	17
Figura 8. Husillo de bolas [33].....	22
Figura 9. Husillo y tuerca trapezoidal [35].....	23
Figura 10. Ejes accionados por correa dentada [37].....	23
Figura 11. Cuchillas rectas planas con 3 agujeros[39].....	25
Figura 12. Cuchillas industriales circulares para alimento[40].....	25
Figura 13. Motor Nema 23.....	27
Figura 14. Motor a pasos Nema 17 corto[43].....	27
Figura 15. Motor a pasos híbrido [42].....	28
Figura 16. Driver TB6600 y sus partes[45].....	29
Figura 17. Driver a 4988 y su diagrama[47].....	29
Figura 18. Driver Easy v4.4 y sus pines[49].....	30
Figura 19. Celda de carga con su módulo HX 711 conectado a un controlador Arduino[51].....	32
Figura 20. Celda de carga de punto único[53].....	32
Figura 21. Celda de carga de un solo punto de aluminio SP4M[55].....	32
Figura 22. LM8UU.....	35
Figura 23. SC8UU.....	35
Figura 24. LME8UU.....	36
Figura 25. Rodamiento lineal SC8UU.....	41
Figura 26. Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina.....	45
Figura 27. Diagrama eléctrico de la transformación de 110V AC a 12V DC.....	47
Figura 28. Conexión del Driver TB6600 al motor a pasos Nema 17.....	47
Figura 29. Vista isométrica del ensamblaje posicionada de champiñón.....	48

Figura 30. Vista explosionada del ensamblaje de la máquina cortadora y posicionadora de Champiñones.....	48
Figura 31. Análisis numérico del movimiento en el eje x.....	50
Figura 32. Diagrama de cuerpo libre mesa 2	51
Figura 33. Diagrama de fuerzas cortantes.....	52
Figura 34. Mesa de movimiento en el eje Y	53
Figura 35. Diagrama de cuerpo libre	54
Figura 36. Diagrama del momento flector.....	54
Figura 37. Diagrama de fuerzas cortantes.....	55
Figura 38. Estructura de soporte para el sistema de corte.....	55
Figura 39. Diagrama de cuerpo libre	56
Figura 40. Diagrama de fuerzas cortante.	57
Figura 41. Zonas en donde existe una conexión empernada	59
Figura 42. Dirección de las fuerzas de miembros estructurales.....	60
Figura 43. Vista isométrica del prototipo.....	68
Figura 44. Módulo de conexiones del Arduino Mega 2560.....	69
Figura 45. Alzas en los soportes del eje.....	69
Figura 46. Sistema de ajuste de bandas	70
Figura 47. Comparación del número de rebanadas de las muestras	71
Figura 48. Recolección de tiempos por ciclo cumplido.....	72
Figura 49. Comparación del pesaje del prototipo con una balanza calibrada.....	73

RESUMEN

En el presente proyecto, fueron desarrolladas las etapas de diseño, construcción y evaluación de un prototipo de máquina semiautomática destinada al corte y posicionamiento de champiñones en bandejas de poliestireno expandido, con el propósito de que fuese optimizado el proceso manual actualmente empleado. Las principales limitaciones del corte artesanal, como la falta de uniformidad, los tiempos prolongados de operación y los riesgos asociados a la higiene, fueron identificadas y analizadas.

El sistema fue concebido como una solución mecatrónica que integra un Arduino Mega 2560, un motor paso a paso Nema 17, sensores de peso y finales de carrera. Estos componentes fueron previamente modelados en el entorno CAD de SolidWorks y validados estructuralmente mediante simulaciones por elementos finitos.

Una eficiencia operativa significativa fue alcanzada, evidenciada en la reducción del tiempo de ciclo de 3 a 1 minuto, manteniéndose el peso por bandeja dentro del rango aceptable de 279 a 281 g, con una tolerancia de +0.4 %. Asimismo, se garantizó una repetibilidad en el corte con errores menores a ± 1 mm. Con una inversión total de 466 USD, la viabilidad técnica y económica del sistema fue demostrada.

Los ensayos experimentales ejecutados permitieron la validación de la hipótesis inicial y condujeron al cumplimiento de todos los objetivos planteados, estableciéndose una base robusta para el desarrollo de versiones escalables del sistema en futuras investigaciones.

Palabras clave: Máquina semiautomática, sistema de posicionamiento cartesiano, cuchilla recta, celda de carga, grado alimenticio.

ABSTRACT

In this project, the design, construction, and evaluation stages of a prototype semi-automatic machine for cutting and positioning mushrooms in expanded polystyrene trays were developed with the goal of optimizing the manual process currently used. The main limitations of artisanal cutting, such as lack of uniformity, long operating times, and associated hygiene risks, were identified and analyzed.

The system was conceived as a mechatronic solution integrating an Arduino Mega 2560, a Nema 17 stepper motor, weight sensors, and limit switches. These components were previously modeled in the SolidWorks CAD environment and structurally validated through finite element simulations.

Significant operational efficiency was achieved, evidenced by a reduction in cycle time from 3 to 1 minute, while maintaining the weight per tray within the acceptable range of 279 to 281 g, with a tolerance of +0.4%. Furthermore, cutting repeatability was guaranteed with errors less than ± 1 mm. With a total investment of USD 466, the technical and economic viability of the system was demonstrated.

The experimental tests carried out validated the initial hypothesis and led to the fulfillment of all the proposed objectives, establishing a solid foundation for the development of scalable versions of the system in future research.

Keywords: Semi-automatic machine, Cartesian positioning system, straight blade, load cell, food grade.

PROBLEMA

En el mercado ecuatoriano actual, existe una creciente demanda de productos alimenticios frescos con altos estándares de calidad y presentación. Sin embargo, la producción de ciertos alimentos como las rebanadas de champiñones, presenta desafíos significativos en términos de eficiencia y seguridad.[1][2]

El proceso convencional de rebanado y envasado de los champiñones se realiza de manera manual; el cual, consta en que la persona corta manualmente el champiñón en rodajas y las coloca en la bandeja de poliestireno expandido (EPS), poniendo en riesgo su integridad física al encontrarse propenso a cortes, falta de exactitud en el grosor de las rebanadas, una presentación inconsistente del producto al colocarlas de manera desigual en la bandeja. Todos los procesos antes mencionados tienden a ser ineficientes, en virtud de que son ejecutados de manera manual por los individuos.[3]

Esto limita la capacidad de producción; por lo tanto, genera pérdidas económicas y desperdicio de producto, para resolver esta situación se propone el desarrollo y la construcción de un prototipo de máquina semiautomática, que permitirá obtener cortes precisos y una distribución adecuada en las bandejas; de modo que, se incremente la productividad y se reduzca la mano de obra convencional.[4]

Por ese motivo se planteó la siguiente pregunta: ¿De qué manera se puede disminuir los tiempos de corte del champiñón y reducir la fatiga humana y aumentar la higiene?

OBJETIVO DE ESTUDIO

El objetivo de estudio del proyecto es encontrar una forma para cortar el champiñón entender la necesidad de poner en riesgo al operador manipular un cuchillo y hacer un corte de manera manual, por eso se requiere implementar un sistema de corte y posicionamiento se me automático de acero inoxidable.

JUSTIFICACIÓN

La semiautomatización del proceso de corte y posicionamiento de champiñones ofrece varias ventajas, por ello es necesario diseñar y construir un prototipo semiautomático que ayude al aumento de la eficiencia; debido a que, se reduciría el tiempo de procesamiento y la necesidad de mano de obra, mejorando la calidad del producto asegurando un corte uniforme y un ordenamiento preciso, mejorando la presentación del producto y reduciendo el desperdicio de producto.[5]

Se reduce la manipulación del producto, mejorando significativamente las condiciones de higiene y logrando incrementar la capacidad de procesamiento, lo que permite satisfacer una mayor demanda.[6]

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Diseñar y construir un prototipo de máquina semiautomática para corte y posicionamiento de champiñones en bandejas de poliestireno expandido.

ESPECÍFICOS:

- Analizar las principales problemáticas del proceso manual de corte de champiñones mediante la recopilación de información de técnicas de seguridad e higiene alimentaria para la obtención de los parámetros de funcionamiento del prototipo.
- Diseñar un sistema mecatrónico para el proceso de corte y posicionamiento de champiñones mediante el uso de software de simulación y la selección de actuadores y sensores para el desarrollo de un sistema de control sincronizado de movimientos.
- Evaluar el prototipo de la máquina semiautomática mediante pruebas de campo comprobando la viabilidad y el desempeño del prototipo.

METODOLOGÍA

1. Investigación y análisis: Recopilación de información sobre máquinas similares, tecnologías disponibles y requisitos del proceso.
2. Diseño conceptual: Desarrollo de diferentes conceptos de la máquina y selección de la mejor.
3. Diseño detallado: Diseño de los componentes mecánicos, electrónicos y de control.
4. Construcción del prototipo: Fabricación y ensamblaje de los componentes.
5. Pruebas y optimización: Realización de pruebas para verificar el funcionamiento del prototipo y realizar ajustes necesarios.
6. Evaluación: Evaluación del desempeño del prototipo y comparación con los objetivos establecidos.

DESCRIPCIÓN BREVE DE CADA UNO DE LOS CAPÍTULOS

Capítulo I

Se establece el marco teórico de la investigación, abarcando desde la evolución histórica de la comercialización del champiñón y sus características nutricionales, hasta la comparación entre el corte manual y automático. Se exploran las técnicas de seguridad e higiene alimentaria, la automatización industrial aplicada al proceso de corte, los diferentes tipos de cortes y cuchillas utilizadas en la industria. Además, se detallan los movimientos dimensionales, los motores a pasos, sensores analógicos y digitales, todo esto es importante para el diseño del prototipo de la máquina cortadora y posicionador de champiñones.

Se fundamenta la necesidad de una solución automatizada para el corte de champiñones, destacando las ventajas en eficiencia, calidad, seguridad y competitividad que ofrece la tecnología. Se subraya la importación de buenas prácticas de manufactura y la automatización industrial para optimizar el proceso, reduciendo riesgos laborales y mejorando la presentación del producto.

Capítulo II

En este capítulo se evaluaron diversas alternativas para el diseño de una máquina semiautomática cortadora y posicionadora de champiñones, por lo cual, se realizan 3 tipos de máquinas, seleccionando así la semiautomática por su equilibrio entre la automatización y la flexibilidad.

Para el sistema de movimiento lineal de la mesa cartesiana, se eligió la correa dentada debido a su bajo costo, buena velocidad y fácil mantenimiento. La cuchilla recta fue seleccionada con un sistema de corte por su simplicidad, seguridad y eficiencia.

También se escogió el motor Nema 17 17HS3401 por su tamaño compacto, eficiencia y disponibilidad en el mercado junto con su Driver TB 6600 ya que éste cuenta con una buena robustez y capacidad de control, en el sistema de pesaje, se optó por una celda de carga compatible con el Arduino Mega por su bajo costo y facilidad de integración. Finalmente se seleccionó acero inoxidable 304 como material principal para su resistencia a la corrosión, facilidad al soldarse y su uso en la industria alimentaria.

Capítulo III

En este capítulo se presenta el diseño integral del prototipo en el cual se ensaya la arquitectura electrónica, mecánica y estructural, también se detallan los componentes seleccionados y se describe el funcionamiento semiautomático del sistema, desde la inicialización hasta la ejecución del ciclo de corte, así como el análisis del cableado, la selección de materiales y el cálculo de consumo eléctrico, garantizando la seguridad y eficiencia operativa.

Además, se analizaron simulaciones en SolidWorks y MD Solids para validar el diseño estructural, aplicando cálculos de fuerzas, momentos flectores y factor de seguridad. También se analizan los pernos de sujeción, el calibre del cableado según la norma IEC y el cálculo del par motor

Capítulo IV

En este capítulo se validó el funcionamiento del prototipo, ya que se realizaron pruebas para evaluar la precisión del corte, el funcionamiento del producto, la exactitud del pesaje y el tiempo por ciclo. Los resultados demuestran un alto grado de uniformidad en el corte, un tiempo de ejecución de 60 segundos por ciclo.

También se realizó un análisis de costo; el cual, determinó que la inversión total fue de 400 USD, lo que representa una solución económica. El diseño modular, el uso de materiales duraderos como el acero inoxidable 304 y componentes electrónicos de bajo consumo aportan a la sostenibilidad del proyecto.

CAPÍTULO I

Marco teórico

En el presente capítulo se presentan los fundamentos teóricos en los que se basa la investigación y desarrollo del proyecto propuesto. Se trata las principales definiciones relacionadas con el champiñón, el tipo de cuchilla y de corte, movimientos dimensionales, motores a pasos, sensores analógicos y digitales; además, se analizan las posibles alternativas de diseño y se fundamenta el uso de una máquina cortadora de alimentos para el presente proyecto.

1.1. Antecedentes

La comercialización de champiñones tiene una historia que se remonta siglos atrás, aunque su producción a escala comercial se desarrolla en la actualidad. Se cree que el cultivo del champiñón (*Agaricus bisporus*) comenzó en Francia durante el siglo XVII, específicamente cerca de París. Inicialmente, los champiñones se cultivaban en cuevas o minas abandonadas donde la temperatura y humedad eran favorables.[7]

A lo largo del siglo XIX, el cultivo de este hongo se extendió a países europeos y posteriormente por América del Norte. Se desarrollaron técnicas de cultivo más eficientes; lo cual, permitió aumentar la producción y la disponibilidad de champiñones en el mercado. Actualmente, la comercialización del champiñón se ha consolidado a nivel mundial, con la aparición de grandes producciones y distribuidores. Estos se desarrollan en instalaciones modernas y se controlan para una producción constante y de alta calidad. [8]

El mercado nacional de champiñones se concentra principalmente en las provincias de Pichincha y Carchi, destinando su producción al consumo interno ecuatoriano. Según datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, estas provincias contribuyen con el 80% de la producción total, mientras que el 20% restante proviene de importaciones.[9]

1.2. Características de los champiñones

Los Champiñones (hongos comestibles) denominados así en Latinoamérica o como lo llaman en España setas, son clasificados dentro del reino Fungí, representan organismos eucariotas heterótrofos de vital importancia ecológica, desempeñando un rol fundamental como descomponedores en diversos ecosistemas. [10]

Su perfil nutricional se caracteriza por una rica composición que incluye proteínas de alta calidad, un espectro de vitaminas del complejo B y minerales esenciales como el selenio, potasio y fósforo, confiriéndoles un alto valor alimenticio. Además, estos hongos contienen compuestos bioactivos, como polisacáridos y triterpenos, que les atribuyen propiedades nutracéuticas, gastronómicas y medicinales. [11]

Su inclusión en la dieta humana representa una opción alimentaria viable y saludable, gracias a su elevado valor nutricional y potencial para promover la salud.[12]

El champiñón (*Agaricus bisporus*) se compone de tres estructuras principales:

- **El sombrero:** Es de forma redondeada y carnosa, varía en tamaño según la edad del hongo, pudiendo alcanzar hasta 15 cm de diámetro, aunque para fines comerciales se prefiere su recolección en estadios más tempranos.
- **El pie o estipe:** Es de forma cilíndrica, cumple la función de soporte del sombrero. Su superficie es lisa y de color blanco, y en su base se conecta con el micelio, la red de filamentos que se desarrolla en el sustrato.
- **El himenio:** Ubicado en la parte inferior del sombrero, está constituido por laminillas radiales que se extienden desde el pie hasta el borde del sombrero. Inicialmente de color rosado, estas laminillas adquieren tonalidades pardas o negras a medida que el hongo madura. En los ejemplares jóvenes, el himenio se encuentra protegido por el velo, una membrana que conecta el sombrero con el pie. Al alcanzar la madurez, el velo se rompe, dejando como remanente el anillo, una estructura que rodea el pie. Entre las laminillas se producen millones de esporas, que al germinar dan origen al micelio, la estructura vegetativa del hongo.[13]

1.3. Corte manual

El proceso de corte manual de champiñones se caracteriza por su lentitud y alta demanda de mano de obra; lo cual, repercute negativamente en los costos y eficiencia de la producción. Esta metodología puede generar inconsistencias en la calidad del corte debido a la fatiga y la variabilidad en la habilidad del operario, afectando la presentación y la vida útil del producto. Asimismo, la realización de movimientos repetitivos y el mantenimiento de posturas incómodas durante el corte manual incrementa el riesgo de lesiones musculoesqueléticas, lo que conlleva implicaciones económicas y de salud para los trabajadores. [14]

Adicionalmente, la manipulación manual de los champiñones aumenta el riesgo de contaminación microbiana, lo que puede comprometer la seguridad alimentaria del producto. El corte manual también puede ocasionar daños físicos a los champiñones, deteriorando su apariencia y calidad. La dependencia de la mano de obra en este proceso conlleva un aumento en los costos de producción y una disminución en la competitividad de la empresa en el mercado.[15]

1.4. Corte automático

El corte automático de champiñones representa una alternativa moderna y eficiente al método manual, superando muchas de sus limitaciones.[16]

Este proceso se caracteriza por:

- **Mayor eficiencia y productividad:** Las máquinas de corte automático pueden procesar grandes volúmenes de champiñones en menos tiempo, lo que reduce significativamente los costos de producción y aumenta la productividad. La automatización minimiza la dependencia de la mano de obra, lo que permite una producción más constante y predecible.[17]
- **Uniformidad y calidad de corte:** Las máquinas están diseñadas para realizar cortes precisos y uniformes, lo que mejora la presentación del producto y prolonga su vida útil. Se reduce el daño físico a los champiñones, lo que preserva su calidad y apariencia.
- **Reducción de riesgos laborales:** La automatización disminuye la necesidad de movimientos repetitivos y posturas incómodas, lo que reduce el riesgo de lesiones musculoesqueléticas en los trabajadores.[18]

- **Mayor higiene y seguridad alimentaria:** El contacto humano con los champiñones se reduce al mínimo, lo que disminuye el riesgo de contaminación microbiana y mejora la seguridad alimentaria del producto.
- **Competitividad mejorada:** La automatización de los procesos de producción reduce costos y mejora la calidad, lo que aumenta la competitividad de la empresa en el mercado.

Existe una gran diferencia entre ambos tipos de corte. El manual es lento, laborioso y propenso a aumentar el riesgo de lesiones y contaminación; por otro lado, el corte automático es rápido, eficiente, preciso y reduce los riesgos de lesión, contaminación y la dependencia de la mano de obra.[18]

1.5. Técnicas de seguridad e higiene alimentaria

Las buenas prácticas de manufactura (GMP, por sus siglas en inglés) aseguran la calidad y seguridad del producto mediante la implementación de procesos y procedimientos estandarizados. El análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas en inglés) se encarga de identificar y controlar los peligros potenciales que puedan surgir durante la producción. Las regulaciones, estandarizaciones de higiene norman y regulan el aseo personal, la limpieza de equipos y la sanidad de los entornos de producción.

Es imperativo considerar la calidad del agua, ya que el uso de agua limpia y potable en todas las etapas del proceso es significativo. El manejo sanitario de los equipos, mediante la limpieza y desinfección regular de estos y de los contenedores, resulta esencial para garantizar la inocuidad del producto. Todo lo anteriormente mencionado es fundamental para cumplir con los estándares de la norma ISO 22000, la cual se erige como un estándar internacional para los sistemas de gestión de la seguridad alimentaria.[19]

Esta norma exige que incluso en procesos automatizados o semiautomáticos, cómo es el caso de la máquina cortadora y posicionadora de champiñones, se garantice que el equipo no representa un riesgo para la inocuidad del producto, promoviendo así un entorno de procesamiento seguro, higiénico del producto alimenticio.

1.6. Tipos de cortes

La precisión y técnica en el control de los alimentos son fundamentales en la gastronomía. Más allá de la estética, cada tipo de corte influye directamente en la cocción, la textura y la presentación

final de un plato, lo que permite realzar los sabores y crear presentaciones visualmente atractivas. A continuación, se detallan los cortes más comunes y sus aplicaciones en la cocina:[20]

- **Rodajas:** Este es el corte circular más básico y común, como se puede observar en la Figura 1, consiste en cortar el alimento de forma transversal, obteniendo discos de grosor variable. Es ideal para frutas como cítricos, tomates y pepinos, así como para verduras como zanahorias y calabacines.



Figura 1.Corte tipo rodaja.

- **Rondelle:** Es un término francés que también se refiere a rodajas, pero a menudo se usa para describir rodajas más finas y delicadas como se muestra en la Figura 2, se utiliza frecuentemente para guarniciones y decoraciones.



Figura 2. Corte tipo Rondelle.

- **Chips:** Aunque no son perfectamente circulares, son rodajas extremadamente finas. Este tipo de corte se utiliza principalmente para freír o deshidratar, resultando en una textura crujiente como se muestra a continuación en la Figura 3. [21]



Figura 3. Corte tipo Chips

1.7. Tipos de cuchillas para corte de champiñones

La industria de vegetales y frutas requiere precisión y efectividad en el corte para garantizar la calidad y la presentación de los productos. Las cuchillas industriales desempeñan un papel fundamental en este proceso, ya que realizan cortes uniformes y precisos en grandes volúmenes de alimentos. A continuación, se muestran las cuchillas más utilizadas en la industria:

- ***Cuchillas circulares:*** Las cuchillas que se muestran en la Figura 4 se utilizan en máquinas cortadoras para la producción de rodajas, discos o tiras de frutas y verduras.



Figura 4. Cuchillas circulares[22]

- **Cuchillas rectas:** Como se puede ver en la Figura 5 estas cuchillas se emplean en cortadoras y rebanadoras para obtener cortes uniformes en bloques, filetes o porciones.

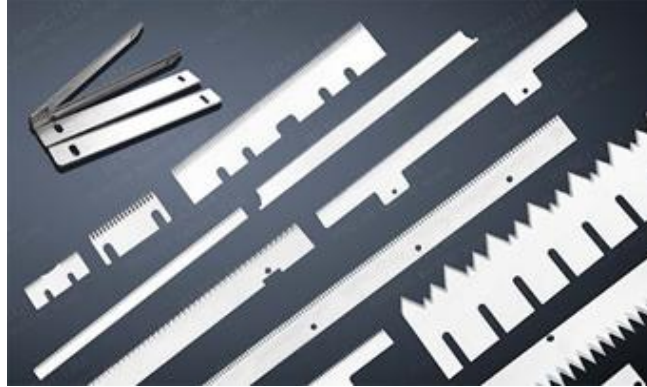


Figura 5. Cuchillas rectas

- **Cuchillas para peladoras industriales:** Diseñadas para retirar la piel de frutas y verduras de manera eficiente y precisa.
- **Cuchillas para cortadoras de verduras:** Adaptadas para procesar grandes volúmenes de verduras en diversos cortes, como juliana, dados o bastones.
- **Cuchillas para cortadoras de frutas:** Diseñadas para cortar frutas delicadas sin dañarlas, con cortes precisos y limpios.
- **Cuchillas para maquinaria de empaquetado:** Utilizadas para cortar y sellar envases de frutas y verduras de forma precisa y eficiente.

1.8. Material para uso de grado alimenticio

En la industria alimentaria, es indispensable utilizar materiales que no desprendan partículas metálicas, además de no proliferar las bacterias u otros microorganismos que puedan contaminar los alimentos. El Instituto Americano del Hierro y Acero (AISI, por sus siglas en inglés), cuentan con alrededor de 60 tipos de convencionales de aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación (PH) son la cuarta categoría principal dentro de la familia de materiales; por otro lado, los aceros inoxidables dúplex contienen un 50% de ferrita y un 50% de austenita en su microestructura, son recomendados para entornos corrosivos.[23]

- **Acero inoxidable 304:** Una de las características principales, como se muestra en la Tabla 1 es su gran resistencia a la corrosión y biocompatibilidad, también posee características externas que se pueden utilizar en variedad de industrias, este material contiene entre un

12% a 25% de cromo y un 8 al 25% de níquel y hasta un 2% de manganeso en su composición química.[24]

Tabla 1. Propiedades mecánicas del AISI 304[25]

Propiedades mecánicas	
Resistencia a la tensión (S_u)	552 Mpa
Resistencia a la fluencia (S_y)	207 Mpa
Porcentaje de elongación	60% en 50.8 mm
Módulo de elasticidad	190-210 Gpa
Dureza Max. Brinell (HB)	160-190
Propiedades físicas	
Densidad	8.03 g/cm ³

1.9. Motores a pasos

Los motores a pasos, son dispositivos electromecánicos que convierten pulsos eléctricos en movimiento rotacional discreto, lo que permite un control preciso de la posición y velocidad. Su capacidad para realizar movimientos angulares exactos los convierte en componentes esenciales dentro de una amplia gama de aplicaciones, desde impresoras 3D y robótica hasta sistemas de automatización industrial. La versatilidad y precisión de los motores a pasos los hacen fundamentales en proyectos que requieren movimientos controlados y repetitivos, como se muestra en la Figura 6.[26]

- **Motores de reluctancia variable:** Funcionan mediante la atracción magnética entre un rotor de hierro y un estator con polos electromagnéticos, los cuales ofrecen alta velocidad, pero bajo torque.
- **Motores de imán permanente:** Utilizan un rotor de imán permanente y un estator con bobinas electromagnéticas, las cuales proporcionan un torque moderado además de una buena precisión.
- **Motores híbridos:** Combinan las características de los motores de reluctancia variable y de imán permanente para ofrecer un alto torque y excelente precisión, siendo los más usados en aplicaciones industriales.

El motor a pasos Nema 17 es un estándar de la Asociación Nacional de Fabricación Electrónica (Nema, por sus siglas en inglés), que define las dimensiones de montaje del motor. También es uno de los motores a pasos más populares debido a su equilibrio entre tamaño, torque y precisión.



Figura 6. Tipos de motores a pasos

1.10. Movimientos dimensionales

Los movimientos dimensionales se refieren a la descripción del movimiento de objetos en función de las dimensiones espaciales en las que se desplazan, como se visualiza en la Figura 7. A continuación, componentes principales:

- **Una dimensión (1D):** El movimiento en una dimensión ocurre a lo largo de una línea recta. Se describe como una sola coordenada para indicar la posición del objeto.[27]
- **Dos dimensiones (2D):** El movimiento en dos dimensiones ocurre en un plano; lo cual, requiere un sistema de coordenadas bidimensionales, como el plano cartesiano con ejes X y Y, para describir la posición del objeto.
- **Tres dimensiones (3D):** El movimiento en tres dimensiones ocurre en el espacio tridimensional. Es necesario un sistema de coordenadas tridimensionales con ejes X, Y y Z para describir la posición del objeto.

La cinemática, es la rama de la física que estudia el movimiento de los objetos sin considerar las causas de este, ya que describe el movimiento en términos de posición, velocidad y aceleración. Los vectores en movimientos bidimensionales y tridimensionales son fundamentales para describir la dirección y magnitud del movimiento, que se describen en términos de velocidad y aceleración. La trayectoria de un objeto en movimiento puede ser lineal (es decir, en 1D) o curvilínea (en 2D y 3D). La forma de la trayectoria depende de la fuerza que actúe sobre el objeto.[28]

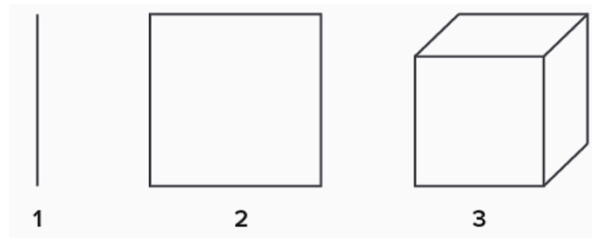


Figura 7. Dimensiones espaciales

1.11. Sensores analógicos y digitales

Los sensores son dispositivos esenciales en la adquisición de datos y el control de procesos, permitiendo la conversión de magnitudes físicas en señales eléctricas. Se clasifican principalmente en analógicos y digitales, cada uno con características y aplicaciones específicas. La elección de estos sensores dependerá de la naturaleza de la magnitud a medir y de los requisitos del sistema de control. La versatilidad de estos dispositivos es indispensable en la automatización moderna y la recopilación de información en diversos campos.[29].

1.11.1. Tipos de sensores digitales

- **Sensores de presión:** Galga extensiométrica, piezoresistivos, capacitivos, miden la presión y generan una señal analógica proporcional.
- **Sensores de distancia:** Ultrasónicos y sensores de distancia por láser analógicos, miden la distancia y generan una señal analógica proporcional.

1.11.2. Tipos de sensores analógicos

- **Sensor de posición:** Codificadores rotativos, finales de carrera, generan una señal digital que indica la posición de un objeto.
- **Finales de carrera:** Es un sensor digital que detecta la posición límite de un objeto en movimiento. En sí, es un interruptor mecánico que se activa al entrar en contacto con el objeto, generando una señal digital on/off que indica si el objeto ha alcanzado la posición final. Este sensor se utiliza en sistemas de automatización robótica y maquinaria industrial.

1.12. Automatización industrial

La automatización industrial comprende un conjunto de tecnologías y herramientas integradas para optimizar y aumentar la producción, así como para mejorar la distribución y la comercialización en el sector industrial. Actualmente, la producción de productos de alta calidad en tiempos bajos

es algo esencial; lo cual, se logra mediante la implementación de diferentes tecnologías y maquinaria. El objetivo principal es disminuir los tiempos de producción y la carga laboral, buscando minimizar la intervención humana para reducir los errores.[30]

La implementación de la automatización en el proceso de corte de champiñones conlleva una mejora de la eficiencia, incremento de la velocidad y el rendimiento del corte. Esta mejora repercute positivamente en la consistencia y calidad del producto, logrando un corte uniforme y preciso. Además, la automatización industrial ofrece beneficios ergonómicos para el usuario, reduciendo el riesgo de lesiones al eliminar tareas repetitivas. También se observa una reducción en la contaminación, ya que se minimiza el contacto humano, disminuyendo el riesgo de contaminación microbiana.[31]

1.13 Tipos de máquinas automática relacionadas y existentes en el mercado

La automatización de procesos en la industria alimentaria a perdido el desarrollo de máquinas especializadas para tareas específicas, como lo es el corte y posicionamiento de productos. Este proyecto integra mecanismos de movimientos controlables similares a los de una impresora 3D, junto con un sistema de corte por rebanada. Este tipo de máquinas propone una solución automatizada moderna orientada a mejorar la precisión, higiene y eficiencia en el procesamiento de alimentos.

Máquinas automatizadas relacionadas

- **Impresora 3D tipo cartesiano**

Esta utiliza un sistema de ejes X Y y Z Para posicionar con alta precisión un cabezal de extracción, su mecanismo de movimiento por rieles y motores a pasos se asemeja al utilizado para posicionar el champiñón en la máquina propuesta.

- **Rebanadoras industriales de alimento**

Estos equipos están diseñados para cortar productos como embutidos, quesos o frutas en rodajas uniformes. Incorporan un sistema de cuchillas rotativas o lineales, estas contienen un control automático para regular el grosor del corte.

- **Máquinas de control numérico computarizado (CNC)**

Utilizadas para cortar, fresar o modelar materiales mediante trayectorias controladas, estos movimientos precisos se reflejan en el posicionamiento del champiñón antes del corte.

CAPÍTULO II

Análisis de alternativas

En este capítulo se analizan las alternativas disponibles para diseñar un prototipo de máquina semiautomática para corte y posicionamiento de champiñones. Se seleccionó la alternativa más adecuada considerando las características como el costo, precisión, adaptabilidad, materiales, vida útil, facilidad de integración, facilidad de programación y disponibilidad.

2.1 Alternativas de tipo de máquina

Se analiza 3 alternativas para el sistema de manejo del prototipo. Esta decisión afectará en que, si la máquina necesitará intervención humana o no, la elección que se tome influirá directamente en el sistema de procesamiento de la máquina como el costo.

2.1.1. Máquina automática

Esta máquina que una vez iniciado el proceso realiza un ciclo de trabajo sin la necesidad de una intervención humana directa; debido a que, fue diseñada para que ejecutara tareas repetitivas y complejas de manera autónoma, por lo que se utilizaron sistemas de control programados para llevar las diferentes etapas del proceso.

2.1.2. Máquina semiautomática

Esta máquina requiere cierta intervención humana durante el ciclo de procesamiento, sin embargo, realiza algunas etapas del proceso de forma autónoma; por lo cual, solo necesita la supervisión o acción de un operador para el inicio de unas fases, cargar o descargar el producto, realizar ajustes, lo que busca esta máquina es el equilibrar la automatización con la flexibilidad, mediante la intervención humana garantiza la calidad del producto.

2.1.3. Máquina manual

Esta máquina depende completamente del factor humano, fuerza y habilidad del operador para llevar a cabo la función del proceso; lo cual, conlleva a la manipulación directa de sus componentes por parte del operador, reduciendo así la velocidad y volumen de producción. Además, ofrece un alto grado de control, por lo que son preferidas para tareas especializadas como prototipos o producción a pequeña escala.

2.2. Clasificación de las alternativas del tipo de máquina

En la Tabla 2 se muestran las alternativas para la elección del tipo de máquina más adecuada que cumpla con diferentes parámetros como velocidad, precisión, costo inicial y mantenimientos, en la cual se realizará la puntuación con base a los parámetros y se hará la elección de la alternativa más adecuada para este proyecto.

Tabla 2. Alternativas del tipo de máquina

Parámetros	Husillo bolas	de Husillo trapezoidal	Correa dentada	Ideal
Velocidad de Producción	9	7	3	10
Precisión del Corte	8	8	6	10
Precisión del Posicionado	9	8	4	10
Necesidad de Mano de Obra	2	5	9	10
Flexibilidad/Adaptabilidad	4	7	8	10
Costo Inicial	3	6	9	10
Costo de Mantenimiento	4	6	8	10
Complejidad del Diseño	9	6	3	10
Facilidad de Uso	7	8	9	10
Sumatoria	63	68	65	100
Índice porcentual	63%	68%	65%	1
Orden de selección	3	1	2	100%

Este análisis de alternativas reveló que la máquina semiautomática es la más adecuada para la tarea de cortar y posicionar champiñones; debido a que, logra el equilibrio entre eficiencia y adaptabilidad, la automatización parcial con la flexibilidad operativa y la viabilidad económica son factores óptimos en este proceso, sin tener altas inversiones.

2.3. Alternativa de movimiento para la mesa cartesiana

En esta sección se analizan 3 alternativas para la construcción de la mesa cartesiana; la cual, verá el posicionamiento del champiñón en la bandeja de poliestireno expandido, la elección que se tome influirá directamente en la precisión de posicionamiento, velocidad y estabilidad estructural.

Con cada propuesta se evalúan los siguientes parámetros: la adaptabilidad, facilidad de integración, disponibilidad en el mercado, con la finalidad de determinar el más adecuado para el movimiento de la mesa cartesiana.

2.3.1. Husillo de bolas

Es un mecanismo de traslación lineal que convierte el movimiento rotatorio a movimiento lineal con una fricción muy baja, esto se logra mediante la optimización de bolas; mismas que, se encuentran dentro de las estrías helicoidales del tornillo sin fin y la tuerca. Como se evidencia en la Figura 8, las bolas recirculan continuamente a través del interior de la tuerca. [32]



Figura 8. Husillo de bolas [33]

2.3.2. Husillo trapezoidal

Es un mecanismo de transmisión lineal, que convierte el movimiento rotatorio manual o eléctrico en movimiento, mediante la fricción de deslizamiento entre una tuerca y el tornillo sin fin con rosca de perfil trapezoidal; el cual, no lleva en el interior de la rosca bolas. Como se muestra en la Figura 9.[34]



Figura 9. Husillo y tuerca trapezoidal [35]

2.3.3. Banda dentada

Las bandas de entradas son lazos flexibles con dientes, que se encargan de engranar en las poleas acopladas en los motores y en los componentes que son necesarios para mover de manera lineal. La rotación de esta polea la cual es impulsada por el motor se transmite a la banda, generando un movimiento lineal al componente al cuál fue acoplado. En la Figura 10 se evidencia como los ejes han sido accionados mediante correa adelantada.[36]



Figura 10. Ejes accionados por correa dentada [37]

2.4. Clasificación de las alternativas de movimiento de la mesa cartesiana

En la Tabla 3, se clasifican alternativas para los tipos de movimientos lineales, donde se evalúan aspectos como la precisión, durabilidad, costo, velocidad, facilidad de instalación y mantenimiento.

Los resultados de esta Tabla están ponderados con una escala de 0 a 10, donde cero representa el valor mínimo y 10 el valor máximo de la ponderación por cada parámetro, los resultados de la Tabla 3 permitirán identificar la opción más favorable para este proyecto, se muestra el índice porcentual y el orden de selección.

Tabla 3. Clasificación de alternativas para tipos de movimientos lineales

Parámetros	Husillo de bolas	Husillo trapezoidal	Correa dentada	Ideal
Precisión	9	7	6	10
Durabilidad	8	7	8	10
Costo	5	8	9	10
Velocidad	7	6	9	10
Instalación	6	7	8	10
Mantenimiento	7	8	9	10
Sumatoria	42	43	49	60
Índice porcentual	70%	71.67%	81.67%	1
Orden de selección	3	2	1	100%

La correa dentada es la opción más adecuada para el diseño del movimiento lineal de la mesa cartesiana; puesto que, obtuvo la puntuación más alta en la evaluación ponderada, este se destaca por su bajo costo, velocidad y mantenimiento. La capacidad de la correa para operar de manera rápida, ser de fácil instalación, y tener un mantenimiento no tan complicado lo convierte en la mejor alternativa para garantizar un movimiento lineal muy bueno.

2.5. Alternativa de cuchilla para el sistema de corte del champiñón

2.5.1. Cuchilla recta

Una cuchilla recta es una hoja de corte con un borde lineal filo y uniforme; el cual, puede diferir de sus longitudes grosores y materiales, el filo puede ser liso o cerrado, para el uso del corte del champiñón se utilizaría una cuchilla recta similar a un cuchillo de cocina o una cuchilla industrial plana, como se observa en la Figura 11. [38]



Figura 11. Cuchillas rectas planas con 3 agujeros[39]

2.5.2. Cuchilla circular

La cuchilla circular es una hoja de corte con forma de disco con un borde afilado en su periferia la cual se utiliza rotando a alta velocidad para realizar el corte, se la puede encontrar en diversas aplicaciones industriales de alimentos, como se puede visualizar en la Figura 12.



Figura 12. Cuchillas industriales circulares para alimento[40]

2.6. Clasificación de las alternativas de las cuchillas

En la Tabla 4 se muestra la clasificación de alternativas de cuchillas para el corte del champiñón, considerando factores como velocidad de corte, costo del sistema, control automático y semiautomático, mantenimiento del filo, riesgo de aplastamiento y seguridad, cada aspecto evaluado tiene una ponderación siendo 0 la ponderación mínima y 10 la ponderación máxima. Los resultados demostrarán la alternativa más adecuada y permitirán identificar el índice porcentual y el orden de selección.

Tabla 4. Clasificación de alternativas de cuchillas para el corte del champiñón.

Parámetro	Cuchilla recta	Cuchilla circular	Ideal
Velocidad de corte	3	9	10
Uniformidad de corte	6	8	10
Costo del sistema	8	4	10
Control manual o semiautomático	9	4	10
Mantenimiento del filo	7	6	10
Riesgo de aplastamiento	7	8	10
Seguridad	7	3	10
Sumatoria ponderada	47	42	70
Índice de preferencia	67.14%	60%	100%
Orden de selección	1	2	

El sistema de corte de cuchilla recta con un índice del 100%, es considerada la mejor alternativa dentro de la clasificación, ya que destaca por su control manual o automático, mantenimiento de filo y el costo del sistema.

2.7. Alternativa para motores a pasos

Elegir el motor a pasos para el proyecto es muy importante; puesto que, de esto dependerá la precisión y velocidad de la mesa cartesiana, en conjunto con otros elementos para poder asegurar la eficiencia de la máquina.

2.7.1. Nema 23 23HS5102

En la Figura 13 se observa el Motor Nema 23, este motor a pasos de tamaño pequeño ofrece una capacidad de par más alta que los modelos Nema 17, también presentan dimensiones un poco mayores, su mayor fuerza de sujeción lo convierte en un excelente candidato para aplicaciones donde se deben de mover cargas más pesadas, manteniendo un tamaño manejable.[41]

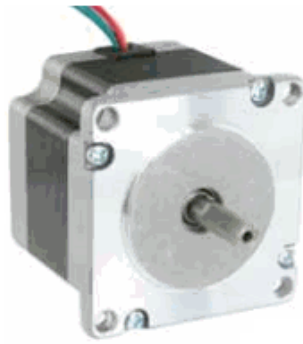


Figura 13. Motor Nema 23

2.7.2. Nema 17 17HS4023

Este motor, combina un diseño ultracompacto brinda solución a espacios reducidos, su peso es considerablemente bajo, notifica el torque de retención en comparación Nema 17 mediano, pero lo hace adecuado para movimientos rápidos y precisos en entornos específicos. Como se muestra en la Figura 14. [42]



Figura 14. Motor a pasos Nema 17 corto[43]

2.7.3. Nema 17 17HS3401

El Motor a pasos híbrido que se observa en la Figura 15, es un motor de tamaño mediano que representa un equilibrio ideal para varias aplicaciones, ofrece un par de retención confiable para mover cargas moderadas y un tamaño compacto que facilita la integración a diversos diseños.



Figura 15. Motor a pasos híbrido [42]

2.8. Clasificación de las alternativas de motores a pasos

En la Tabla 5 se presentan las alternativas para un motor a pasos, donde se evalúan aspectos como, la precisión, durabilidad, puesto, velocidad, instalación mantenimiento y vibraciones. Los resultados están ponderados en una escala de 0 al 10 en dónde 0 corresponde a la ponderación mínima y 10 a la ponderación máxima, esto permitirá identificar el índice porcentual y el orden de selección.

Tabla 5. Clasificación de alternativas para el motor a pasos.

Parámetros	Nema 23 23HS5102	Nema 17 17HS4023	Nema 17 17HS3401	Ideal
Par/tamaño	5	6	7	10
Facilidad de uso/control	8	9	9	10
Eficiencia energética	5	6	7	10
Costo	6	7	8	10
Disponibilidad	7	8	9	10
Potencial de rendimiento	8	7	6	10
Robustez/durabilidad	9	8	8	10
Precisión del ángulo	7	7	7	10
Sumatoria	55	58	61	80
Índice porcentual	68.75%	72.5%	76.25%	
Orden de selección	3	2	1	

El motor Nema 17 17HS3401 es la mejor alternativa cómo motor para poder generar movimiento; debido a que, destacan por su diseño compacto, ligero ,facilidad de uso, disponibilidad, tamaño, eficiencia energética y ofrece además una gran eficiencia energética ,su precisión del ángulo paso garantiza precisión durante el posicionamiento de cada rebanada de champiñón.

2.9. Alternativa de controlador del motor a pasos

2.9.1. Driver TB6600

Es un controlador de motor a pasos bipolar profesional, el cual está diseñado para controlar motores a paso con voltaje y corriente más altos que los controladores básicos, ofreciendo un movimiento más suave y preciso. Se lo visualiza en la Figura 16.[44]

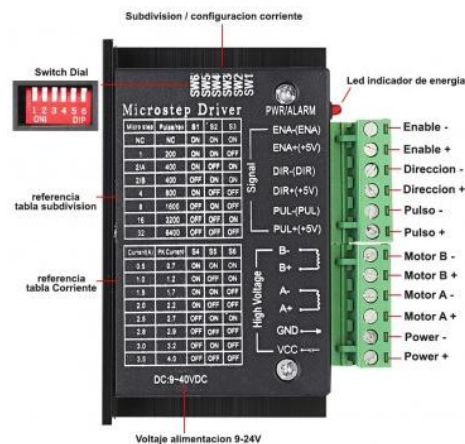


Figura 16. Driver TB6600 y sus partes[45]

2.9.2. Driver A4988

En la Figura 17 se observa este controlador, es muy popular y económico para motores a pasos bipolar, es conocido por su tamaño compacto y la capacidad de movimiento suave y preciso, ampliamente utilizado en proyectos de electrónica y proyectos de impresoras 3D de nivel básico y medio.[46]

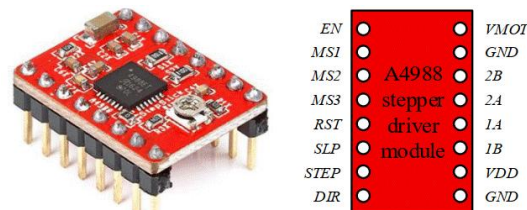


Figura 17. Driver a 4988 y su diagrama[47]

2.9.3. Driver Easyv4.4 pins

Es una placa controladora de motores a pasos simple y fácil de usar la cual se basa en un chip allegro A3967, como se observa en la Figura 18. Fue diseñado para ser amigable con usuarios principiantes y ofrecer un movimiento suave y preciso.[48]

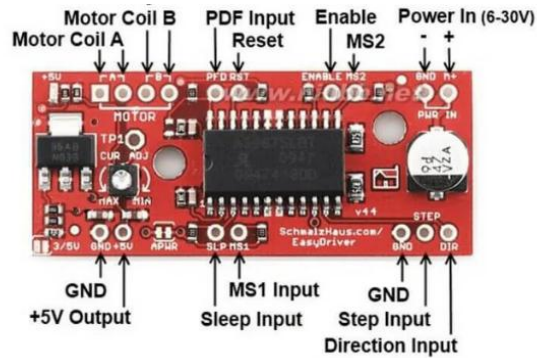


Figura 18. Driver Easy v4.4 y sus pines[49]

2.10. Clasificación de las alternativas de drivers para el control de motor

En la Tabla 6 se presenta la clasificación de los drivers para el control del motor a pasos, donde se evalúa la corriente máxima, micro pasos máximos, voltaje de operación, protecciones, costo y robustez. Los resultados de esta ponderación están basados en una escala de cero al 10 donde la ponderación mínima es 0 la ponderación máxima es 10, permitiendo identificar el índice porcentual y el orden de selección de las alternativas.

Tabla 6. Clasificación de alternativas para el Driver del motor a pasos

Parámetros	Driver TB6600	Driver A4988	Driver easy V4.4	Ideal
Corriente máxima	10	5	2	10
Micropasos máximos	10	5	3	10
Voltaje de operación	8	7	6	10
Protecciones	10	6	5	10
Costo	5	10	8	10
Robustez	9	6	6	10
Sumatoria	52	39	30	60
Índice porcentual	86.66%	65%	50%	100%
Orden de selección	1	2	3	

El Driver TB6600 con un índice porcentual del 86.66% se considera como la mejor opción dentro de las alternativas propuestas, principalmente por su capacidad de trabajo variable en el amperaje, voltaje y sus protecciones; lo cual, lo hace ideal para la implementación en el prototipo de la máquina.

2.11. Alternativas de sensor celda de carga 5 kg

2.11.1 Celda de carga HX711

En la Figura 19 se muestra un sensor análogo común y económico, con celda de carga de galga extensiométrica, diseñada para el uso en balanzas de bajo costo y proyectos de Arduino con distintas capacidades de pesaje, requieren un circuito de acondicionamiento de la señal con un módulo amplificador HX 711 para proporcionar una lectura utilizable por un microcontrolador.[50]

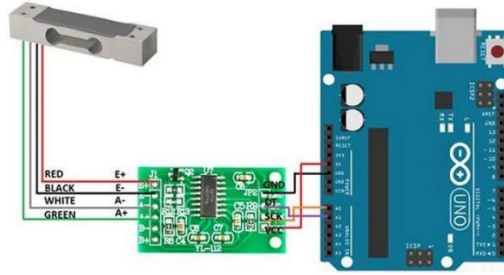


Figura 19. Celda de carga con su módulo HX 711 conectado a un controlador Arduino[51]

2.11.2. *Hbm pw27a*

Es una celda de carga de un solo punto evidenciada en la Figura 20, diseñada específicamente para básculas de plataformas pequeñas y medianas, el uso común de estas es por su precisión y robustez en aplicaciones industriales y comerciales.[52]



Figura 20. Celda de carga de punto único[53]

2.11.3. *SP4M*

Es una celda de carga de as de flexión de un solo punto, fabricada por Vishay Precisión Group, que es un fabricante líder de sensores de alta precisión; por lo cual, esta celda de carga es conocida por su exactitud y fiabilidad en aplicaciones de pesaje comercial e industrial, como se visualiza en la Figura 21.[54]



Figura 21. Celda de carga de un solo punto de aluminio SP4M[55]

2.12. Clasificación de alternativas de sensores de peso

En la Tabla 7 se presenta la clasificación de alternativas para el sistema de pesaje, donde se evalúan aspectos técnicos. Los resultados de esta ponderación están basados en una escala de 0 con la ponderación mínima y de 10 con la ponderación máxima.

Tabla 7. Clasificación de alternativas para el sensor de celda de carga

Parámetros	Celda DE CARGA HX711	HBM PW27A	SP4M	Ideal
Precisión	4	9	7	10
Costo	10	2	5	10
Durabilidad	5	9	7	10
Facilidad de integración	8	5	6	10
Módulo de acondicionamiento	3	7	7	10
Disponibilidad	9	6	5	10
Sumatoria	39	38	36	60
Índice porcentual	65%	63.33%	60%	100%
Orden de selección	1	2	3	

El sensor de pesaje de galga extensiométrica genérica de Arduino obtuvo un índice porcentual del 65% lo cual indica que es una alternativa que destaca por su costo, disponibilidad y su fácil integración en el prototipo.

2.13. Material

2.13.1. Acero inoxidable 316

El acero 316 tiene una gran resistencia a la corrosión y posee características útiles en el área industrial alimentaria; puesto que, contiene ppt de un 12% a 25% de cromo y de un 8% a 25% de níquel y hasta dos de manganeso en su composición química.

2.13.2. Acero AISI 304

Es un acero inoxidable de grado básico que tiene una buena resistencia a la corrosión, es dúctil, y se lo puede soldar, posee una ventaja de doblarse y expandirse, lo que puede ser útil en diferentes industrias.

2.13.3. Acero AISI 410

El acero martensítico 410 tiene una buena resistencia a la corrosión, alta fortaleza y dureza, tomando en cuenta sus tratamientos térmicos se puede magnetizar en condiciones de recocido y endurecimiento.

2.14. Clasificación de las alternativas de material

En la Tabla 8 se encuentra la clasificación de alternativas de material, con la cual va a ser construido el prototipo, tomando en cuenta que serán las partes en las que el champiñón tenga contacto para evitar el desprendimiento de trazas que contaminen en champiñón, se consideran factores claros cómo resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, dureza, soldabilidad, costo, disponibilidad, resistencia a ácidos.

Tabla 8. Clasificación de alternativas de materiales

Parámetros	Acero inoxidable 316	Acero AISI 304	Acero AISI 410	Ideal
Resistencia a la corrosión	10	8	6	10
Resistencia mecánica	7	7	9	10
Dureza	6	6	8	10
Soldabilidad	9	9	7	10
Costo	4	6	8	10
Disponibilidad	8	10	8	10
Resistencia a ácidos	10	9	7	10
Sumatoria ponderada	54	55	53	70
Índice de porcentual	77.14%	78.57%	75.71%	100%
Orden de selección	2	1	3	

El material de acero inoxidable 304 es la opción más viable debido a que es un acero inoxidable de grado alimenticio, el cual obtuvo índice porcentual de 78.57% obteniendo así el primer lugar debido a su dureza, soldabilidad, costo, resistencia a los ácidos y corrosión.

2.15. Selección de rodamientos

Para el desplazamiento a lineal preciso de las partes móviles en el prototipo semiautomático, se requiere el uso de rodamientos lineales que aseguren un movimiento suave y sin vibraciones. Estos elementos deben ser compatibles con las guías cilíndricas de acero de 8 mm de diámetro.

2.15.1. LM8UU

Este modelo es lineal cilíndrico ampliamente utilizado en sistemas de automatización como en impresoras 3D y equipos CNC. Cuenta con elementos rodantes en la parte interior que permiten el desplazamiento suave sobre el eje de 8 mm. Como se observa en la Figura 22.



Figura 22. LM8UU

2.15.2. SC8UU

Es un rodamiento lineal de bolas internas con una carcasa metalizada de aluminio, la cual brinda una estructura robusta y fácil de montar. Es especialmente útil para sistemas mecatrónicos semiautomáticos ya que permite una fijación directa en la estructura mediante tornillos. Como se visualiza en la Figura 23.



Figura 23. SC8UU

2.15.3. LME8UU

Es una versión extendida del rodamiento LM8UU, con una longitud mayor que proporciona mejor distribución de la carga y una mayor rigidez axial. Este tipo de rodamiento se lo aplica donde las fuerzas dinámicas son más altas hoy donde se necesite un mejor guiado a lo largo del eje. Como se evidencia en la Figura 24.



Figura 24. LME8UU

2.16. Clasificación de las alternativas de material

Se evaluaron diferentes alternativas de rodamientos lineales considerando criterios como la rigidez estructural, facilidad de montaje, capacidad de carga, compatibilidad con ambientes húmedos, mantenimiento, costo y disponibilidad en el mercado como se muestra en la Tabla 9, se presenta la clasificación comparativa de los rodamientos lineales.

Tabla 9. Clasificación de alternativas de materiales

Parámetros	LM8UU (empotrable)	SC8UU (con carcasa)	LME8UU (extendido)	Ideal
Facilidad de montaje	6	10	7	10
Capacidad de carga	7	9	9	10
Rigidez estructural	6	9	7	10
Protección del rodamiento	6	8	6	10
Disponibilidad en el mercado	10	10	8	10
Compatibilidad con estructura	7	10	8	10
Costo	10	9	8	10
Sumatoria ponderada	52	65	53	70
Índice porcentual	74.29%	92.86%	75.71%	100%
Orden de selección	3	1	2	

El rodamiento SC8UU fue seleccionado con un 92.86% como el más adecuado para el sistema de guía lineal para el prototipo ya que contiene una carcasa de aluminio con orificios para un fácil montaje, su diseño también permite una instalación rápida, alineación precisa y es compatible con ejes de 8 mm. Ya que cuenta con una rigidez alta éste tiene una buena capacidad de carga y se lo puede encontrar de manera estándar en el mercado.

CAPÍTULO III

Diseño y simulación

En este capítulo se describe el diseño, construcción y análisis del prototipo de la máquina cortadora y posicionadora de champiñones. Se detallan los componentes electrónicos y mecánicos seleccionados, en el proceso de ensamblaje, las simulaciones estructurales mediante el software CAD (SolidWorks y MD-Solids), así como el funcionamiento automatizado del sistema y se incluyen los cálculos de fuerza, consumo eléctrico, selección de pernos, cableado y evaluación de seguridad estructural, con el único objetivo de garantizar la viabilidad y eficiencia del prototipo.

3.1. Arquitectura electrónica

A continuación, en la Tabla 10 se observa los componentes electrónicos utilizados en el diseño del prototipo:

Tabla 10. Componentes electrónicos del prototipo

Nº de elemento	Componente	Descripción
1	Motor a pasos Nema 17	Un motor a pasos de tamaño medio con alta resolución de pasos ideal para un control preciso de posición y velocidad.
2	Driver TB6600	Controlador de corriente para motores paso a paso con microstepping ajustable y protección térmica.
3	Galga extensiométrica	Sensor resistivo que mide pequeñas deformaciones mecánicas, para determinar fuerzas o peso.
4	Driver Hx711	Módulo acondicionador de señal para cargas extensiométricas con amplificador de instrumental y ganancias ajustables.
5	Arduino Mega 2560	Placa microcontroladora basada en a t mega 2560 con 55 pines digitales y 16 entradas analógicas para prototipado avanzado
6	Finales de carrera	Interruptores mecánicos de límite que detienen invierten el movimiento al llegar a la posición máxima permitida
7	Paro de emergencia	Pulsador de seguridad que desconecta o detiene inmediatamente el sistema ante situaciones de riesgo
8	Pulsadores de membrana 4x1	Teclado plano con cuatro pulsadores independientes de alta durabilidad para entradas del usuario
9	Fuente de poder de 12V 10A	Fuente de poder que proporcionan la transformación de 110V AC a 12V 10A DC

3.2. Descripción del sistema

- **Motor a pasos Nema 17**

Actúa como un elemento de accionamiento para la transmisión del torque desde su eje a una correa dentada para desplazar la mesa en ambas direcciones con precisión, garantizando movimientos suaves y precisos.

- **Driver TB6600**

Es el encargado de gestionar la corriente de salida que se dirige hacia el motor; además, se encarga de modular la velocidad de giro en el eje del motor, ofreciendo protección ante picos de corriente y sobre temperatura.

- **Galga extensiométrica**

Es un sensor resistivo de deformación, que convierte la tensión mecánica producida por la carga sobre la bandeja, generando una señal analógica proporcional al peso aplicado.

- **Driver Hx711**

Modelo acondicionador con amplificación de instrumentación diferencial, que convierte las señales analógicas a digitales, para que posteriormente sea procesada por el microcontrolador.

- **Arduino Mega 2560**

El Arduino Mega 2560 es el encargado de procesar el valor dado por el driver de la galga extensiométrica, para hacer cumplir la condición por la que fue programado; debido a que, este recibe y da señales a los componentes.

- **Finales de carrera**

Interruptores mecánicos de límite que detectan el tope de recorrido de la mesa y proporcionan una señal de corte al controlador, para impedir desplazamientos fuera del rango seguro.

- **Paro de emergencia**

Pulsador de seguridad normalmente cerrado que interrumpe el suministro de alimentación a los actuadores y al sistema de control, deteniendo todo movimiento para proteger el equipo y al operador.

- **Pulsadores de membrana 4x1**

El teclado de membrana con cuatro pulsadores se utiliza; debido a que, cada botón envía una señal digital al microcontrolador para activar funciones específicas del prototipo.

3.3. Funcionamiento del sistema

- **Posicionamiento inicial del sistema**

Con la activación del pulsador de color amarillo, se genera una señal digital que es interpretada por el microcontrolador como una orden de referencia inicial, para que se activen los motores a

pasos mediante sus respectivos drivers; mismos que, generarán un giro en sentido horario hasta detectar el contacto con los finales de carrera. Una vez alcanzado este tope mecánico, los motores ejecutarán una rotación inversa equivalente a una vuelta completa para liberar el sensor y posicionar las mesas en su punto referencia, asegurando así el estado inicial o referencial de la máquina.

- **Control automático del ciclo de operación**

El ciclo de funcionamiento es gestionado por el microcontrolador en base a la lógica previa programada. Este ciclo puede ser interrumpido por múltiples factores, ya sean de seguridad u operación, la detección de un desplazamiento fuera de los límites establecidos por los sensores, la confirmación de que el peso fue alcanzado o el accionamiento manual del paro de emergencia.

- **Activación y control del sistema de corte**

El microcontrolador emite una señal de activación al sistema de corte al momento de iniciar el ciclo automatizado, asegurando que este trabaje en conjunto con el proceso para alcanzar el objetivo del peso de 280 g de champiñones, este proceso finaliza una vez cumplidas las condiciones, ya sea por causas de seguridad, finalización del ciclo, detecciones fuera del área insegura o la activación del paro de emergencia.

3.3.1. Coeficiente de rozamiento del rodamiento lineal SC8UU

Es un rodamiento lineal con carcasa en bloque diseñado para facilitar el movimiento rectilíneo para que sea suave y preciso en un eje de 8 mm de día, este rodamiento es muy común en aplicaciones como impresoras 3D, máquinas CNC, robots cartesianos, etc. Se lo usa gracias a su fácil montaje mediante tornillos y a su desempeño confiable en aplicaciones de bajo costo. Como se observa en la Figura 25.

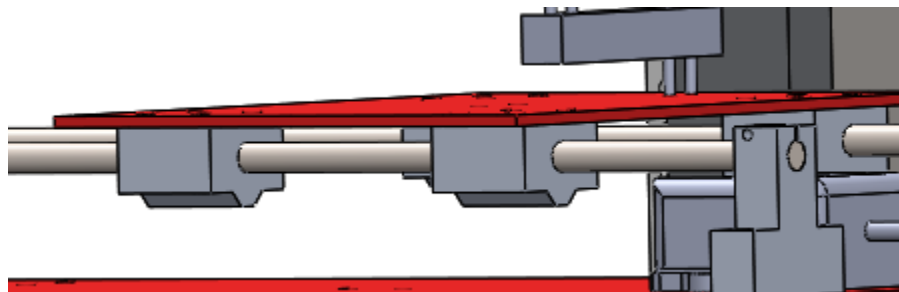


Figura 25. Rodamiento lineal SC8UU

Se evidencia las características mecánicas más relevantes del rodamiento SC8UU en la Tabla 11; misma que, muestra la diferencia que existe con la lubricación y sin lubricación.

Tabla 11. Características mecánicas del rodamiento lineal SC8UU

Característica	Valor y descripción
Coefficiente de rozamiento lubricado	U=0.005-0.015
Coefficiente de rozamiento sin lubricación	U=0.02-0.05
Diámetro del eje	8mm
Dimensiones externas	30x30x34
Tipo de montaje	4 orificios roscados M4
Material del cuerpo	Aluminio fundido con recubrimiento anodizado
Rodamiento interno	Tipo lineal de bolas recirculante
Recorrido lineal	Libre a lo largo del eje
Capacidad de carga	40-70N
Velocidad máxima	2 m/s
Ruido	Bajo, dependiendo de la lubricación y ajuste

3.3.2. Análisis de transmisión de torque en la banda dentada

La banda de entrada GT2 es un componente de transmisión mecánica diseñado para movimientos lineales precisos y suaves, la cual es ampliamente utilizada en sistemas como impresoras 3D, cortadoras láser, debido a su bajo juego mecánico y su alta precisión por paso.

Esta banda tiene un perfil de dientes redondeados que proporciona mejor acoplamiento a la polea GT2 , lo que minimiza vibraciones y permite un posicionamiento fiable, está compuesta por un núcleo de fibra de vidrio que asegura la durabilidad y resistencia a la elaboración en el tiempo, como podemos observar unas características relevantes de esta en la Tabla 12.

Tabla 12. Característica de la banda dentada GT2

Características	Especificación
Tipo	GT2
Paso	2 mm (distancia entre dientes)
Ancho	6mm
altura total	1.52mm
altura del diente	0.76mm
perfil del diente	Redondeado
Material	caucho con núcleo de fibra de vidrio
Color	Negro
Aplicaciones	impresoras 3D, CNC, automatización
ventajas	alta precisión, bajo ruido, resistente a estiramiento

Cálculo de la distancia lineal por paso

para determinar la distancia lineal que recorre el eje por cada paso del motor usamos la siguiente fórmula:

$$D_{pasos} = \frac{\text{pasos de banda} * N^{\circ} \text{ de dientes de la polea}}{\text{Pulsos por revolución}}$$

$$D_{pasos} = \frac{2 * 16}{1600}$$

$$D_{pasos} = 0,02 \text{ mm por paso}$$

D_{pasos} Es la distancia que recorre por cada paso que da el motor(mm).

pasos de banda es la distancia que recorre la banda por cada paso(mm).

Pulsos por revolución Es la cantidad de pulsos que se debe dar para obtener una vuelta esto depende de la configuración del driver TB6600 (pulse/rev).

También podemos calcular el ángulo que se mueve por pulso con la siguiente forma

$$\frac{360}{1600} = 0.225^{\circ}$$

Podemos decir ahora que por cada 1600 pulsos es una Revolución y que se mueve 0.225°.

3.3.3. Factor de seguridad del rodamiento lineal

El factor de seguridad con respecto a la fricción, se lo puede interpretar como la relación entre la fuerza que el sistema puede aplicar sin deslizarse y la fuerza real que se espera aplicar,

La fuerza de fricción se la puede calcular con la siguiente fórmula:

$$F_{Fricción} = u * N$$

$$F_{Fricción} = 0.005 * 12.5$$

$$F_{Fricción} = 0.0625 N$$

$$F.S = \frac{F_{Fricción\ disponible}}{F_{Aplicada}}$$

$$F.S = \frac{0.0625 N}{0.02 N}$$

$$F.S = 3.125$$

El sistema tiene un factor de seguridad de 3 con respecto al deslizamiento por fricción; lo cual, es aceptable para aplicaciones suaves o de mediana carga.

3.4. Diagrama de flujo de la cortadora y posicionadora de champiñones

En la figura 26 se representa el diagrama de flujo en el cual se detalla la secuencia lógica de operación del proyecto para el corte y posicionamiento de champiñón. Este proceso comienza con la conexión en el sentido el prototipo, al presionar el botón amarillo la máquina se posiciona en home. A continuación, se pulsa el botón verde para activar el ciclo de corte y posicionamiento, a lo largo de esta etapa se lleva un monitoreo constante del peso, se tienden encuentra también varias condiciones para la finalización del ciclo, las cuales son, la culminación del ciclo programar el cumplimiento del límite del peso o el accionamiento del paro emergencia.

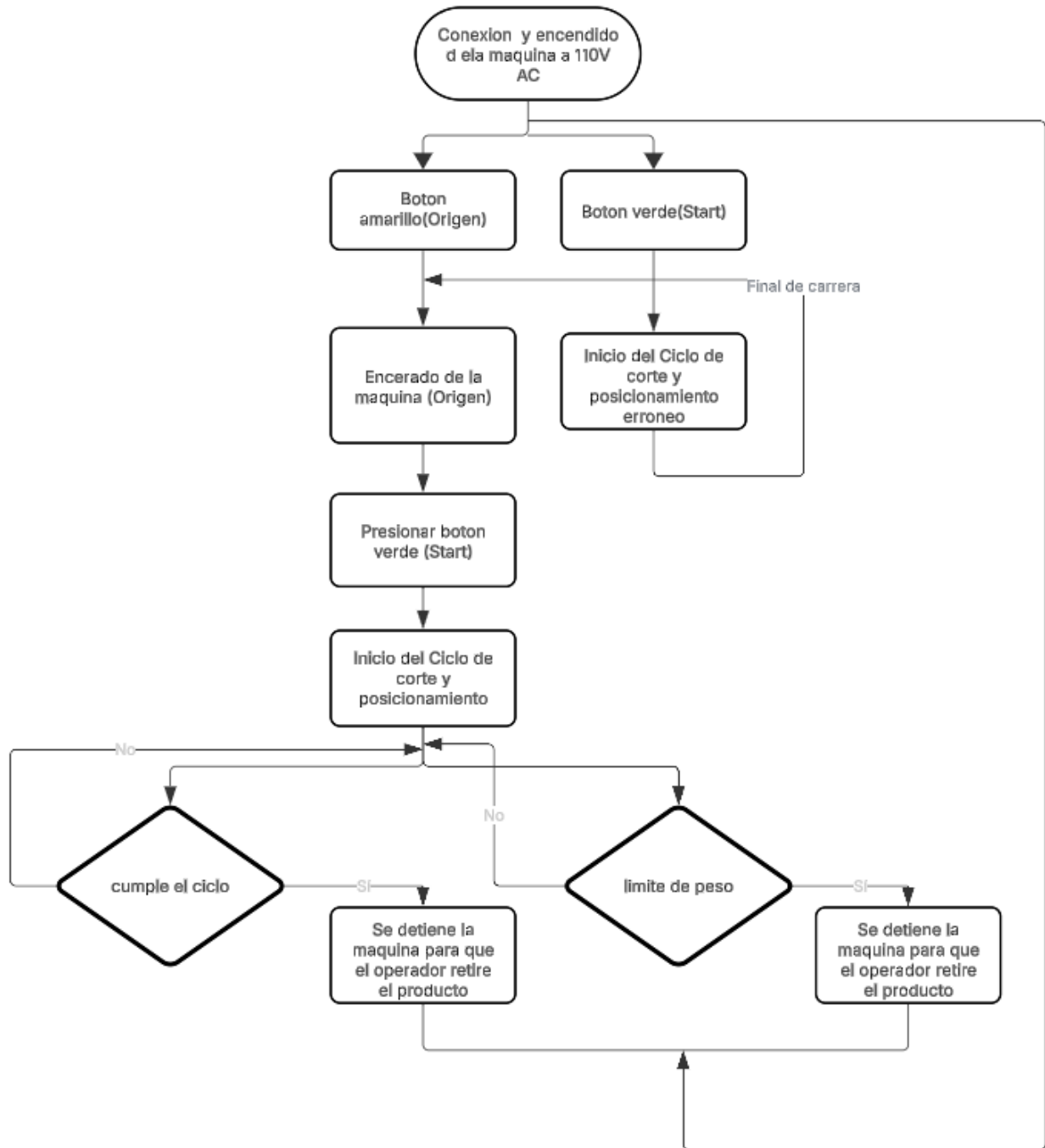


Figura 26. Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina

3.5. Descripción del sistema

Protocolo operacional del prototipo de máquina semiautomática para corte y posicionamiento de champiñón, el prototipo de la máquina semiautomática opera bajo el siguiente protocolo secuencial:

- **Inicialización del sistema**

Se realiza la conexión inicial que necesita la máquina a una fuente de alimentación de 110 v AC; posteriormente, desactiva el sistema mediante la manipulación de un interruptor de encendido.

- **Calibración y posicionamiento**

Esta fase se ejecuta al presionar el botón de color amarillo, lo que esta acción provoca es el reinicio o encerramiento de la máquina, estableciendo la configuración de origen para la siguiente secuencia

- **Inicio del ciclo de procesamiento**

Una vez completado el encerramiento, se activa el ciclo de corte mediante la pulsación del botón de color verde, esta acción provoca el inicio del movimiento programado de la mesa cartesiana y la cuchilla de corte lineal, estos dos antes mencionados trabajan de manera sincronizada para asegurar un corte preciso y eficiente

- **Suministro continuo de materia prima**

Durante la ejecución del ciclo de corte el operador es responsable de mantener un suministro constante de champiñones; lo cual, es la materia prima en el área de alimentación de la madre. Esto garantiza la continuidad del proceso de rebanado y la organización automática del producto final.

- **Fin del ciclo y descarga**

El ciclo de corte concluye al alcanzar un límite preestablecido de peso o al finalizar la secuencia de movimientos programados, el operador en esta etapa puede retirar el recipiente de la mesa.

- **Reinicio del proceso**

Para el inicio del nuevo ciclo de corte se deben repetir todos los pasos anteriores a partir del segundo.

3.6. Arquitectura electrónica

Esta sección expone de manera esquemática la arquitectura electrónica del prototipo, el diagrama muestra la conexión desde la fuente principal de alimentación de 110V AC. Inversión mediante una etapa de rectificación y regulación a 12V DC, y su posterior distribución de energía hacia los

módulos del sistema; mismos que, incluyen sensores y actuadores. Como se observa en la Figura 27.

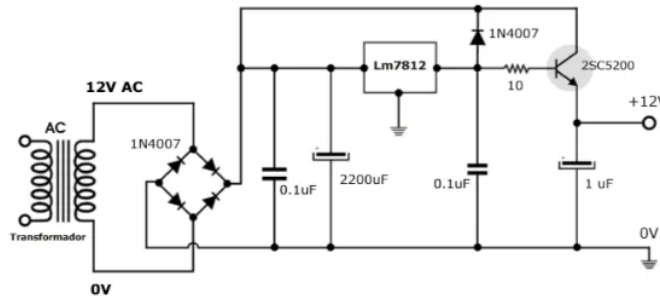


Figura 27. Diagrama eléctrico de la transformación de 110V AC a 12V DC

Se detalla la ruta de conexión del Driver TB6600 hacia el actuador motor Nema 17 y su controlador el Arduino Mega 2560 como se muestra en la Figura 28. Esta conexión servirá para realizar el movimiento de traslación lineal a la mesa cartesiana.

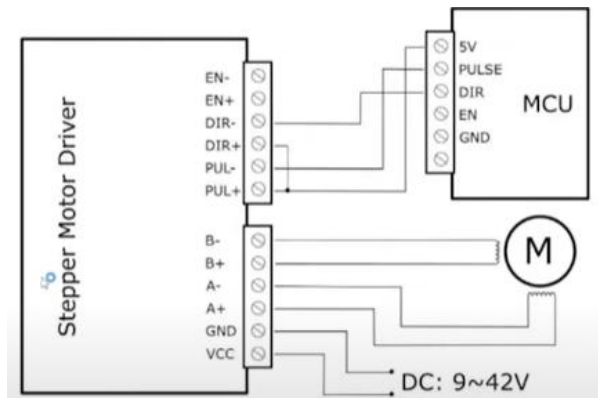


Figura 28. Conexión del Driver TB6600 al motor a pasos Nema 17

3.7. Diseño en software CAD (SolidWorks)

La implementación previa en un software CAD permitió reducir errores de ensamblaje y validar el diseño funcional antes de la fabricación física del prototipo.

Como se puede observar en la Figura 29 se presenta una vista isométrica, que simplifica el estudio y el mantenimiento; debido a que, gracias a esto, se puede comprender cómo se conectan y operan los elementos del diseño.

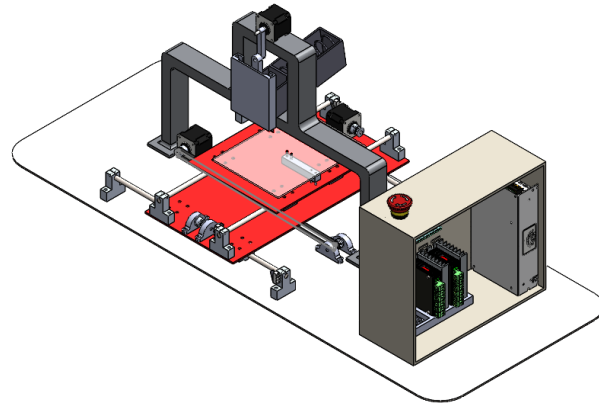


Figura 29. Vista isométrica del ensamblaje posicionada de champiñón.

En la Figura 30 se presenta la vista explosionada de todos los componentes que conforman la máquina mostrada anteriormente en la Figura 26.

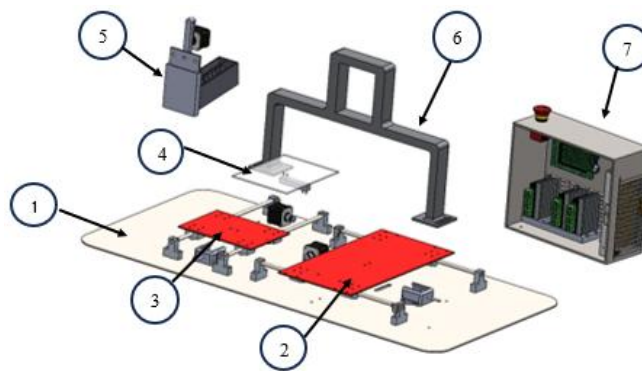


Figura 30. Vista explosionada del ensamblaje de la máquina cortadora y posicionadora de Champiñones.

Esta vista explosionada tiene como objetivo facilitar la comprensión del lector debido a la facilidad de identificación de los componentes que conforman la máquina, destacando la posición y el ensamblaje de cada pieza; lo cual, permite una vista interactiva entre sí dentro de la estructura general de la máquina. Por lo tanto, resulta útil para entender el diseño funcional y estructural sin necesidad de manipulación física de la misma.

En la Tabla 13 se puede observar los elementos requeridos para la llevar a cabo la construcción de la máquina.

Tabla 13. Elementos para la construcción de la máquina

N° de Elemento	Nombre	Material	Cantidad	Dimensiones (m)
1	Mesa base	A36	1	1 x 0.5
2	Mesa lineal en el eje x	A36	1	0.4 x 0.2
3	Mesa lineal en el eje y	A36	1	0.2x 0.2
4	Sistema de pesaje con galga extensiométrica	Acero Inoxidable	1	-
5	Sistema de corte	Acero Inoxidable	1	0.15 x 0.2
6	Soporte del sistema de corte	Acero Inoxidable	1	-
7	Caja de control	Acrílico	1	0.3x 0.25 x 0.13

3.8. Cálculos y selección

En esta sección se realizan los cálculos y las normas de selección de los elementos mecánicos y electrónicos; los cuales, son necesarios para un funcionamiento óptimo del sistema, todo esto basado en las fases anteriores del proyecto.

3.8.1 Cálculo de las masas

Se procede a realizar el cálculo de las masas, ya que será parte del cálculo de las fuerzas que actúan sobre la estructura de la máquina; mismas que, se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

$$M_{del\ producto} = 280g$$

$$M_{de\ la\ 1\ mesa} = 5\ kg$$

$$M_{de\ la\ 2\ mesa} = 15\ kg$$

$$M_{sitema\ de\ corte} = 1\ kg$$

Donde:

$M_{del\ producto}$ Es la masa total del champiñón rebanado en la bandeja (kg).

$M_{de\ la\ 1\ mesa}$ Es la masa total de la primera mesa que soporta la carga extensiométrica y la bandeja con el producto (kg).

$M_{de\ la\ 2\ mesa}$ Es la masa total de la segunda mesa, que soporta la mesa número uno y sus componentes (kg).

$M_{sistema\ de\ corte}$ Masa total del sistema de corte de los champiñones (kg).

3.8.2 Análisis estático estructural

Conociendo la masa total a la que estará sometida la estructura de la máquina cortadora y posicionadora de champiñones, se calcula la fuerza que se ejerce por medio de la ecuación (1)

Análisis de carga tipo viga como se muestra en la Figura 31, en el eje principal que soporta las mesas superiores:

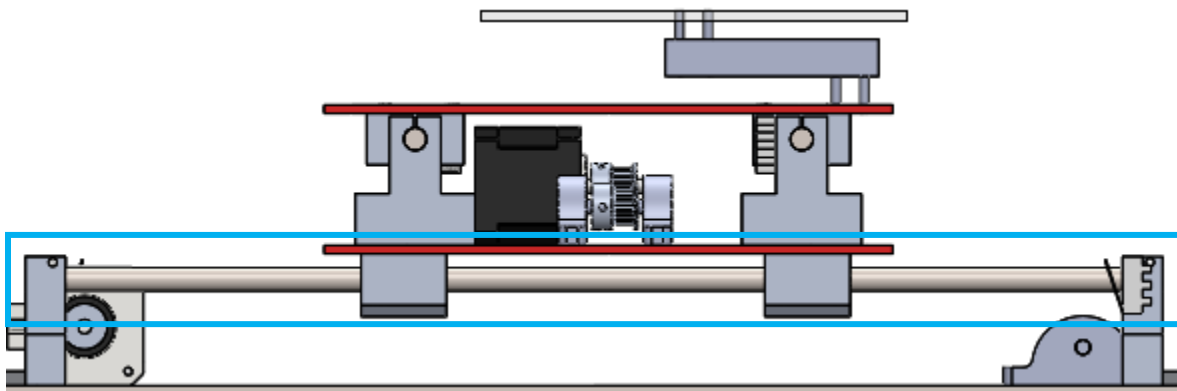


Figura 31. Análisis numérico del movimiento en el eje x

$$\sum MoA = 0 \quad (1)$$

$$(37.5N * 0.135m) + (37.5N * 0.265m) = (Rb * 0.4m)$$

$$Rb = \frac{15Nm}{0.4m}$$

$$Rb = 37.5 N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ra - 37.5N - 37.5N + Rb = 0$$

$$Ra - 37.5N - 37.5N + 37.5N = 0$$

$$Ra = 37.5 N$$

$$\delta = \frac{M * C}{I}$$

$$\delta = \frac{5.06Nm * 0.004}{\frac{\pi * d^4}{4}}$$

$$\delta = 0.1 MPa$$

$$F.S = \frac{Sy}{\delta}$$

$$F.S = \frac{2000MPa}{0.1MPa}$$

$$F.S = 2000$$

Este factor de seguridad es demasiado alto debido a las dimensiones del eje que es de 8 mm; por lo tanto, está sobredimensionado, en este caso se justifica este sobredimensionamiento debido a que los soportes de aluminio de forma en T son estándares de 8 mm.

Con la simulación del software MD Solids, se generan los diagramas de fuerzas cortantes y de momentos flectores en una viga que se encuentran fuerzas puntuales ubicadas a lo largo de la misma, como se muestra en la Figura 32.

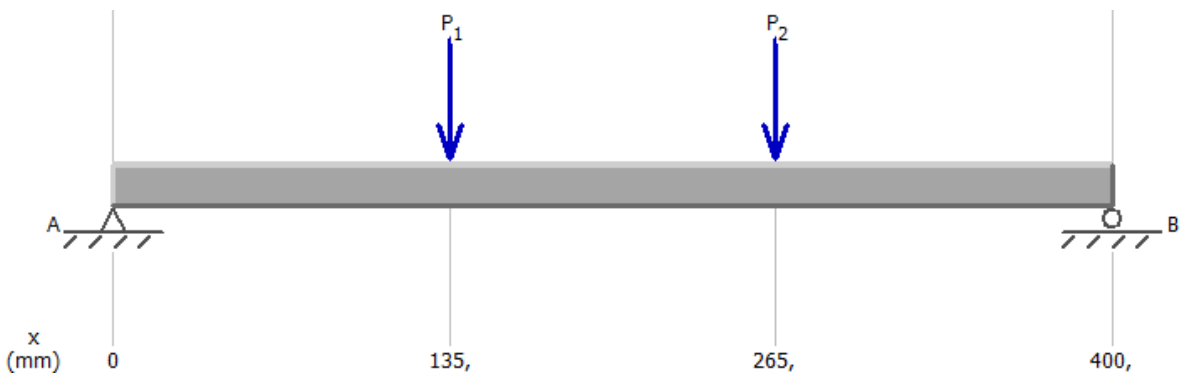
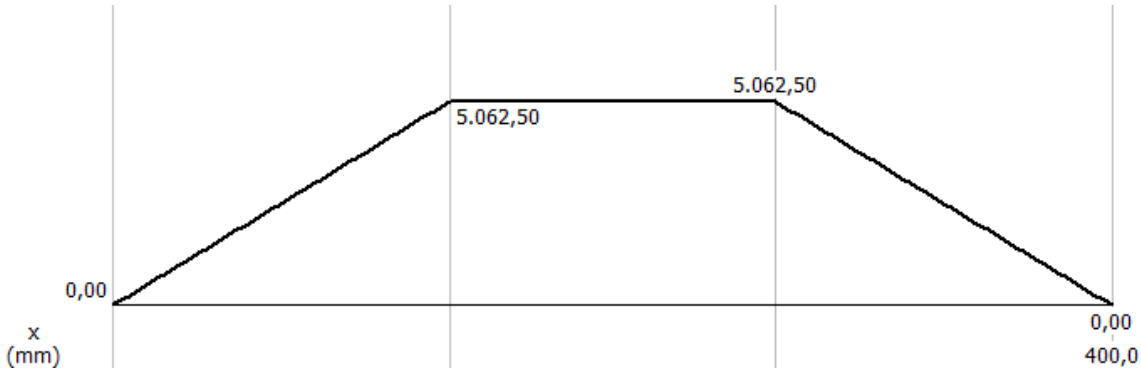


Figura 32. Diagrama de cuerpo libre mesa 2

Se genera un diagrama de cuerpo libre de un momento flector que actúa sobre la viga, este diagrama permite observar las reacciones que existe en el punto A y B como se observa en la Figura 33.



El valor de 5062.50 N es el mayor momento flector que tienen el eje de 8mm.

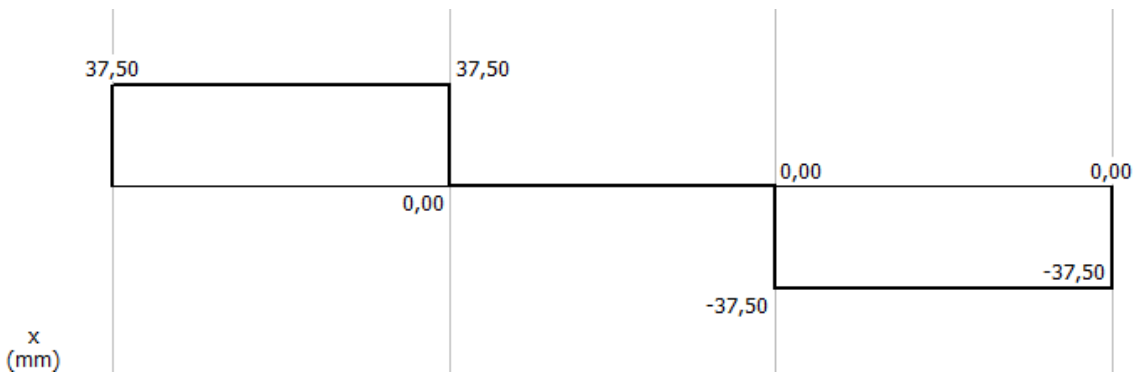


Figura 33. Diagrama de fuerzas cortantes

El valor de 37.5 N representa a las reacciones de 2 cargas puntuales totales de 75N. Estas cargas se aplican de la siguiente manera, la primera a una distancia de 135 mm y la segunda a una distancia de 265 mm; las cuales, se encuentran distribuidas a lo largo del eje de uno de los soportes de la mesa 2.

Análisis de carga tipo beam en el eje secundario que soporta la mesa superior de pesaje:

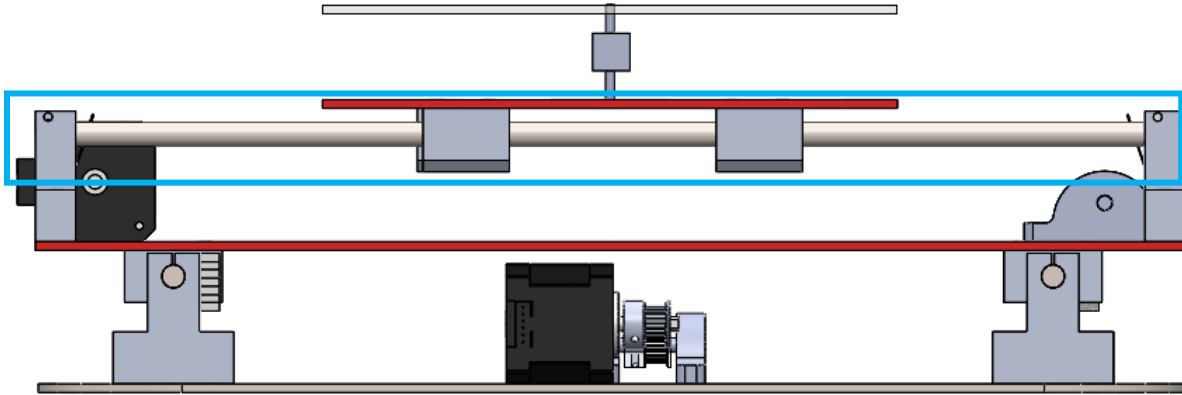


Figura 34. Mesa de movimiento en el eje Y

La simulación con el software MD Solids genera los diagramas de fuerzas cortantes y de momentos flectores en una viga que se encuentran fuerzas puntuales ubicadas a lo largo de la misma, como se evidencia en la Figura 34.

$$\sum MoA = 0 \quad (1)$$

$$(22.05N * 0.135m) + (22.05N * 0.265m) = (Rb * 0.4m)$$

$$Rb = \frac{8.82Nm}{0.4m}$$

$$Rb = 22.05 N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ra - 22.5N - 22.5N + Rb = 0$$

$$Ra - 22.5N - 22.5N + 22.5N = 0$$

$$Ra = 22.05 N$$

$$\delta = \frac{M * C}{I}$$

$$\delta = \frac{2.98Nm * 0.004}{\frac{\pi * d^4}{4}}$$

$$\delta = 0.1 \text{ MPa}$$

$$F.S = \frac{S_y}{\delta}$$

$$F.S = \frac{20000 \text{ MPa}}{0.1 \text{ MPa}}$$

$$F.S = 2000$$

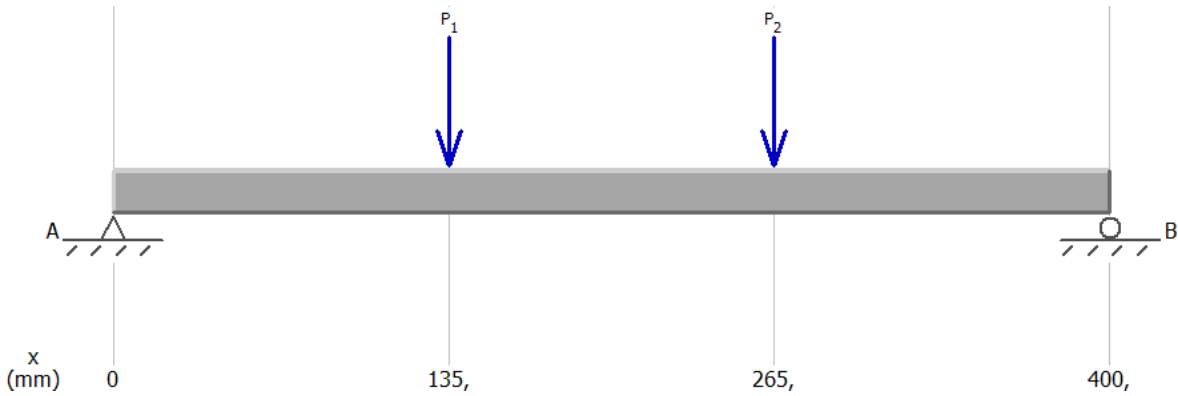


Figura 35. Diagrama de cuerpo libre

Se genera un diagrama de cuerpo libre de un momento flector que actúa sobre la viga, este diagrama permite observar las reacciones que existe en el punto a y b como se muestra en la Figura 35.

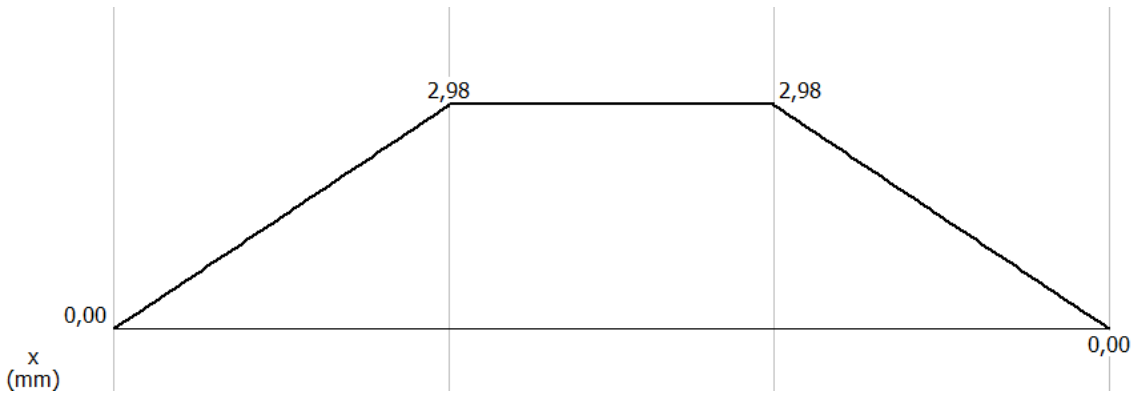


Figura 36. Diagrama del momento flector

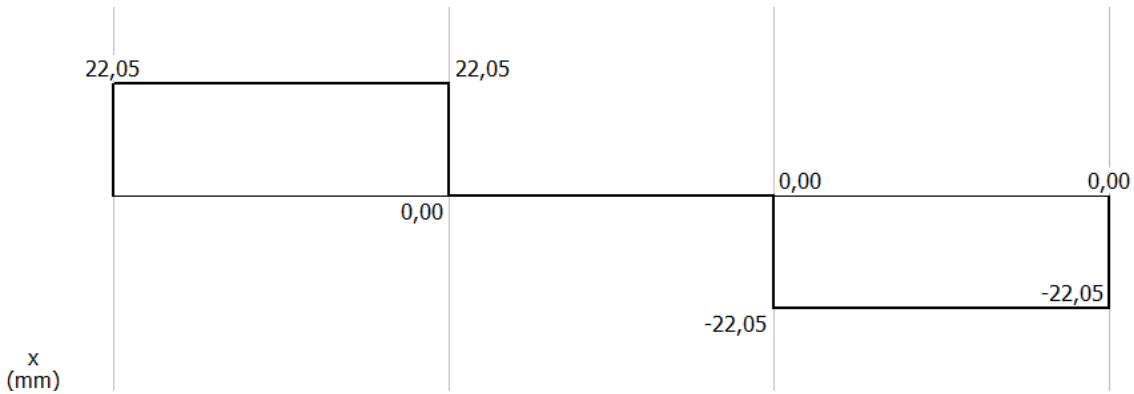


Figura 37. Diagrama de fuerzas cortantes

El valor de 22.05 N representa a las reacciones de 2 cargas puntuales totales de 44.1N. Estas cargas se aplican de la siguiente manera la primera a una distancia de 135 mm y la segunda a una distancia de 265 mm, estas se encuentran distribuidas a lo largo del eje de uno de los soportes de la mesa 1, como se muestra en la Figura 38.

Análisis de carga tipo beam en el soporte de la cuchilla:

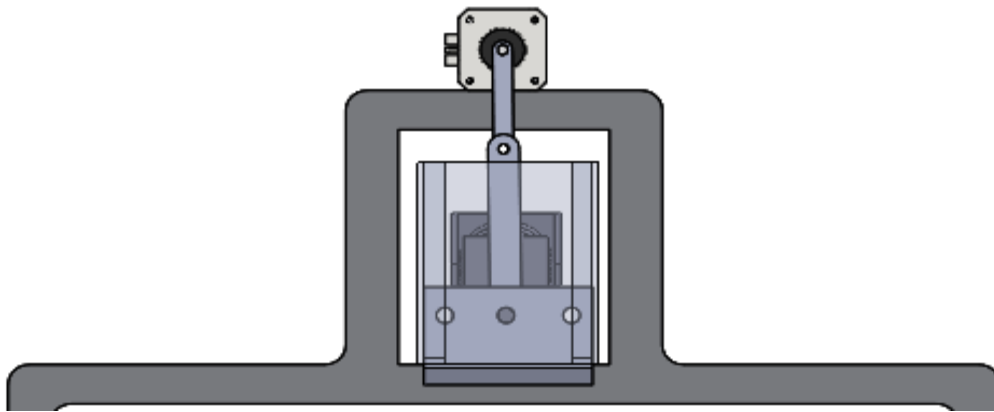


Figura 38. Estructura de soporte para el sistema de corte.

$$\sum M_{oA} = 0 \quad (1)$$

$$(12.25N * 0.1725m) + (50.96N * 0,235m) + (12.25N * 0.2975m) = (Rb * 0.47m)$$

$$Rb = \frac{17.7331Nm}{0.47m}$$

$$Rb = 37.73 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ra - 12.25N - 12.25N - 50.96 + Rb = 0$$

$$Ra - 12.25N - 12.25N - 50.96 + 37.73N = 0$$

$$Ra = 37.73 N$$

$$\delta = \frac{M * C}{I}$$

$$\delta = \frac{2.98Nm * 0.004}{\frac{\pi * d^4}{4}}$$

$$\delta = 0.1 MPa$$

$$F.S = \frac{Sy}{\delta}$$

$$F.S = \frac{20000 MPa}{0.1MPa}$$

$$F.S = 2000$$

Con la simulación del software MD Solids se generan los diagramas de fuerzas cortantes y de momentos flectores en una viga que se encuentran fuerzas puntuales distribuidas a lo largo de la misma, como se muestra en la Figura 39.

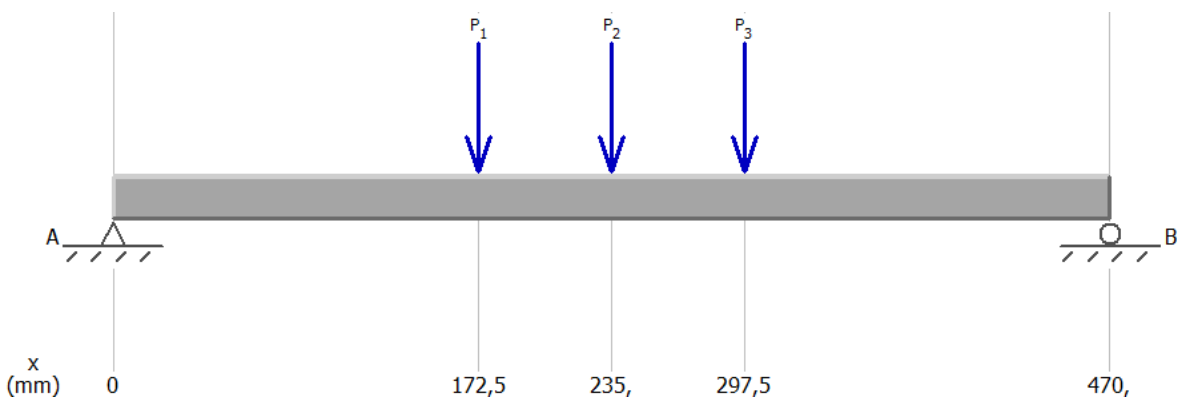


Figura 39. Diagrama de cuerpo libre

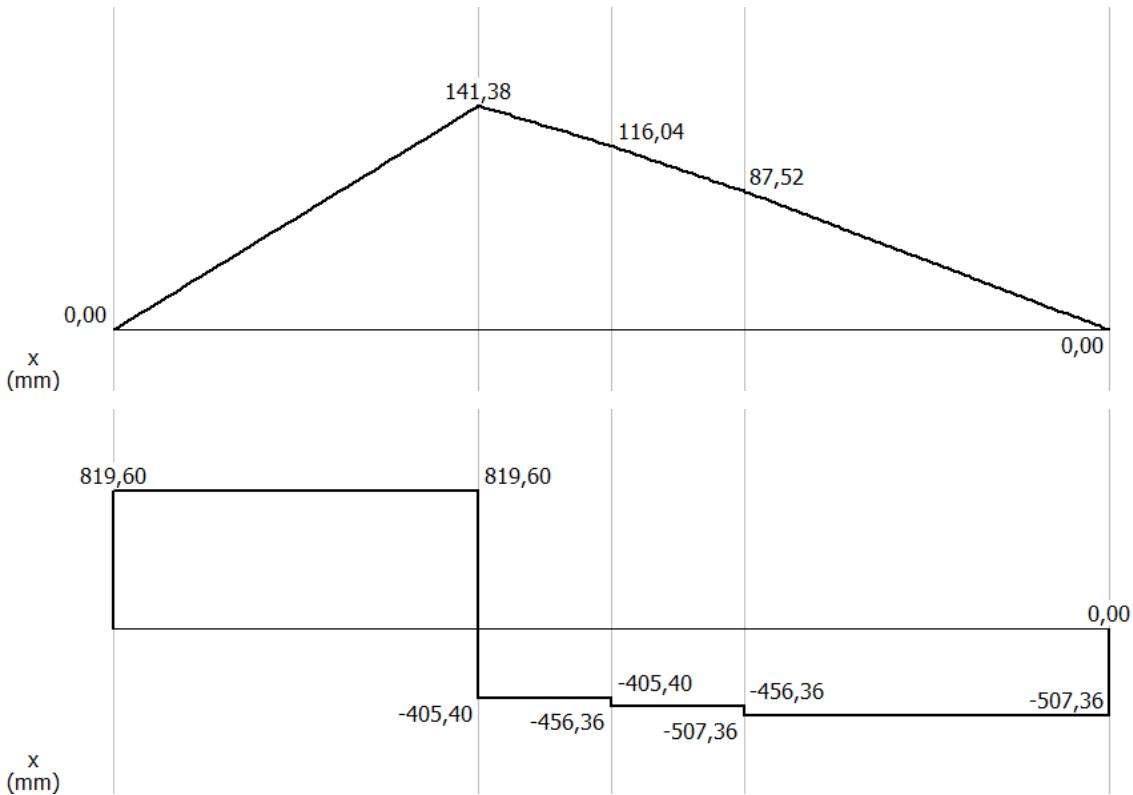


Figura 40. Diagrama de fuerzas cortante.

El valor de 819,6 N representa las reacciones con cargas puntuales distribuidas a lo largo de la viga. Estas cargas se aplican en la parte superior de la viga estructural. Como se observa en la figura 40.

3.9 Análisis de soldadura en estructura de sistema de corte

Para garantizar la integridad estructural del soporte que sostiene el sistema de corte, se realiza el análisis de resistencia de la soldadura que une la base de la columna vertical con la placa base de fijación. Esta unión se presenta como un cordón de soldadura, en la base del perímetro del tubo estructural.

3.9.1. Especificaciones de diseño

- Tipo de unión: Filete en ángulo (cordón triangular)
- Proceso de soldadura: TIG (GTAW)
- Material base: Acero inoxidable AISI 304
- Cateto del filete: $a=5\text{mm}$

- Longitud soldada por lado: }40mm
- Lados soldados: 2 (frontal y posterior)
- Carga aplicada: F=50N
- Resistencia última del material base: fu=550MPa
- Factor de seguridad: FS=2

3.9.2. Área efectiva de la soldadura

$$L = 2 * 40 = 80mm$$

$$A_{ef} = L * 0.707 * a$$

$$A_{ef} = 80 * 0.707 * 5$$

$$A_{ef} = 282.8mm^2$$

3.9.3. Esfuerzo cortante aplicado

$$\tau = \frac{F}{A_{ef}}$$

$$\tau = \frac{50}{2.828 \times 10^{-4}}$$

$$\tau = 176.8 \text{ kPa}$$

3.9.4. Esfuerzo cortante admisible

$$\tau_{adm} = \frac{fu}{\sqrt{3} * FS}$$

$$\tau_{adm} = \frac{550 \times 10^6}{1.732 * 2}$$

$$\tau_{adm} = 158.75 \text{ MPa}$$

Verificación

$$\tau = 0.177 \text{ MPa} \ll 158.75 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante generada por la carga estructural es más bajo que el valor admisible debido al cordón de soldadura TIG en acero inoxidable. Se afirma que cumple con los requisitos de seguridad y confiabilidad para el funcionamiento del sistema de corte.

3.10. Análisis y selección de pernos

El análisis de pernos en una estructura se trata de la capacidad de los pernos y las uniones atornilladas para que soporten la carga aplicada sin fallar, es necesario para el diseño estructural garantizar la seguridad y la durabilidad de las conexiones.

Para este análisis se presenta en la Figura 41, las zonas que van a ser sujetas por pernos.

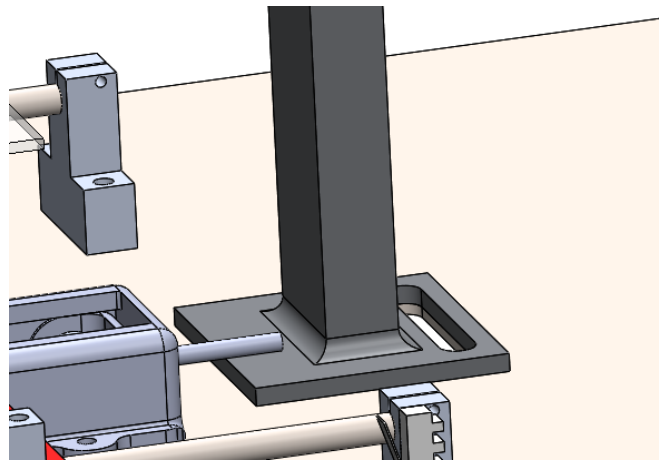


Figura 41. Zonas en donde existe una conexión emperrada

Ya identificadas estas zonas donde se colocan los pernos, se debe de verificar qué tipo de análisis se debe realizar ya sea tensión o cortante, mismo que se representa gráficamente en la Figura 42.

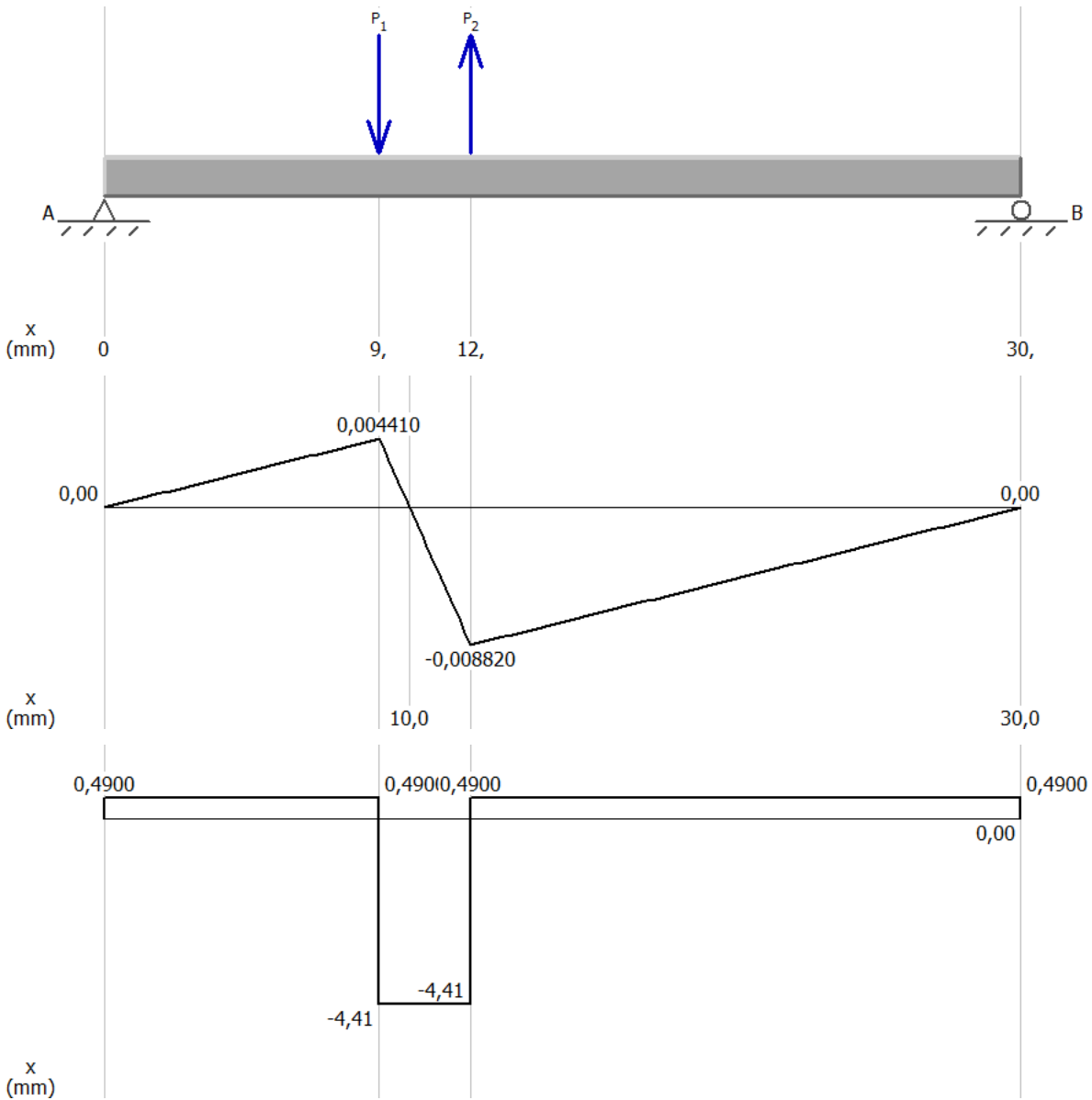


Figura 42. Dirección de las fuerzas de miembros estructurales

Ya en conocimiento de las fuerzas que existen en la estructura, se realiza un análisis del comportamiento que tendrán los pernos donde serán ubicados, su objetivo dentro de la estructura será mantener fijas las zonas donde serán ubicados, en este caso: entre la base y la estructura que va a soportar el sistema de corte, entre la base y los soportes de los ejes, entre la base y la caja de control.

Como se puede observar en la Tabla 14 se detalla el tipo de perno que ese seleccionó para la máquina; el cual, formará parte de las sujeciones de la base principal.

Tabla 14. Características del Perno M5

Característica	Descripción
Diámetro nominal	M5
Tipo de rosca	Métrica
Paso de rosca	0.8 mm (paso grueso estándar) o 0.5 mm (paso fino)
Tipo de cabeza	Hexagonal
Material	Acero al carbono
Resistencia a la tracción	800 Mpa
Límite elástico	640 Mpa
Altura de la cabeza	3.5 mm
Longitud	10, 20 O 30mm

Para la elección del perno que se utilizará para sujetar las mesas de los distintos niveles se realizó la Tabla 15, donde se muestran las características más importantes del perno con su descripción:

Tabla 15. Características del perno M4

Característica	Descripción
Diámetro nominal	M4
Tipo de rosca	Métrica
Paso de rosca	0.7 mm (paso estándar)
Tipo de cabeza	Hexagonal
Material	Acero al carbono
Resistencia a la tracción	800 Mpa
Límite elástico	640 Mpa
Altura de la cabeza	2.8 mm
Longitud	4 mm, 20 mm

3.11. Selección del calibre del cable por norma IEC/NEC

Para la selección del cable se realizó en la Tabla 16 un estimado en consumo de corriente por cada uno de los componentes que existen en el prototipo:

Tabla 16. Sumatoria de consumo de corriente del prototipo.

Componente	Cantidad	Consumo aproximado (mA)	Corriente total (A)
Motor de Nema 17	3	1.2(por fase, 2 fases)	7.2
Driver TB6600	3	20-50	0.1
Finales de carrera mecánicos	4	5	0.002
Galgas tensión métrica y su driver	1	1	0.001
Advino mega 2560	1	80-100	0.1
Sumatoria	12	-	7.4

Para esta selección se realizó la sumatoria de amperajes que consume todo el prototipo y se llegó a la conclusión de la selección de calibre para el cable en la Tabla 17.

Tabla 17. Selección del calibre para el cable.

Tramo (V)	Corriente estimada (A)	Calibre recomendado (AWG)	Sección (mm²)	Observaciones
12 V (fuente/drivers)	7.4	18	0.82	Para evitar caída de tensión y calentamiento
110 V CA (alimentación)	0,85	18	0,82	Suficiente para la fuente conmutada

Se seleccionó el cable 18 AWG en base a la norma IEC 60228 que regula los conductores de cables aislados internacionalmente, también por la norma NEC NFPA-70; la cual, es un código eléctrico nacional de Estados Unidos que utiliza AWG y aplica en instalaciones fijas.

Se justifica la elección del cable 18 AWG debido a que su máximo soporte de amperaje es de 10 amperios y el consumo del prototipo si todo trabaja simultáneamente sería de 7.4 A, pero su programación no lo permite ya que máximo se pueden accionar 2 motores a la vez; por lo tanto, bajaría el consumo de amperaje de la máquina y se obtendrá un margen de seguridad idóneo para este cable de 10 A.

Una vez seleccionado el cable que se va a utilizar para el desarrollo de la máquina, se especifica en la Tabla 18 los colores de los cables o el calibre sugerido.

Tabla 18. Definición de los colores para el cableado del prototipo

Circuito	Voltaje (V)	Calibre sugerido (AWG)	Color (según norma)
Línea	110	18	Blanco
Neutro	110	18	Negro
Tierra	—	18	Verde
12 V (+)	12 DC	18	Rojo/Azul
12 V (-)	12 DC	18	Blanco

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control y de todos los componentes de la máquina es necesario determinar el consumo total de corriente a 12V; el cual, permitirá seleccionar una fuente de alimentación adecuada para el prototipo.

$$I_{Total} = I_{M.Pasos} + I_{drivers} \quad (\text{Ec.})$$

$$I_{Total} = 7.2A + 0.1 A$$

$$I_{Total} = 7.3 A$$

Conociendo la corriente total a 12V, es necesario calcular la corriente requerida de la línea de alimentación de 110V para una fuente conmutada que alimenta un sistema de 12V, se considera

una eficiencia del 80%, en la cual se calcula la potencia de entrada necesaria y la corriente que debe suministrar la red eléctrica de 110V.

$$P_{salida} = 12V \times 7.3A = 87.6W$$

$$P_{entrada} = \frac{87.6W}{0.8\%} = 109.5W$$

$$I_{110V} = \frac{109.5W}{110V} = 0.99A$$

3.II.1. Cálculo del par del motor

La potencia eléctrica consumida por el motor se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{Eléctrica} = I^2 * R$$

Donde:

$$I = 1.7 A$$

$$R = 1.5\Omega$$

$$P_{Eléctrica} = (1.7)^2 * 1.5$$

$$P_{Eléctrica} = 4.34 W$$

Estimación de la potencia mecánica útil

Los motores a pasos no convierten toda la energía eléctrica en trabajo mecánico ya que poseen una eficiencia del 60% al 70% en este caso se utilizará el valor promedio que sería el 65%.

$$P_{mecánica} = P_{eléctrica} * \eta$$

$$P_{mecánica} = 4.34 * 0.65$$

$$P_{mecánica} = 2.82 W$$

Cálculo de las revoluciones por minuto (RPM)

En la programación se coloca una velocidad de 400 microsegundos entre pulso por ello se puede decir que:

$$Pulsos\ por\ segundo = \frac{1000000}{Velocidad\ en\ microsegundos}$$

$$Pulsos\ por\ segundo = \frac{1000000}{500}$$

$$Pulsos\ por\ segundo = 2500$$

Una vez obtenido este dato se puede decir que las RPM serán:

$$RPM = \frac{2000 * 60}{1600}$$

$$RPM = 93.75\ RPM$$

Cálculo de la velocidad angular

El motor gira a 75 RPM, su velocidad angular será:

$$\omega = \frac{2\pi * 93.75}{60}$$

$$\omega = 9.82\ rad/s$$

Cálculo del par motor

$$T = \frac{P_{mecánica}}{\omega}$$

$$T = \frac{2.82}{9.82}$$

$$T = 0.287N$$

Cálculo de la fuerza que tiene aplicada por la banda

Para conocer la fuerza con la que la banda desplaza la mesa en el eje X y Y es necesario convertir el par rotacional del motor en una fuerza lineal, esto se logra aplicando la relación entre torque y el radio de acción:

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{0.287}{0.075}$$

$$F = 3.82 \text{ N}$$

El sistema puede aplicar una fuerza lineal de 3.82 N sobre las mesas de los ejes X y Y a través de la banda dentada, esto por el par generado por el motor Nema 17 y la transmisión mediante el piñón de 150 mm de diámetro.

Fuerza lineal ejercida por la banda dentada

$$F = m * a$$

F: fuerza neta aplicada sobre la mesa en Newtons (N).

m: masa que desplaza el motor, en kilogramos (kg). Incluye la masa de la carga y de la propia estructura móvil.

a: aceleración lineal con la que se mueve la mesa, en m/s^2

La mesa de 2 kg se debe mover sobre el eje y los rodamientos lineales, para poder aplicar la ecuación anterior se debe hacer una estimación de la aceleración con la siguiente ecuación:

$$a = \frac{2d}{t^2}$$

$$a = \frac{2 * 0.2}{0.6^2}$$

$$a = 1.11 \text{ m/s}^2$$

$$F = m * a$$

$$F = 2 * 1.11$$

$$F = 2.22 \text{ N}$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$T = F * r$$

$$T = 2.22 * 0.075$$

$$T = 0.2 \text{ N}$$

Comparándolo con el cálculo anterior del torque se observa cierta similitud por lo que se puede decir que el torque será de 0.2N, lo cual es suficiente y sobredimensionado para el prototipo; por lo tanto, se garantiza un factor de seguridad bastante alto y se justifica, debido a que ya se contaba con estos motores a paso.

3.12. Conclusión del diseño y simulación

En este capítulo se abordó el diseño electrónico, mecánico y estructural del prototipo a través del software CAD SolidWorks, análisis estático y cálculos de consumo eléctrico, se seleccionaron los componentes y parámetros de funcionalidad más adecuados.

La validación estructural mediante factores de seguridad elevados y el diseño modular del sistema asegura su operatividad confiable imprecisa en los cortes, estos resultados son fundamentales para las pruebas funcionales del siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

Pruebas y resultados

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas al prototipo de la máquina cortadora y posicionadora de champiñones, la cual se enfoca en verificar su precisión, eficiencia y fiabilidad. Se evaluaron indicadores como el tiempo de operación por ciclo, la exactitud del corte y el pesaje, así como la calidad de posicionamiento del producto final.

4.1 Seguimiento del prototipo

Se muestra a continuación el boceto que fue diseñado utilizando el software de SolidWorks, un software CAD de modelado 3D y ampliamente utilizada para la creación del proyecto mecánico, este modelado permitió visualizar los componentes principales, con las distintas mesas del prototipo y la estructura del sistema de corte, como se visualiza en la Figura 43. La finalidad de este boceto es proporcionar una guía preliminar del ensamblaje para el prototipado físico, asegurando que todos los elementos sean compatibles y funcionales.

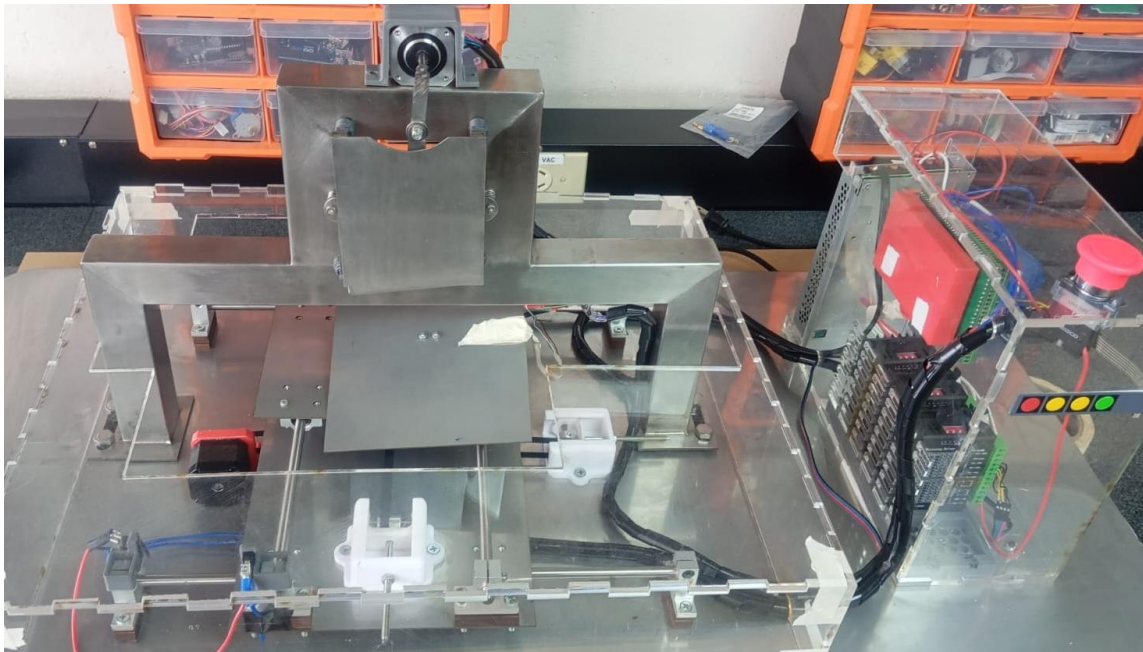


Figura 43. Vista isométrica del prototipo

Durante el proceso de prototipado del cortador y posicionador de champiñones se tomó la decisión de utilizar un módulo adaptado al Arduino Mega 2560, como se observa en la Figura 44, para evitar la preparación de una PCB (Printed Circuit Board); debido a que, este módulo permite atornillar y desatornillar los cables de una manera más eficiente, dando la facilidad de intercambiarlos y un fácil reemplazo de sensores o actuadores.

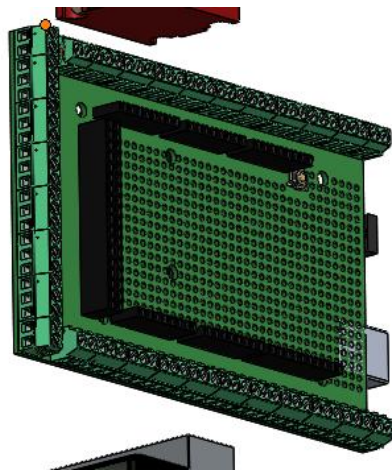


Figura 44. Módulo de conexiones del Arduino Mega 2560

Se pudo identificar un inconveniente al momento del recorrido de los ejes X y Y debido a que la pieza estándar en forma de T, no tiene la suficiente altura para que pueda recorrer libremente la mesa, por lo que se implementó unas alzas en la pieza de forma en T de aluminio; mismas que, proporcionan una mayor altura y facilitan la movilidad de la mesa en los ejes dimensionales, esto también ayudará a que el motor se pueda colocar en la parte inferior de la mesa para optimizar espacio, como se evidencia en la Figura 45.

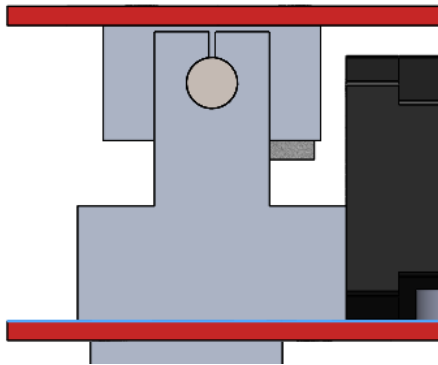


Figura 45. Alzas en los soportes del eje

Se presentó la problemática del apriete de las bandas con lo cual se diseñó un módulo; mismo que, consistía en que si se aprieta la tuerca esta retrocederá y por ende se tensará la banda, resultando en que esta se mantendrá en su posición gracias al sólido que contiene un tipo de riel para su movilidad. Como se visualiza en la Figura 46.

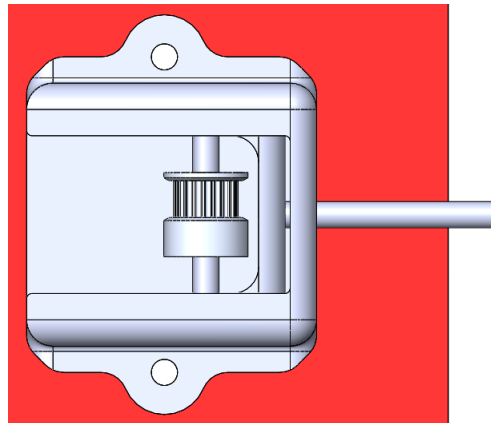


Figura 46. Sistema de ajuste de bandas

4.2 Comprobación de hipótesis

Para poder validar la hipótesis planteada en el proyecto, se desarrolló un prototipo funcional de una máquina cortadora y posicionadora de champiñones; la cual, establece que:

“Es posible diseñar e implementar un prototipo automático que permita realizar cortes precisos y posicionamiento adecuado de champiñones con eficiencia superior al proceso manual”

La comprobación se lleva a cabo mediante pruebas, en las cuales se evaluaron los siguientes indicadores:

Precisión del corte: se comparó el tamaño de los cortes obtenidos con la máquina y el corte manual.

Tiempo de operación por ciclo: se tomaron datos de la duración total del proceso de corte y se lo comparó con el tiempo promedio del corte manual.

Funcionamiento del posicionamiento: se verificó que el sistema de desplazamiento colocó correctamente cada champiñón en la posición deseada antes del corte.

Control del peso del producto: se verificó la exactitud del pesaje de los 280 g de rebanadas de champiñones.

4.3 Resultados del funcionamiento continuo del prototipo.

Registro del número de rebanadas por plato y posicionamiento de estas.

Se dedicó tiempo a la adquisición de datos del número de rebanadas que existen en cada plato, estos datos recolectados son clave; debido a que reflejan y permiten analizar la cantidad del producto para así poder darle un valor agregado. Como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19. Calidad del posicionamiento

N° de rebanadas	Posicionamiento /10	Cumple con el estándar de calidad
65	10	si
60	10	si
63	9	si
64	9	si
66	10	si

Los datos mostrados en la Tabla 19 reflejan la similitud del número de rebanadas que existe en el plato con una media de 60 rebanadas, y que cumple los estándares de calidad de posicionamiento, a la vista del consumidor será más agradable debido a que tiene una forma ordenada por columnas. Como se observa en la Figura 47.



Figura 47. Comparación del número de rebanadas de las muestras

Registro temporal del cumplimiento del ciclo

Se adquirieron datos temporales cronometrados de sucesivas repeticiones del ciclo, para poder evidenciar una media de tiempo en la que se demora en cortar una bandeja de champiñones de 280gr. Como se evidencia en la Tabla 20.

Tabla 20. Muestra de tiempos del ciclo de rebanado y posicionamiento

N° de ciclo	Tiempo del ciclo (s)
1	58.6
2	59.3
3	58.2
4	59
5	58.4
6	59.2
7	57
8	58.3
9	59.7
10	60
Total:	58,67

Con los datos tomados en la tabla anterior, decimos que se obtiene una media de procesamiento de 60 segundos por bandeja a comparación con el corte manual de 3 minutos, se nota una gran diferencia de tiempos y de presentación del producto.



Figura 48. Recolección de tiempos por ciclo cumplido

Se visualiza en la Figura 48 el recorrido mesa en ambos ejes cómo el X y Y, ya que se basa en el ciclo que va a cumplir, se dan varios pasos a lo largo del eje Y, después se mueve 2 veces a lo largo del eje X y retorna así sucesivamente hasta formar el ciclo del 3 de repeticiones.

Registro cuantitativo del pesaje de los platos de champiñón

Se adquirieron datos mediante una balanza externa a la del prototipo, como se puede apreciar en la figura 49 así se pudieron analizar cuál es el porcentaje de error que tiene la máquina al pesar los 280 g y así proporcionar la cantidad justa por este producto. Como se visualiza en la Tabla 21.

Tabla 21. Muestra del peso del plato de champiñones

N° de muestras	Peso promedio para alcanzar los 280g
1-3	279
4-6	278
7-9	281
10-12	280
13-15	281
Total:	279

Como se demostró en la Tabla 21 existe una precisión del pesaje del $\pm 0.4\%$ del peso esperado que está dentro del margen de error ya que se obtuvo como límite superior 281 g y como límite inferior 279 g. Como se observa en la figura 49.



Figura 49. Comparación del pesaje del prototipo con una balanza calibrada

4.4 Comprobación de resultados

Precisión del corte: la máquina logró un margen de error inferior al ± 1 mm respecto al valor esperado, siendo aceptable según los criterios del diseño.

Reducción del tiempo de trabajo: el tiempo promedio por el ciclo de corte y posicionamiento fue de 1 minuto, lo que representa una mejora significativa frente al tiempo de corte manual de 3 minutos.

Automatización efectiva: el sistema completó exitosamente el ciclo de trabajo programado de corte y avance durante más de 30 repeticiones consecutivas sin errores evidentes.

Precisión del pesaje: la máquina semiautomática está dentro del margen de error del 2% en el peso de los 280 gr, dando así un límite inferior de 275 g y un límite superior de 285 g, como se comprueba en la Tabla 22.

Tabla 22. Análisis de resultados

Indicador	Resultado	Cumple con estándares
Tiempo por ciclo	58.67 s	Sí
Error en corte	± 1 mm	Sí
Error de peso	± 2 g	Sí
Repeticiones sin fallo	30 ciclos	Sí

4.5 Análisis de costo de la implementación del proyecto

Total, estimado para el prototipo de máquina cortadora de champiñón.

Como se muestra en la Tabla 23, se presenta la evaluación de costos de los principales componentes seleccionados para la implementación del sistema automático, este análisis se enfoca en permitir la identificación del costo total del proyecto, así como un desglose de los precios de cada uno de los elementos. Incluyendo información de los equipos electrónicos y mecánicos que contribuyeron a la construcción del prototipo.

Tabla 23. Tabla de costos de implementos para el prototipo

Ítem	Nombre con detalle	Unidad	Costo unitario	Coste total
1	Fuente de poder de 12V 10A	1	15	15
2	Microprocesador Arduino Mega 2560	1	20	20
3	Driver TB6600	3	10	30
4	Paro de emergencia	1	3	3
5	Botón de membrana 4x1	1	1.50	1.50
6	Caja de control Acrílico	1	8	8
7	Motores Nema 17	3	20	60
8	Galga extensiométrica	1	10	10
9	Driver hx711	1	4	4
10	Banda dentada	1	12	12
11	Templadores de banda	2	5	10
12	Unión de banda	2	1	2
13	Soportes en forma de T SK8-SH8	8	5	40
14	Rodamientos lineales de 8mm	8	5	40
15	Mesa base en Acero inoxidable 304	1	25	25
16	Mesa eje x en Acero inoxidable 304	1	12	12
17	Mesa eje y en Acero inoxidable 304	1	10	10
18	Mesa de pesaje en Acero inoxidable 304	1	7	7
19	Estructura del sistema de corte (tubo cuadrado inoxidable 304)	1	80	80
20	Sistema de corte en acero inoxidable 304	1	67	67
21	Tornillos M5	25	0.20	5
22	TORMILLOS M2	25	0.10	2.5
23	Cable 18	6	0.45	2.7
			Total	\$466.7

Como se puede observar en la Tabla 23 se enumeraron las componentes de todo el prototipo obteniendo un resultado del precio total de \$466.70 para una máquina semiautomática cortadora y posicionadora de champiñones; la cual, economizará tiempo y aumentará la producción.

Mano de obra indirecta

Cómo se puede observar en la Tabla 24 una estimación de horas de trabajo por actividad indirecta para la fabricación del prototipo. Se toma en cuenta el sueldo básico en el Ecuador en el año 2025 con un mensual de \$460 USD y un costo por hora de \$2.875/hora

Tabla 24. Mano de obra indirecta

Actividad	Horas estimadas	Costo (\$)
Diseño CAD y simulación	20 h	57.5
Corte y soldadura de estructura	10 h	28.75
Ensamblaje mecánico	20 h	57.5
Instalación eléctrica y cableado	10 h	28.75
Programación y pruebas	15 h	43.13
Ajustes finales y calibración	10 h	28.75
Total, de horas:	85h	\$244.38

Costos indirectos

se puede observar una estimación de insumos adicionales en la Tabla 25 no reflejadas directamente en la lista de materiales, Debido a que son costos indirectos para poder realizar lo antes mencionado en las tablas anteriores.

Tabla 25. Costos indirectos

Concepto	Costo estimado (\$)
Electricidad durante construcción	28
Insumos de soldadura	25
Desgaste de herramientas	20
Herramientas menores y tornillería extra	10
Seguridad (guantes, lentes, etc.)	12
Transporte de materiales	30
Total, costos indirectos	\$125

Para comprender mejor la inversión que se hace en este prototipo, se dividieron por grupos y los componentes usados en la máquina que se muestran en la Tabla 26 se muestra un resumen general del presupuesto. En donde se mostró que el costo total de la máquina con un margen de contingencia del 30% para posibles repuestos, pruebas extendidas, mejoras en la estructura o sensores, Aseguramos que con 1086.9 USD el prototipo funcionara de manera adecuada.

Tabla 26. Costos Generales del proyecto

Categoría	Total (\$)
Materiales	466.70
Mano de obra	244.38
Costos indirectos	125.00
Subtotal	836.08
Margen de contingencia 30%	250.82
Total	1086.9

Estimación de costo por ciclo

Estimando una vida útil de 100000 ciclos de corte, el costo por operación es de:

$$\text{Costo por ciclo} = \frac{\text{Costo del prototipo}}{\text{Ciclos de corte}}$$

$$\text{Costo por ciclo} = \frac{466.70}{100000}$$

$$\text{Costo por ciclo} = 0.004667 \text{ USD/ciclo}$$

Este valor demuestra que el sistema es económicamente viable para producciones de media escala.

4.6 Justificación de costos

El costo total Dentro de otro tipo ascendió a 1086.9 USD, se justifica principalmente por los siguientes aspectos técnicos y estratégicos relacionados a la calidad de los materiales el nivel de automatización y la eficiencia del sistema.

- **Materiales de calidad alimentaria:** se utilizó un acero inoxidable 304 que cumple con la normativa ISO 22000, ya que es un material aplicado usualmente en industria alimentaria por su capacidad de evitar la contaminación por contacto con metales.
- **Automatización robusta y modular:** se empleó componentes electrónicos de calidad, tales como, en Arduino Mega, Driver TB6600 y sensores, que permiten el funcionamiento semiautomático, pero con la posibilidad de escalar a un sistema más complejo en el futuro.
- **Mecánica de precisión:** los motores a pasos Nema 17, rodamientos lineales y sistemas de banda permitió movimientos controlados con buena repetibilidad. Estos elementos son típicos en sistemas CNC y máquinas 3D, por lo que asegura una buena durabilidad y precisión.
- **Desempeño costo beneficio:** a pesar de ser un sistema semiautomático, el prototipo ofrece resultados competitivos con una inversión baja comparado con maquinaria industrial que supera los \$2000 USD, por eso se afirma que el sistema implementado logra cumplir sus funciones clave con una eficiencia razonable.
- **Facilidad de mantenimiento y reemplazo de componer:** gracias al uso de módulos de conexión, componentes de uso comercial y estructuras accesibles, el mantenimiento preventivo y correctivo es sencilla, ya que reduce los costos a largo plazo.

4.7. Análisis económico

Para el desarrollo de esta etapa se colocan los cálculos de periodos de recuperación de la inversión tasa interna de retorno (TIR) y valor actual neto(VAN).

Flujo de caja

Se determinar el flujo de caja mensual se toma en cuenta la producción del prototipo como se muestra en la Tabla 27, y la inversión requerida se evidencia en la Tabla 28 para la producción de bandejas de 280g de champiñones.

Tabla 27. Flujo de caja

Producción	Champiñones procesados (Kg)	USD
Mensual	4000	39283.75

Tabla 28. inversión

Inversión	valor mensual (USD)
Materia prima (champiñones)	10000
Bandejas de poliestireno expandido	300
Plástico film	50
Etiquetas	50
Operador	460
Transporte	150
Servicios básicos	50
Total:	11060

Una vez que ya se determinó la producción e inversión se procede a calcular el ingreso neto como se observa en la Tabla 29.

Tabla 29. VAN

Detalle	USD
producción mensual	39283.75
inversión mensual	-11060
Total:	28223.75

El ingreso neto es de 28223.75 USD en el procesamiento de champiñones.

Valor actual neto (VAN)

Se evalúa la viabilidad económica de la implementación del prototipo, permitiendo determinar la diferencia entre los ingresos futuros y la inversión inicial, ajustados al valor del dinero en el tiempo, este análisis es primordial para determinar si la implementación del proyecto genera el retorno económico positivo en un período de 9 meses. Como se muestra en la Tabla 30.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{ft}{(1+i)^t} - I_0$$

Datos del proyecto

- Inversión inicial (I_0):

$$I_0 = \text{Costo total} + \text{Inversion Mensual}$$

$$I_0 = 1086.9 + 11060$$

$$I_0 = 12146.9$$

- Tasa de rentabilidad (i): 15% o 0.15
- Número de periodos (n):9

Tabla 30. Periodos para obtener rentabilidad

Periodo(t)	flujo de caja (ft)(USD)
1	2683.75
2	3000
3	3500
4	4000
5	4500
6	5000
7	5500
8	6000
9	6500

Utilizando los datos del proyecto se determina el banco con la siguiente ecuación:

$$VAN = \frac{2683.75}{(1 + 0.15)^1} + \frac{3000}{(1 + 0.15)^2} + \frac{3500}{(1 + 0.15)^3} + \frac{4000}{(1 + 0.15)^4} + \frac{4500}{(1 + 0.15)^5} + \frac{5000}{(1 + 0.15)^6} + \frac{5500}{(1 + 0.15)^7} + \frac{6000}{(1 + 0.15)^8} + \frac{6500}{(1 + 0.15)^9} - 75883.75$$

$$VAN = 2333.70 + 2267.57 + 2297.99 + 2281.61 + 2235.10 + 2170.56 + 2089.67 + 1994.41 + 1886.70 - 75883.75$$

$$VAN = 7410.41$$

El proyecto es viable ya que el banco que se ha obtenido es positivo y asciende a los 7410.41 USD aproximadamente superando la inversión inicial lo cual es un indicador favorable para el proyecto.

Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa de retorno interno es el porcentaje de la rentabilidad que genera el proyecto, esto indicando el atractivo financiero. Es el valor de descuento que hace que el valor neto (VAN) del proyecto se lee igual a cero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{ft}{(1 + i)^t} - I_0 = 0$$

Datos del proyecto

- Inversión inicial (I0): 12146.9
- Número de periodos (n): 9
- Flujo de caja definidos en la tabla 30

A través de la inversión inicial 12146.9 USD y con los flujos de caja de la tabla ... se determina el TIR.

$$12146.9 = \frac{2683.75}{(1 + 0.15)^1} + \frac{3000}{(1 + 0.15)^2} + \frac{3500}{(1 + 0.15)^3} + \frac{4000}{(1 + 0.15)^4} + \frac{4500}{(1 + 0.15)^5} \\ + \frac{5000}{(1 + 0.15)^6} + \frac{5500}{(1 + 0.15)^7} + \frac{6000}{(1 + 0.15)^8} + \frac{6500}{(1 + 0.15)^9}$$

$$VAN = 35.66\%$$

De acuerdo con el resultado obtenido de la tasa interna del retorno del proyecto es financieramente viable ya que proporciona un valor de retorno superior a la tasa de rentabilidad mínima requerida que es del 15%.

4.8 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del prototipo evidencian una mejora significativa en comparación con el método manual tradicional, utilizado para el corte y posicionamiento de champiñones, se muestra a continuación aspectos relevantes de la discusión:

- **Precisión y uniformidad del corte:** Se observó que el uso de una cuchilla recta accionada por motor a pasos permitió mantener una repetibilidad alta en el espesor de los cortes, esto valida el diseño mecánico y la correcta sincronización del sistema de control, a diferencia del corte manual que suele presentar variabilidad, el sistema automatizado garantiza una presentación más profesional del producto final y con un margen de error del peso menor.
- **Tiempo de procesamiento:** La automatización parcial del ciclo redujo significativamente el tiempo promedio por ciclo de 3 minutos a 1 minuto. Este incremento en velocidad permite aumentar la capacidad de producción, lo cual es fundamental en un entorno comercial competitivo.

- **Sincronización y fiabilidad del sistema:** Los sensores de finales de carrera seleccionados, demostraron un comportamiento fiable y una respuesta precisa ante las condiciones programadas, lo que refuerza la elección de componentes durante la etapa de análisis de alternativa.
- **Costo beneficio:** A pesar de ser semiautomático, el sistema logra un equilibrio entre eficiencia técnica y viabilidad económica; por lo tanto, representa una ventaja frente a soluciones 100% automáticas, lo que implicaría una inversión inicial considerablemente mayor a la propuesta de la semi automática de 466.7 USD.
- **Limitaciones observadas:** Se pudieron observar algunas imprecisiones menores que se generaron por interferencia en el peso al cargar la bandeja; lo cual, sugiere que futuras versiones podrían beneficiarse de sistemas de calibración automática o sensores de mayor resolución.

4.9. Sostenibilidad Del prototipo

En el desarrollo de este prototipo no sólo se plantea como objetivo la funcionalidad y la eficiencia, sino también una consideración hacia la sostenibilidad y la posibilidad de escalamientos industriales futuros.

Sostenibilidad del diseño

Los materiales y el diseño usados contribuyen a la sostenibilidad del sistema por la siguiente razón:

- **Uso de materiales duraderos:** la estructura y la gran parte del prototipo fue construido con acero inoxidable 304, un material reciclable, resistente a la corrosión y apto para el contacto alimenticio, lo que alarga la vida útil del equipo y reduce la generación de residuos.
- **Consumo energético moderado:** el sistema utilizado contiene elementos electrónicos de bajo consumo como los motores a paso Nema 17 y controladores eficientes, lo que permite una operación con una fuente de 12V 10A, la cual no requiere grandes cantidades de energía, ideal para fábricas que utilicen energía solar o fuentes renovables.
- **Mantenibilidad:** este diseño modular permite el reemplazo rápido de sensores, motores o piezas mecánicas, reduciendo el desperdicio de materiales y evitando el reemplazo completo del sistema ante una eventualidad o falla puntual.

CONCLUSIONES

- El diseño e implementación del prototipo de máquina semiautomática para el corte y procesamiento de champiñones resultó exitoso, cumpliendo con los objetivos generales y específicos del proyecto. Se logró automatizar las etapas más críticas del proceso, como lo es el posicionamiento y corte, reduciendo el tiempo de operación de 2 a 3 minutos a 1 minuto por bandeja, lo que representa un aumento del 66% en eficiencia respecto al método manual.
- El sistema desarrollado permite obtener cortes con uniformidad respecto al proceso manual, mejorando la presentación del producto final en bandejas de poliestireno expandido, además se logró incrementar significativamente la seguridad durante la operación, reduciendo los riesgos laborales e higiénicos ya que se minimizó el contacto directo del operario.
- La arquitectura electrónica y mecánica del sistema demostró estabilidad en todas las pruebas de campo, completando exitosamente 30 ciclos sin fallos, la correcta selección de componentes como los motores Nema 17 con su Driver TB6600, sensor de galga extensiométrica con su respectivo amplificador y el microcontrolador Arduino Mega 2560 con su módulo de terminal, garantizando así una operación precisa, robusta y con factor de seguridad superior a 3 en la estructura.
- El prototipo es escalable y adaptable a diferentes dimensiones y tipos de alimentos, lo cual lo hace viable para aplicaciones en pequeñas y medianas empresas del sector alimenticio. Su diseño modular y de bajo consumo energético la posicionan como una solución eficiente, económica y con alto potencial de mejora para procesos industriales automatizados.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos durante el desarrollo y validación del prototipo, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras del sistema del corte y posicionamiento de champiñón:

La galga extensiométrica es un método adecuado para medir el peso durante el ciclo, se sugiere incluir una rutina de auto calibración o un sistema de compensación automática para asegurar lecturas más estables.

Incorporar una pantalla táctil o interfaz gráfica permitirá al operario monitorear el estado del sistema en tiempo real, ajustando los parámetros como el peso objetivo, velocidad o número de cortes, y facilitará el diagnóstico ante fallas

El suministro de champiñones a la zona de corte actualmente depende del operador; por lo tanto, se recomienda investigar mecanismos de alimentación para sincronizarlos con el sistema de corte

El prototipo fue probado en un entorno controlado, es necesario realizar pruebas en entornos de producción alimentaria para evaluar su comportamiento ante variables como humedad, temperatura, variabilidad del producto y limpiezas frecuentes.

Certificar la máquina para uso comercial y de grado alimenticio sería beneficioso, a pesar de que ya cuenta con materiales como el acero inoxidable 304 de grado alimenticio, es necesario tener una certificación que cumpla con las normativas internacionales como la FDA o ISO 22000, así como estudiar métodos de limpieza para evitar la proliferación de bacterias.

LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. E. Flores, A.-M. Elizabeth, y V. Sari, «Análisis de la comercialización de champiñones frescos “Agaricus bisporus” en los principales supermercados de la ciudad de Cuenca - 2023», 11 de abril de 2024, *Universidad de Cuenca*. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/44563>
- [2] E. J. Roche, A. A. Macas, I. María, R. Yépez, P. Aguilar, y A. K. Moncada, «Versión Pública Informe SCPM-IGT-INAC-3-2022 2 Elaborado por».
- [3] U. Privada *et al.*, «Producción y comercialización de champiñones en la provincia del Azuay-Ecuador. Estudio de factibilidad», 2020, doi: 10.36390/telos221.10.
- [4] «Máquinas semiautomáticas: Qué son y los tipos que existen». Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dealdos.com/blog/maquinas-semiautomaticas/>
- [5] «Automático vs. Máquinas de llenado de cápsulas semiautomáticas | Maquinaria Urbana». Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.urbanpackline.com/es/a-automatic-vs-semi-automatic-capsule-filling-machines.html?utm_source
- [6] «Optimización de procesos: manual, semiautomatizado y automatizado - AmbartLab.com.ar». Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ambartlab.com.ar/proceso-manual-semiautomatizado-y-automatizado/?utm_source
- [7] «Historia del cultivo Champiñones, # 1 de los hongos más consumidos». Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.setasdesiecha.com/historia-del-cultivo-champinones/?srsltid=AfmBOorRvK9kOJdOr9Y5qh48ziEH_3YZvyFiV-LEFvcdRsbGiIG2U1jz
- [8] «La fascinante historia del cultivo de champiñones y setas en Europa - European Mushrooms». Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://europeanmushrooms.eu/es/historia-de-champinones-y-setas-en-europa/>
- [9] A. E. Mogrovejo Lazo, D. M. Arias Abad, y B. E. Vidal Astudillo, «Producción y comercialización de champiñones en la provincia del Azuay-Ecuador. Estudio de factibilidad», *Telos*, vol. 22, n.º 1, pp. 144-161, ene. 2020, doi: 10.36390/telos221.10.

- [10] «El lugar de los hongos en el ecosistema | Museo de Historia Natural de Concepción». Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mhnconcepcion.gob.cl/noticias/el-lugar-de-los-hongos-en-el-ecosistema>
- [11] R. Martínez-Mármol *et al.*, «Hericerin derivatives activates a pan-neurotrophic pathway in central hippocampal neurons converging to ERK1/2 signaling enhancing spatial memory», *J Neurochem*, vol. 165, n.º 6, pp. 791-808, jun. 2023, doi: 10.1111/JNC.15767.
- [12] A. Cano-Estrada y L. Romero-Bautista, «Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres», *Revista chilena de nutrición*, vol. 43, n.º 1, pp. 75-80, mar. 2016, doi: 10.4067/S0717-75182016000100011.
- [13] C. De y A. De Empresas, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE-CUENCA Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Comercial "PROPUESTA DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE».
- [14] R. Barrios *et al.*, «Identificación del nivel de riesgo ergonómico por manejo de cargas y movimientos repetitivos en industria alimentaria», *Lux Médica*, vol. 17, n.º 51, sep. 2022, doi: 10.33064/51LM20223507.
- [15] jose lus Armendaris, «Alpha CLOUD - Mi Biblioteca», *Armendáriz, J.*, p. 68, 2017, Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www-alphaeditorialcloud-com.bdigital.sena.edu.co/library/search/manipulación de alimentos>
- [16] F. Torres Hinojosa y F. Ramon, «Propuesta de dispositivo de corte de hilos automático para máquinas de coser tipo industrial».
- [17] E. Bernabe López, «Sistema de corte de mazorcas con control automático de posición aplicando visión artificial», 2017. Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/3977>
- [18] L. I. Fernanda Begnini Domínguez, A. I. Clara Lecaro Lavayen, y J. Daniel Shauri Romero III, «Ventajas de la automatización de la gestión por procesos Advantages of process management automation Vantagens da automação da gestão de processos», vol. 7, n.º 7, pp. 984-996, 2022, doi: 10.23857/pc.v7i7.

- [19] «ISO 22000:2018 (traducción oficial) DOCUMENTO PROTEGIDO POR COPYRIGHT», 2018, Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: www.iso.org
- [20] T. De y C. Utilizados, «REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA CENTRO DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL DE ALTA COCINA CURSO DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL DE ALTA COCINA».
- [21] T. De y C. Utilizados, «REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA CENTRO DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL DE ALTA COCINA CURSO DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL DE ALTA COCINA».
- [22] «Our Capabilities - Part Solutions». Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://partsolutionsllc.com/capabilities/>
- [23] «Manual ACEROS INOXIDABLES Sistemas Electrodo y Consumibles para Aceros Inoxidables». [En línea]. Disponible en: www.indura.net
- [24] M. K. Gupta *et al.*, «Tribological characteristics of additively manufactured 316 stainless steel against 100 cr6 alloy using deep learning», *Tribol Int*, vol. 188, p. 108893, oct. 2023, doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2023.108893.
- [25] «AISI 316 Stainless Steel Tube».
- [26] A. Pérez París, «Motores paso a paso, introducción a su funcionamiento y control en lazo abierto», *Vivat Academia. Revista de Comunicación*, pp. 13-27, may 2000, doi: 10.15178/va.2000.15.13-27.
- [27] «Movimiento unidimensional: definición y ejemplos - ScienceQuery». Accedido: 2 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sciencequery.com/one-dimensional-motion-definition-and-examples-with-solution/>
- [28] «Motion and Velocity - Explanation With Examples | Turito». Accedido: 2 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.turito.com/learn/physics/motion-and-velocity>
- [29] R. C. Ramírez Estrada, A. L. Hernández-Sánchez, A. L. Hernández-Sánchez, D. A. Aguilar-Díaz, y J. M. Pérez-Sánchez, «Sensores y tipos de sensores», *TEPEXI Boletín Científico de*

la Escuela Superior Tepeji del Río, vol. 11, n.º 21, pp. 50-52, ene. 2024, doi: 10.29057/estr.v11i21.11779.

- [30] «Edmar_Exam.Suf.Prof_Titulo_2022».
- [31] «Automatización de los procesos industriales | Revista de estudios empresariales y empresariales.» Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/82/297>
- [32] W. You, «SNR Linear Motion : Husillos de bolas», 2014, Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: www.ntn-snr.com
- [33] «MECAPEDIA • Husillo de bolas». Accedido: 22 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.mecapedia.uji.es/pages/husillo_de_bolas.html
- [34] «Optimización de la superficie de husillos con rosca trapezoidal: análisis tribológico y aplicación | Bornemann.de». Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bornemann-gewindetechnik.de/es/prensa/optimizacion-de-la-superficie-de-husillos-con-rosca-trapezoidal-analisis-tribologico-y-aplicacion/>
- [35] «Husillos y tuercas trapezoidales | Sistemas Mecánicos GAES». Accedido: 22 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://grupogaes.com/tienda/movimiento-lineal/husillos/husillos-y-tuercas-trapezoidales/>
- [36] «BYMESA - Bandas y Mangueras Especiales S.A. de C.V. | Bandas industriales clásicas, de alta capacidad, truflex, de velocidad variable, lisas o dentadas, de tiempo, powerGrip, doble “V”, múltiples, poliflex, milimétricas síncronicas, de poliuretano, eslabonadas, de diseño especial». Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bymesa.com.mx/bandasIndustriales/>
- [37] «Módulo lineal por correa drylin® W de diseño abierto con tamaño de instalación 20». Accedido: 22 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.igus.cl/info/linear-guides-zlw-toothed-belt-axes>
- [38] «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA

EL CORTE DE TUBOS DE CARTÓN DE DIÁMETRO 2 A 6 PULGADAS USADOS EN LA».

- [39] «Cuchillas de máquina planas de 3 agujeros.» Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fefoknives.com/es/producto/straight-flat-machine-knife-with-holes/>
- [40] «Cuchillas industriales para alimento de procesamiento - COMERCIAL ANDEXPORT». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://andexport.com/producto/cuchillas-industriales-para-alimento-de-procesamiento/>
- [41] I. Power, «Integrated Closed Loop Stepper Motor NEMA 17, NEMA 23 and NEMA 34 IP 20 IP20 IP65 IP20 IP65 NEMA 17S 17M 17L 23S 23M 23L 23S 23M 23L 34M 34L 34M 34L».
- [42] «PDF 17HS3401 Datasheet (Hoja de datos)». [En línea]. Disponible en: www.MotionKing.com
- [43] «Motor PAP (Paso a Paso) Nema 17 JK42HS34-0404». Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://solectroshop.com/es/motores-paso-a-paso-para-impresoras-3d/36738-motor-pap-paso-a-paso-nema-17-jk42hs34-0404.html?srsId=AfmBOoopSOB_35eyoDHsjggQsTh0E86i7d0tcgZpmOomyCetW7ezXZut
- [44] «TB6600 Stepper Motor Driver Safety Statement».
- [45] «TB6600 Driver para motor paso a paso – Novatronic». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://novatronic.com/index.php/product/tb6600-driver-para-motor-paso-a-paso/>
- [46] «Features and Benefits ▪ Low R DS(ON) outputs ▪ Automatic current decay mode detection/selection ▪ Mixed and Slow current decay modes ▪ Synchronous rectification for low power dissipation ▪ Internal UVLO ▪ Crossover-current protection ▪ 3.3 and 5 V compatible logic supply ▪ Thermal shutdown circuitry ▪ Short-to-ground protection ▪ Shorted load protection ▪ Five selectable step modes: full», Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: www.allegromicro.com

- [47] «(a) A4988 Stepper motor driver module, and (b) its pinout diagram. | Download Scientific Diagram». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/a-A4988-Stepper-motor-driver-module-and-b-its-pinout-diagram_fig7_344586377
- [48] «Easy Driver Stepper Motor Driver».
- [49] «Easy Driver para motor de paso - México— ElectroCrea». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://electrocrea.com/products/easy-driver-para-motores-de-paso>
- [50] «OKY3480-2», Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=OKY3478-2>
- [51] «HX711 Módulo para celda de carga— ElectroCrea». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://electrocrea.com/products/modulo-hx711-a-d-24-bits-para-celda-de-carga>
- [52] «TYPE EL Characteristic features», 2008. [En línea]. Disponible en: www.hbm.com
- [53] «Célula de carga de punto único - PW27A series - HBM Test and Measurement - capacitiva / de pesaje / OIML». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/hbm-test-and-measurement/product-6017-2513062.html>
- [54] C. De Mecatrónica, V. Y. El, y D. Sostenible, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO».
- [55] «Celda de carga de un solo punto de aluminio SP4M de HBM - Instrumentación Industrial CICTEM». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://productos.cictem.com/producto/celda-de-carga-de-un-solo-punto-de-aluminio-sp4m-de-hbm/>

ANEXOS

Anexo 1. Manual de usuario

La presente máquina está diseñada para automatizar el proceso de corte en rodajas de champiñón, facilitando su posicionamiento preciso y corte uniforme. Esta máquina está pensada para reducir tiempos de preparación, mejorar la higiene y estandarizar el tamaño del producto.

El manual de usuario describe el funcionamiento, operación segura y mantenimientos básicos de la máquina cortadora y posicionada de champiñones.

Componentes de la máquina.

Tabla 31. Componentes de la maquina

Componentes	Función breve
Plataforma XY	Sistema de movimiento para posicionar el champiñón.
Motor de cuchilla	Acciona la cuchilla que realiza el corte.
Cuchilla lineal	Elemento de corte que rebana el champiñón.
Controlador electrónico (Arduino Mega)	Unidad de control que gestiona los movimientos y corte.
Panel de control	Botones para encender/apagar, iniciar corte, emergencia, etc.
Fuente de alimentación	Proporciona energía a los motores y sistema de control.
Estructura	Base de acero inoxidable 304 que sostiene los componentes.

Seguridad.

No operar la máquina con partes sueltas o mal fijadas.

Mantener las manos alejadas de la zona de corte durante la operación.

Usar guantes de protección al suministrar champiñones a la máquina.

Apagar la máquina antes de hacer el mantenimiento.

En caso de emergencia, pulsar el botón del paro de emergencia color rojo inmediatamente.

Instructivo de uso.

- **Encendido.**

Conecte la máquina a la red eléctrica.

Encienda el interruptor principal.

- **Carga del producto.**

Coloque el champiñón de manera manual en el sistema de corte.

Asegúrese que el champiñón esté centrado para un corte simétrico.

- **Inicio del proceso.**

Presione el botón de color amarillo para encender la máquina.

Presione el botón de color verde para realizar el ciclo de corte y posicionamiento de champiñón mediante el movimiento de las mesas en los ejes XY.

Una vez terminado el proceso ya sea por el alcance de los 280 g o finalización del ciclo, repita la fase de inicio del proceso.

- **Apagado.**

Presione el botón del paro de emergencia o espere a que finalice el proceso.

Apague el interruptor general.

Desconecte de la red eléctrica.

Manual de limpieza y mantenimiento.

Tabla 32. Frecuencia de Mantenimiento

Mantenimiento	Frecuencia	Responsable	Observación
Limpieza externa	Diariamente	Operador	Evitar acumulaciones y residuos
Revisión de sensores	Mensual	Técnico	Deben de estar libres de suciedad Retos que no permitan el censado
Lubricación de ejes	Semanalmente	Mantenimiento	Usar grasa dieléctrica y de grado alimenticio

Especificaciones técnicas

Voltaje de trabajo: 110V-220V

Potencia: 109.5 W

Tiempo del ciclo: 60S por ciclo

Peso: 30 kg

Anexo 2. Código del sistema de control y su explicación

```
1    #include "HX711.h"
2    #include <avr/interrupt.h>
3
4    // -----
5    // Definiciones de pines y constantes
6    // -----
7    // Motor X
8    #define DIR_X 9
9    #define PUL_X 8
10   // Motor Y
11   #define DIR_Y 7
12   #define PUL_Y 6
13   // Motor de cuchilla
14   #define DIR_CUCH 14
15   #define PUL_CUCH 15
16
17   // Finales de carrera X (INPUT_PULLUP)
18   #define LIMIT_SWITCH_X1 3
19   #define LIMIT_SWITCH_X2 2
20   // Finales de carrera Y (INPUT_PULLUP)
21   #define LIMIT_SWITCH_Y1 4
22   #define LIMIT_SWITCH_Y2 5
```

```

23
24 // Pulsadores
25 const int BUTTON_PIN_HOME = 13; // homing de la máquina
26 const int BUTTON_PIN_CYCLE = 11; // inicia ciclo de movimientos
27
28 // HX711 (galga extensiométrica)
29 const int DOUT = A1;
30 const int CLK = A0;
31 HX711 balanza;
32
33 // Configuración de tiempos y revoluciones
34 using byte = uint8_t;
35 const int velocidad = 200; // μs entre flancos
36 const int reversalDelay = 200; // μs en homing
37 const int PPR = 500; // pulsos por revolución
38 const float pesoMax = 0.280; // kg, umbral para finalizar ciclo
39
40 // -----
41 // Función para mover un motor a pasos
42 // -----
43 void moverMotor(byte pulPin, int pasos, int delay_us) {
44     for (int i = 0; i < pasos; i++) {
45         digitalWrite(pulPin, HIGH);

```

```

46     delayMicroseconds(delay_us);
47     digitalWrite(pulPin, LOW);
48     delayMicroseconds(delay_us);
49 }
50 }
51
52 // -----
53 // Control continuo del motor de cuchilla con Timer1
54 // -----
55 void startBlade() {
56     digitalWrite(DIR_CUCH, HIGH);
57     noInterrupts();
58     TCCR1A = 0; TCCR1B = 0; TCNT1 = 0;
59     OCR1A = velocidad * 2;
60     TCCR1B |= (1 << WGM12) | (1 << CS11);
61     TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
62     interrupts();
63 }
64
65 ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
66     digitalWrite(PUL_CUCH, digitalRead(PUL_CUCH) ^ 1);
67 }
68

```

```

69 void stopBlade() {
70     TIMSK1 &= ~(1 << OCIE1A);
71     digitalWrite(PUL_CUCH, LOW);
72 }
73
74 // -----
75 // Homing de ejes X e Y
76 // -----
77 void homing() {
78     Serial.println("Iniciando homing...");
79     // Homing X
80     digitalWrite(DIR_X, LOW);
81     while (digitalRead(LIMIT_SWITCH_X1) == HIGH &&
digitalRead(LIMIT_SWITCH_X2) == HIGH) {
82         moverMotor(PUL_X, 1, velocidad);
83     }
84     delay(100);
85     digitalWrite(DIR_X, HIGH);
86     moverMotor(PUL_X, 1500, reversalDelay);
87
88     // Homing Y
89     digitalWrite(DIR_Y, HIGH);

```

```

90     while      (digitalRead(LIMIT_SWITCH_Y1)    ==    HIGH    &&
digitalRead(LIMIT_SWITCH_Y2) == HIGH) {
91     moverMotor(PUL_Y, 1, velocidad);
92     }
93     delay(100);
94     digitalWrite(DIR_Y, LOW);
95     moverMotor(PUL_Y, 400, reversalDelay);
96
97     Serial.println("Homing completado.");
98 }
99
100 // -----
101 // Ciclo fijo (13+2+13+2+13) con medición de peso
102 // -----
103 bool realizarCiclo() {
104     Serial.println("Iniciando ciclo de movimientos...");
105
106     // Secuencia: X13, Y2, X-13, Y2, X13
107     struct {int dirPin; byte pin; int revoluciones; bool invert;} fases[] = {
108         {DIR_X, PUL_X, 13, false},
109         {DIR_Y, PUL_Y, 2, true},
110         {DIR_X, PUL_X, 13, true},
111         {DIR_Y, PUL_Y, 2, true},

```

```

112     {DIR_X, PUL_X, 13, false}
113 };
114
115 for (auto &fase : fases) {
116     // Confirmación de dirección
117     digitalWrite(fase.dirPin, fase.invert ? LOW : HIGH);
118
119     // Activa o detiene la cuchilla según número de revoluciones
120     if (fase.revoluciones == 13) {
121         startBlade(); // Sólo durante fases de 13 revoluciones (X)
122     } else {
123         stopBlade(); // Durante fases de 2 revoluciones (Y)
124     }
125
126     // Ejecuta cada revolución
127     for (int rev = 0; rev < fase.revoluciones; rev++) {
128         moverMotor(fase.pin, PPR, velocidad);
129
130         // Lectura de peso tras cada revolución
131         float peso = balanza.get_units(10);
132         Serial.print("Peso actual: ");
133         Serial.print(peso, 3);
134         Serial.println(" kg");

```

```
135
136     // Comprueba umbral de peso
137     if (peso >= pesoMax) {
138         Serial.println("Umbral alcanzado, deteniendo ciclo.");
139         stopBlade();
140         return false;
141     }
142 }
143 }
144
145 // Al finalizar todas las fases, se asegura de parar la cuchilla
146 stopBlade();
147 Serial.println("Ciclo completado.");
148 return true;
149 }
150
151 // -----
152 // Setup y loop
153 // -----
154 void setup() {
155     Serial.begin(9600);
156
157     // Inicialización HX711
```

```
158  balanza.begin(DOUT, CLK);
159  balanza.set_scale(544410.15625);
160  balanza.tare(20);
161  Serial.println("Balanza lista.");
162
163  // Pines motores
164  pinMode(DIR_X, OUTPUT); pinMode(PUL_X, OUTPUT);
165  pinMode(DIR_Y, OUTPUT); pinMode(PUL_Y, OUTPUT);
166  pinMode(DIR_CUCH, OUTPUT); pinMode(PUL_CUCH, OUTPUT);
167
168  // Finales de carrera
169  pinMode(LIMIT_SWITCH_X1, INPUT_PULLUP);
170  pinMode(LIMIT_SWITCH_X2, INPUT_PULLUP);
171  pinMode(LIMIT_SWITCH_Y1, INPUT_PULLUP);
172  pinMode(LIMIT_SWITCH_Y2, INPUT_PULLUP);
173
174  // Botones
175  pinMode(BUTTON_PIN_HOME, INPUT_PULLUP);
176  pinMode(BUTTON_PIN_CYCLE, INPUT_PULLUP);
177
178  digitalWrite(DIR_X, LOW);
179  digitalWrite(DIR_Y, HIGH);
180 }
```

```
181
182 void loop() {
183     // Homing con botón 13
184     if (digitalRead(BUTTON_PIN_HOME) == LOW) {
185         delay(50);
186         if (digitalRead(BUTTON_PIN_HOME) == LOW) {
187             while (digitalRead(BUTTON_PIN_HOME) == LOW);
188             homing();
189         }
190     }
191
192     // Ciclo con botón 11
193     if (digitalRead(BUTTON_PIN_CYCLE) == LOW) {
194         delay(50);
195         if (digitalRead(BUTTON_PIN_CYCLE) == LOW) {
196             while (digitalRead(BUTTON_PIN_CYCLE) == LOW);
197             realizarCiclo();
198         }
199     }
200 }
```

Explicación del Código

- **Líneas 1-3:**

Se importaron las librerías Necesarias para la funcionalidad del sistema.

- **Líneas 4-6:**

Se define este espacio para agrupar la declaración de constante, pines y configuración de hardware utilizando el sistema mecatrónico.

- **Líneas 7-15:**

Se asignan los pines digitales del microcontrolador que controlarán la dirección y los pulsos de los motores a pasos.

- **Líneas 17-22:**

Tienen los pines conectados a los interruptores delimita o finales de carrera, para que permitan establecer referencias físicas y proteger el sistema ante sobre carreras mecánicas, garantizando así el home de la máquina.

- **Líneas 24-26:**

Se declaran los pines que están conectados a los pulsadores como el pin 13 de color amarillo el cual activa el proceso de home de la máquina, por otro lado, el pin 11 de Color verde activará el ciclo de corte automáticamente.

- **Líneas 28-31:**

Se definen los pines analógicos A1 DOUT y A0 CLK, Estas usados para la comunicación con el módulo HX711.

- **Líneas 33-38:**

Sí claro las constantes que definen los parámetros de movimiento de los motores a pasos, como la velocidad y los retardos entre movimientos, esta selección permite modificar finalmente el comportamiento dinámico del sistema.

- **Líneas 41-48:**

Se incrementa una función que permite mover un motor a pasos dado un número de pasos, dirección y velocidad. Esta rutina es genérica y se reutiliza para todos los movimientos de la máquina.

- **Líneas 55-62:**

Se proporciona el control continuo del motor de la cuchilla y características importantes de programación de este.

- **Líneas 75-98:**

En este apartado se coloca la programación del home de la máquina el cual consiste en activar los motores a pasos hasta tocar un final de carrera y regresar a una distancia prudente.

- **Líneas 101-128:**

Codificación del movimiento de la mesa cartesiana, En este caso cumple el ciclo de 13 pasos en x, 2 pasos en Y, regresa 13 pasos, se mueve 2 pasos en Y Y finalmente se mueve 13 pasos dando por finalizado el ciclo.

- **Líneas 130-140:**

Esta codificación es una restricción para el código ya que si cumple el ciclo oh cumple el peso especificado por el usuario de 280 g el ciclo culminará.

- **Líneas 154-200:**

Se colocan las condiciones y restricciones que tiene todo el programa.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AISI (American Iron and Steel Institute): Institución que clasifica y estandariza los diferentes tipos de aceros inoxidables utilizados en aplicaciones industriales, incluyendo aquellas con contacto directo con alimentos.

Arduino Mega 2560: Placa de desarrollo electrónica basada en un microcontrolador, ampliamente utilizada en proyectos de automatización para el control de sensores, actuadores y procesos lógicos.

Automatización industrial: Conjunto de tecnologías que permiten operar procesos industriales de forma eficiente, reduciendo la intervención humana y mejorando la precisión, seguridad y productividad.

Bandeja de poliestireno expandido (EPS): Recipiente liviano y económico utilizado comúnmente para el empaque y presentación de productos alimenticios, como los champiñones rebanados.

Celda de carga: Dispositivo de medición que convierte una fuerza aplicada en una señal eléctrica. Se utiliza en sistemas de pesaje a través de galgas extensiométricas.

Champiñón (*Agaricus bisporus*): Hongo comestible cultivado de forma controlada, valorado por su contenido nutricional y textura, comúnmente comercializado en forma de rodajas.

Corte automático: Proceso de fraccionamiento de alimentos realizado por una máquina mediante mecanismos controlados electrónicamente, con mínima o nula intervención del operario.

Corte manual: Técnica tradicional de seccionamiento de alimentos realizada con cuchillas o herramientas operadas directamente por una persona.

Cuchilla circular: Hoja de corte con forma de disco, utilizada en aplicaciones industriales para obtener cortes rápidos y uniformes, comúnmente accionada por un motor.

Cuchilla recta: Herramienta de corte con filo lineal, utilizada para obtener rebanadas precisas en sistemas manuales o semiautomáticos.

Driver TB6600: Módulo electrónico diseñado para controlar motores a pasos, permitiendo regular parámetros como corriente, velocidad y resolución del movimiento.

Final de carrera: Sensor digital que actúa como interruptor al detectar el límite físico de desplazamiento de un componente móvil, garantizando seguridad y precisión en sistemas automatizados.

Husillo de bolas: Mecanismo de transmisión de movimiento lineal que emplea bolas recirculantes para reducir la fricción, utilizado en sistemas que requieren alta precisión.

Motor a pasos: Dispositivo electromecánico que convierte señales eléctricas en desplazamientos angulares controlados, ideal para sistemas de posicionamiento exacto. El estándar Nema define sus dimensiones.

Movimientos dimensionales: Desplazamientos que pueden ocurrir en uno, dos o tres ejes coordenados (X, Y, Z), fundamentales en sistemas mecatrónicos y cartesianos.

Paro de emergencia: Mecanismo de seguridad que permite la detención inmediata del sistema ante una situación de riesgo, protegiendo tanto al operador como al equipo.

Pulsadores de membrana: Dispositivos de entrada compactos y resistentes, utilizados para enviar señales de control a un sistema mediante la interacción del usuario.

Sistema de control: Conjunto de dispositivos electrónicos y lógicos encargados de coordinar, regular y supervisar el funcionamiento de un sistema automatizado.

SolidWorks: Programa de diseño asistido por computadora (CAD) utilizado para modelar piezas mecánicas en tres dimensiones, analizar esfuerzos y generar planos de fabricación.

MDSolids: Software educativo diseñado para la resolución de problemas en mecánica de materiales, como esfuerzos, deformaciones, flexión, torsión y análisis de vigas, proporcionando herramientas visuales y de cálculo para facilitar el aprendizaje y la comprensión de los conceptos estructurales.

MANUAL DE OPERACIÓN

Nombre del equipo: Máquina semiautomática cortadora y posicionadora de champiñones

Modelo: PSC-2025

Fabricante: Universidad Politécnica Salesiana - Proyecto de titulación

1. Descripción general del equipo

La máquina semi-automática PSC-2025 ha sido diseñada para automatizar parcialmente el proceso de corte y posicionamiento de champiñones en bandejas de poliestireno expandido. Combina un sistema de posicionamiento cartesiano accionado por motores paso a paso con una cuchilla recta de corte y una celda de carga para verificar el peso total. Está construida con acero inoxidable AISI 304 apto para uso alimentario.

2. Componentes principales

- Motor a pasos NEMA 17
- Driver TB6600
- Arduino Mega 2560
- Fuente de poder 12V 10A
- Finales de carrera
- Cuchilla recta fija
- Celda de carga HX711
- Pulsadores de membrana 4x1
- Paro de emergencia
- Rodamientos 625-2RS y SC8UU

3. Instrucciones de funcionamiento

3.1. Encendido del sistema

- Verificar que la máquina esté limpia y libre de obstrucciones.
- Asegurar que el cuchillo esté correctamente alineado y fijo.
- Encender la fuente de poder.
- Presionar el botón de inicio.

3.2. Operación

- Colocar el champiñón sobre la bandeja en la plataforma de entrada.
- Presionar el botón de avance para iniciar el ciclo.
- El sistema posiciona el champiñón, ejecuta el corte y verifica el peso.
- El producto es empujado hacia la bandeja de salida.
- Repetir el proceso con el siguiente champiñón.

3.3. Paro de emergencia

- En caso de peligro, presionar el botón rojo de paro de emergencia.
- El sistema se detendrá de forma inmediata.
- Para reanudar el ciclo, asegúrate de que la situación esté controlada, luego reactivar desde el botón de inicio.

4. Recomendaciones de seguridad

- Usar guantes de protección al manipular la cuchilla.
- No introducir manos en el área de corte durante el funcionamiento.
- Supervisar constantemente el funcionamiento.
- Asegurar una correcta conexión a tierra de la fuente de poder.

5. Señales y alertas

LED verde: Sistema encendido y listo.

LED amarillo: En proceso de corte.

LED rojo: Error o activación del paro de emergencia.

6. Almacenamiento y transporte

- Guardar en un lugar seco y limpio.
- Evitar exposición a humedad y golpes.
- Transportar asegurando que no se suelten los componentes móviles.

7. Contacto técnico (prototipo universitario)

Responsable técnico: Rodolfo Sebastián López Coello

Carrera: Ingeniería Mecatrónica - UPS Sede Quito

Correo: rlopezc3@est.ups.edu.ec

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Nombre del equipo: Máquina semi-automática cortadora y posicionadora de champiñones

Modelo: PSC-2025

Fabricante: Universidad Politécnica Salesiana - Proyecto de titulación

1. Objetivo del manual

Este manual tiene como objetivo establecer los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo de la máquina PSC-2025, garantizando su correcto funcionamiento, prolongando su vida útil y reduciendo el riesgo de fallas durante la operación.

2. Tipos de mantenimiento

2.1. *Mantenimiento preventivo*

Debe realizarse cada 40 horas de funcionamiento o una vez por semana, lo que ocurra primero.

Actividad	Frecuencia	Responsable
Limpieza general del equipo	Semanal	Operador
Verificación del cableado	Semanal	Técnico electrónico
Revisión de cuchilla	Semanal	Técnico mecánico
Verificación de alineación	Semanal	Técnico mecánico
Lubricación de guías SC8UU	Cada 2 semanas	Técnico mecánico
Revisión de conexiones Arduino	Mensual	Técnico electrónico

2.2. *Mantenimiento correctivo*

Se debe realizar en caso de:

- Fallos en el desplazamiento cartesiano
- Fallo en la detección de peso o error de lectura
- Error en la ejecución de corte
- Ruidos anormales o sobrecalentamiento

Procedimientos:

- Apagar y desconectar la máquina.
- Identificar el componente fallido.

- Consultar esquemático eléctrico/mecánico.
- Sustituir o reparar el componente.
- Realizar prueba de funcionamiento sin carga.

3. Repuestos recomendados

- Rodamientos 625-2RS (x4)
- Rodamientos lineales SC8UU (x8)
- Cuchilla recta de acero inoxidable (x2)
- Banda dentada GT2 (x2)
- Fuente de poder 12V 10A (x1)
- Finales de carrera (x4)
- Pulsadores de membrana 4x1 (x1)

4. Herramientas necesarias

- Multímetro digital
- Juego de llaves Allen
- Destornilladores de cruz y plano
- Grasa alimentaria (para SC8UU)
- Trapo de microfibra seco
- Limpiador dieléctrico en spray

5. Seguridad durante el mantenimiento

- Realizar mantenimiento con el equipo completamente desconectado.
- Utilizar guantes aislantes para manipulación eléctrica.
- Evitar el contacto con la cuchilla directamente.
- Asegurar que no haya humedad al manipular los componentes.

6. Registro de mantenimiento

Se recomienda llevar un registro con fecha, tipo de mantenimiento, tareas realizadas, nombre del responsable y observaciones. Esto permitirá detectar patrones de falla y planificar mejor los insumos.

Ejemplo de entrada:

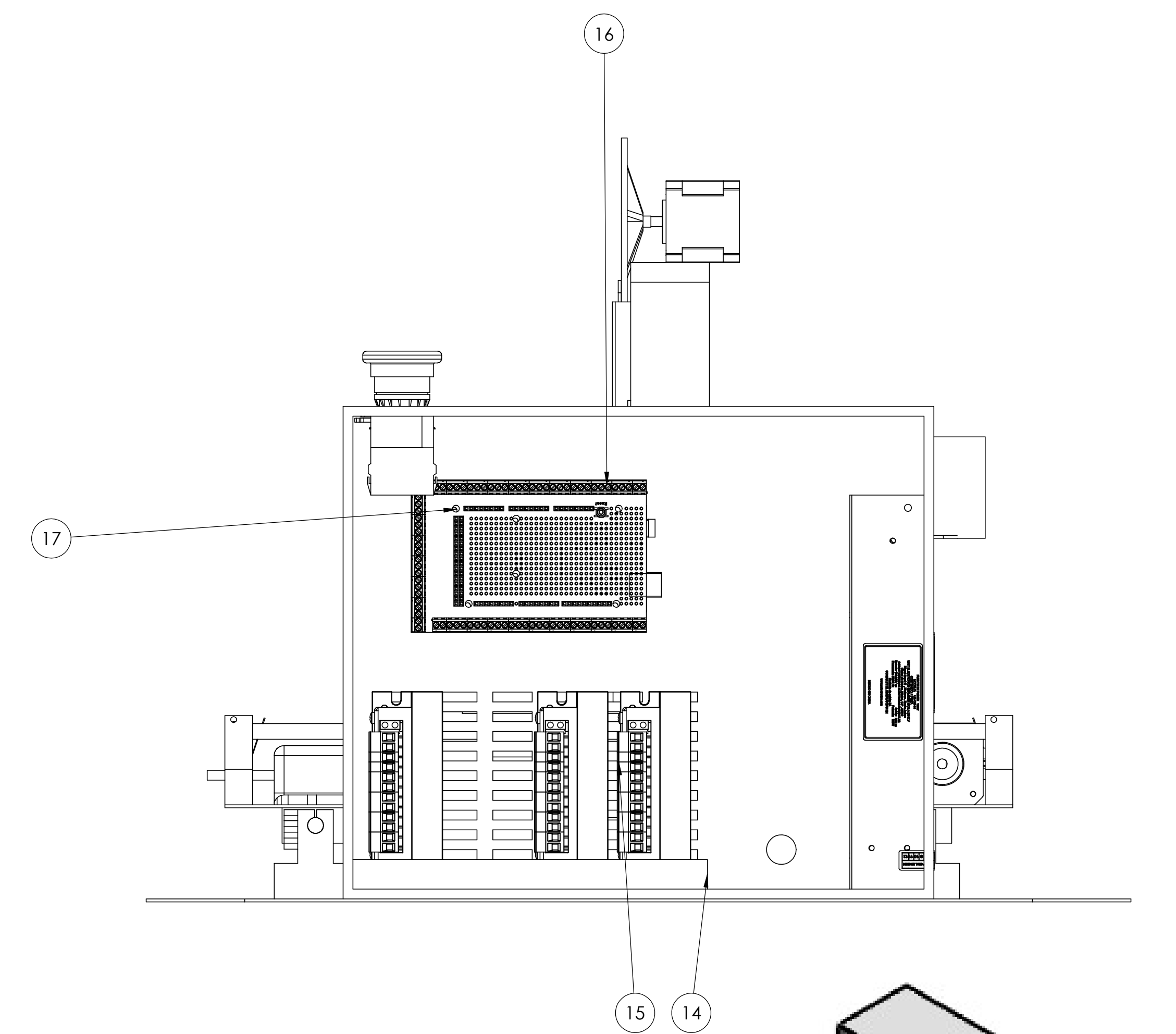
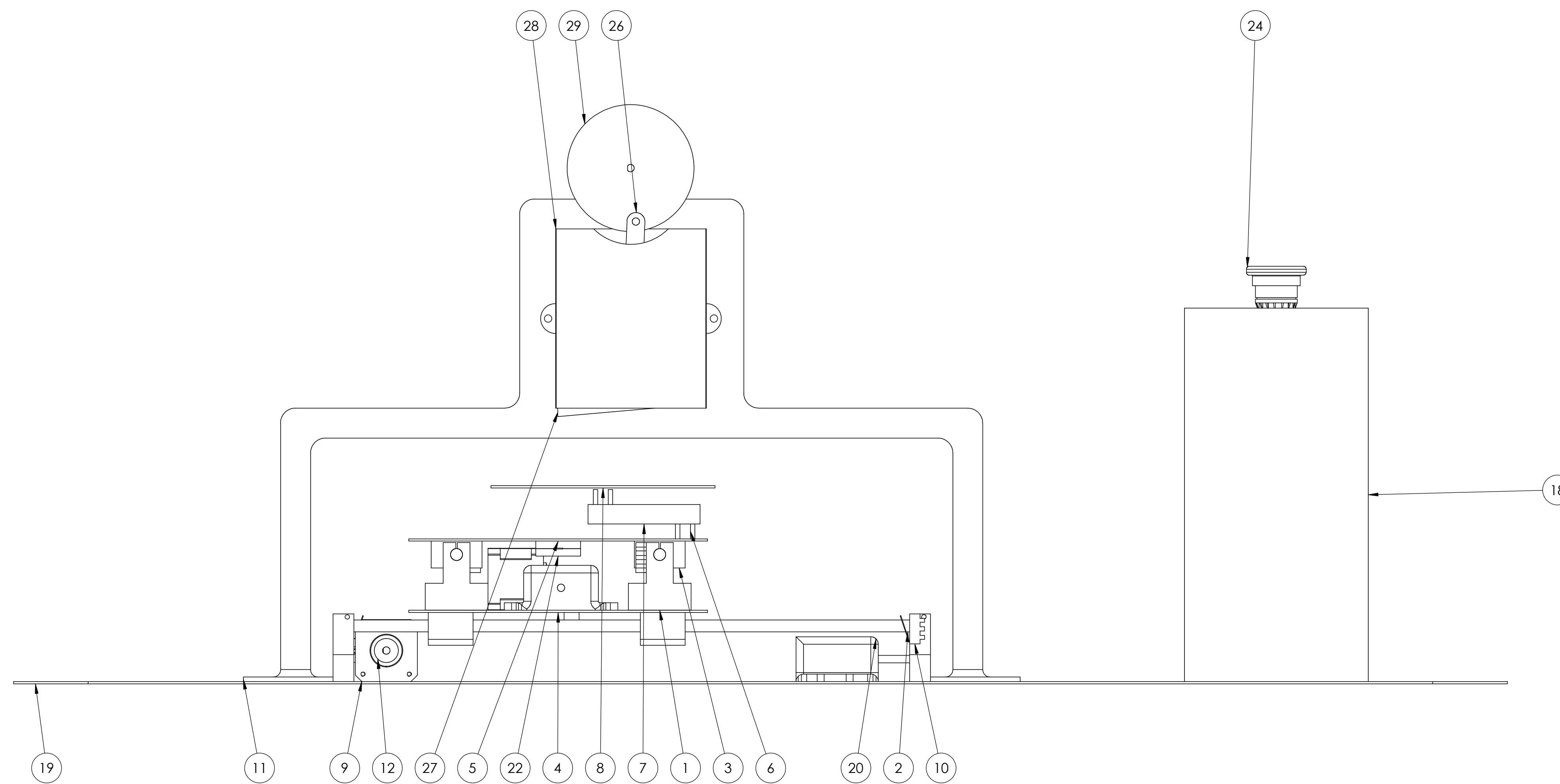
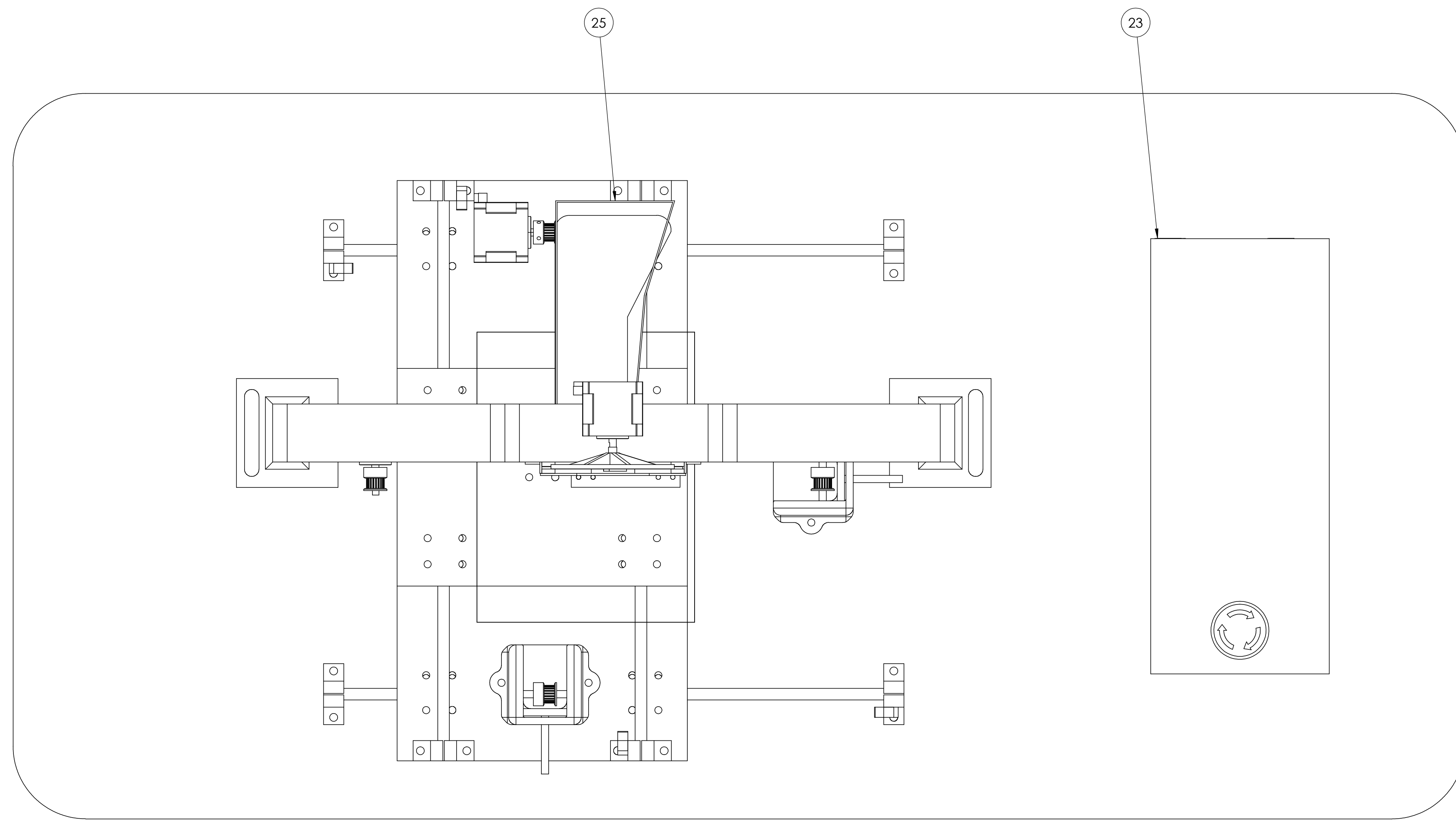
Fecha	Tipo	Actividad	Responsable	Observaciones
15/07/2025	Preventivo	Limpieza general	Operador	Equipo sin residuos.

7. Contacto técnico (prototipo universitario)

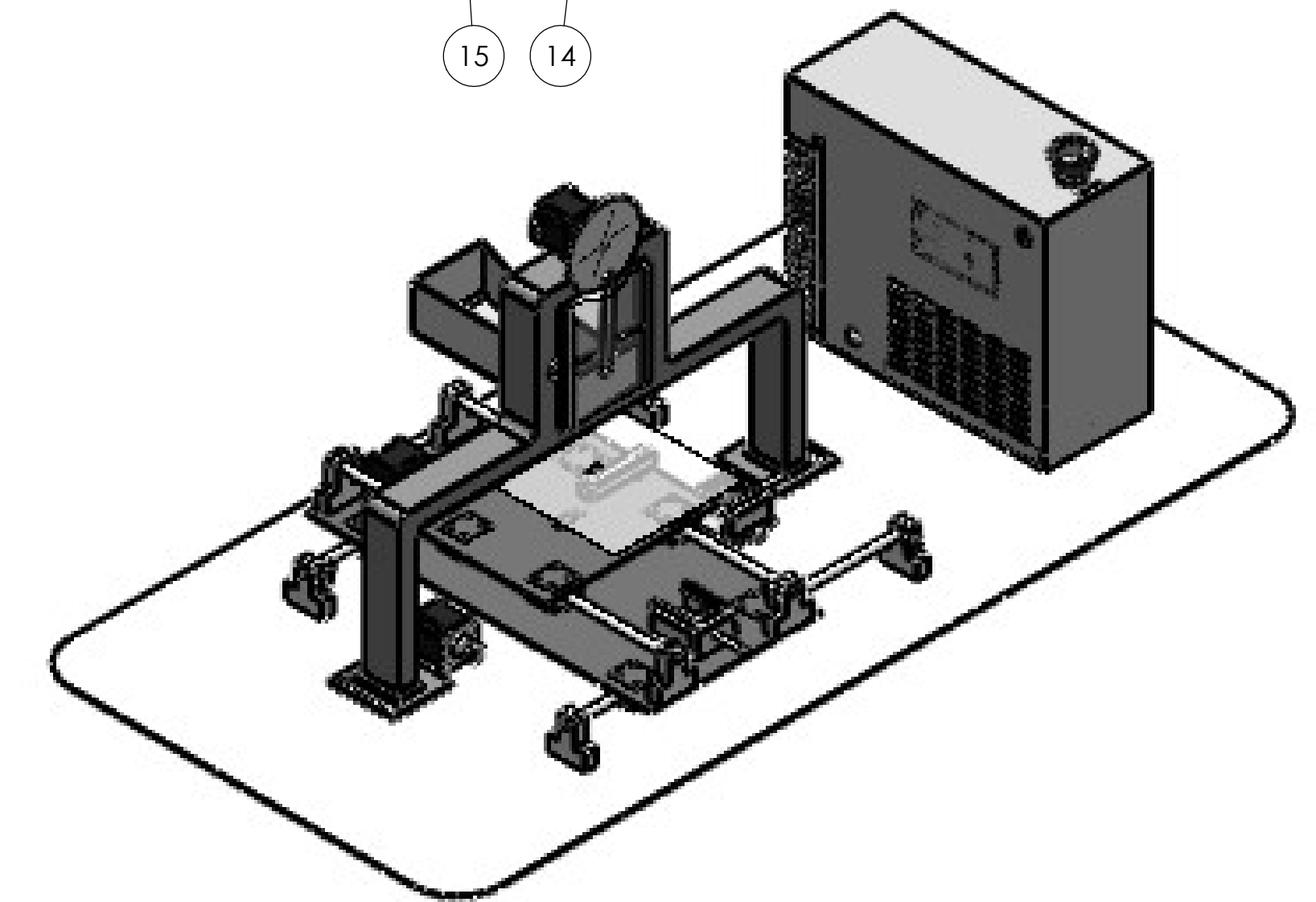
Responsable técnico: Rodolfo Sebastián López Coello

Carrera: Ingeniería Mecatrónica - UPS Sede Quito

Correo: rlopezc3@est.ups.edu.ec

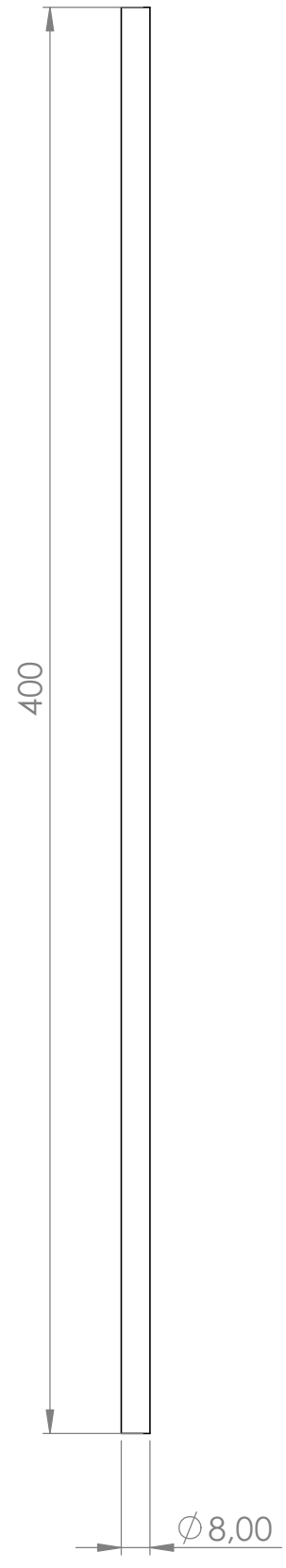


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	sopORTE T	E 15	8
2	eje	E 13	4
3	Rodamientos lineales	E 14	8
4	mesa eje x	E 16	1
5	mesa eje y	E 16	1
6	peso2	E 14	4
7	peso3galga	E 14	1
8	Mesa de pesoje	E 14	1
9	Nema 17 model v2	E 17	3
10	final de carrera	E 13	4
11	estructura del sistema de Corte	E 17	1
12	[82 GT2 20T b5	E 17	4
13	Piezo3A PRUEBA DE SISTEMA DE CORTE	-	1
14	SUPPORT CNC_CONTROLER	E 3	1
15	TB6600	E 4	3
16	Arduino mega piggy asm	E 4	1
17	Arduino_Mega	E 7	1
18	caja de componentes	F 8	1
19	mesa base	E 19	1
20	ensamblaje templador	E 12	2
21	carcasa anti fogues	-	1
22	Union para Banda dentada	E 16	4
23	Fuente conmutada 24V 5A	T 11	1
24	boton	J 10	1
25	COJACION DE CHAMPINONES	T 25	1
26	cuchillo acople largo	J 15	1
27	CUCHILLA RECTA MEJORADA	E 16	1
28	Ensamblaje_sis_corte	J 15	1
29	curculo eslabon	J 15	1

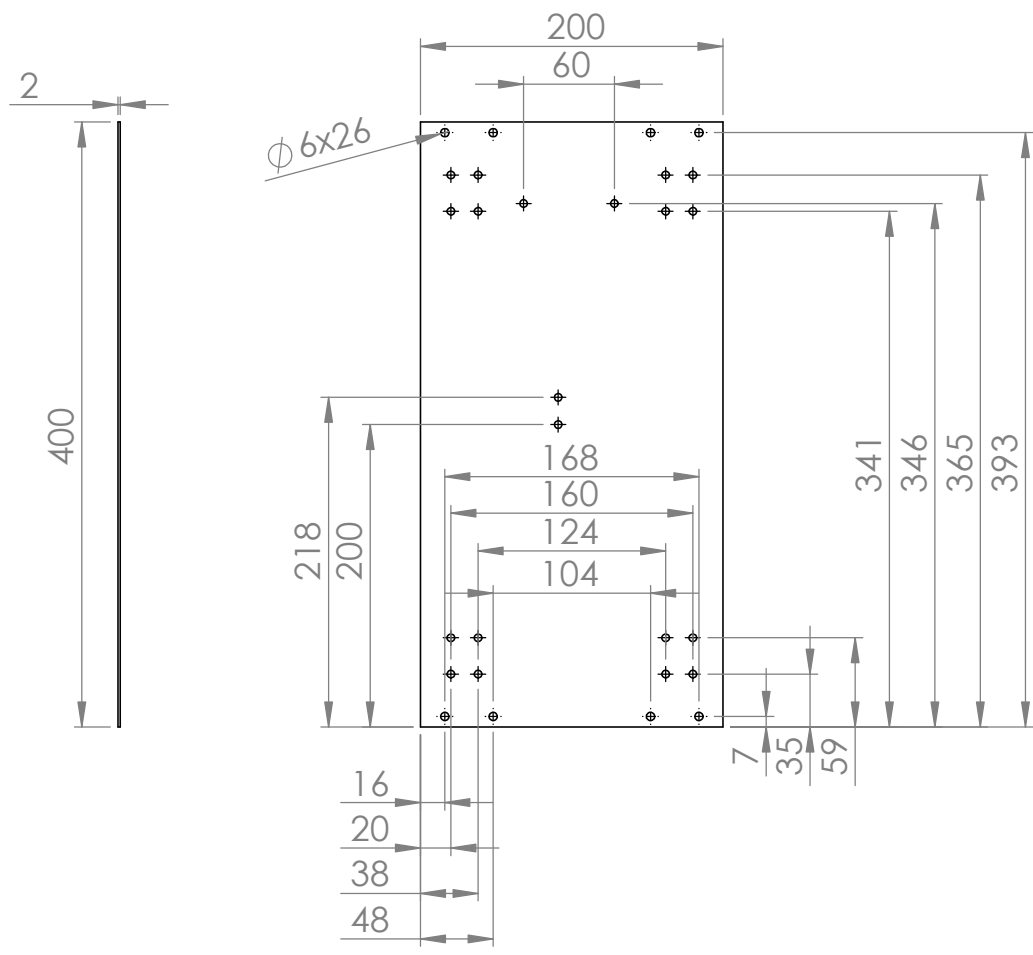


Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero Inoxidable 304	Dim. brutas:	1000x500x500
Recubrimiento:	N/A	Diseñó:	López Rodolfo	Dibujó:	López Rodolfo
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		Revisó:	Ing. Patricio Quiroga		
Mesa eje X	Escala:	Código:	08.04599.01	Tol. Gral.:	±1

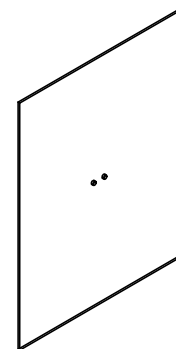
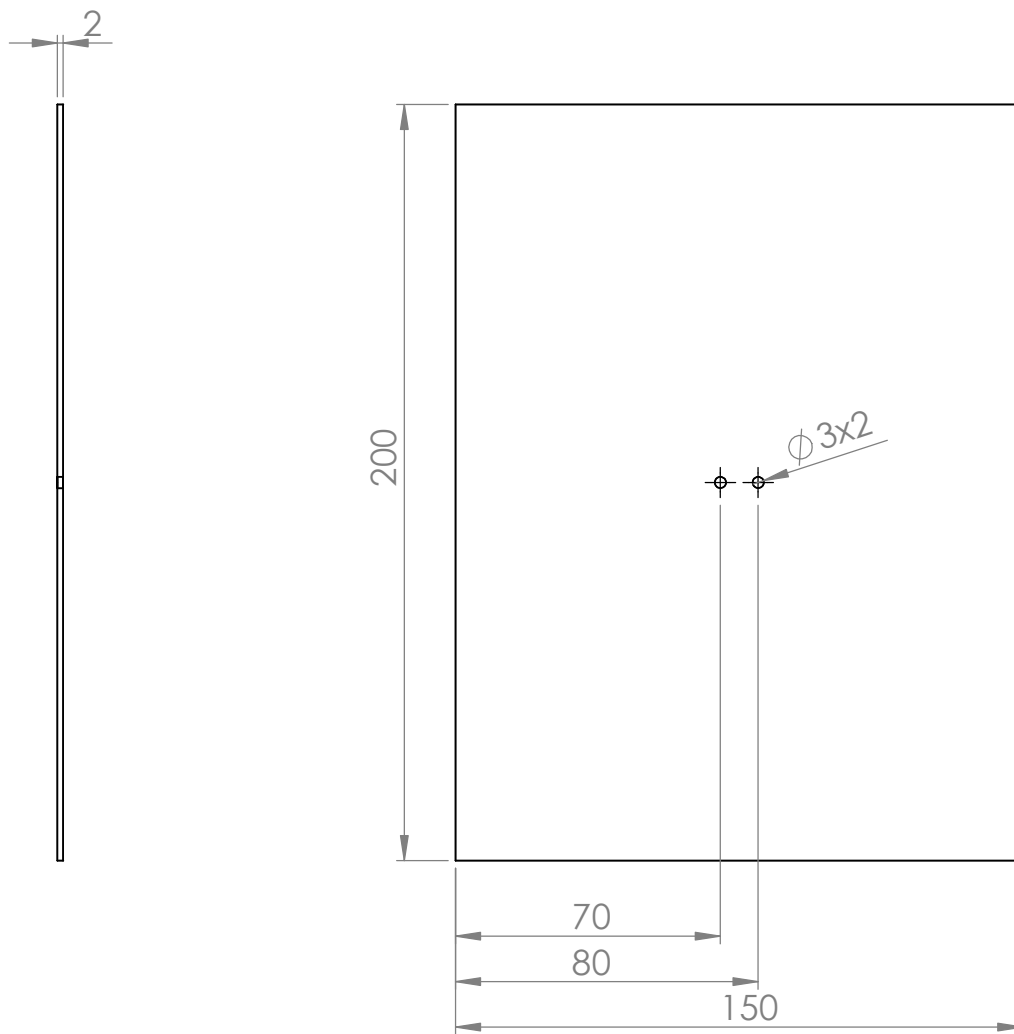
N7



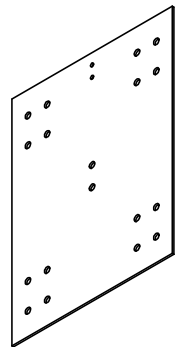
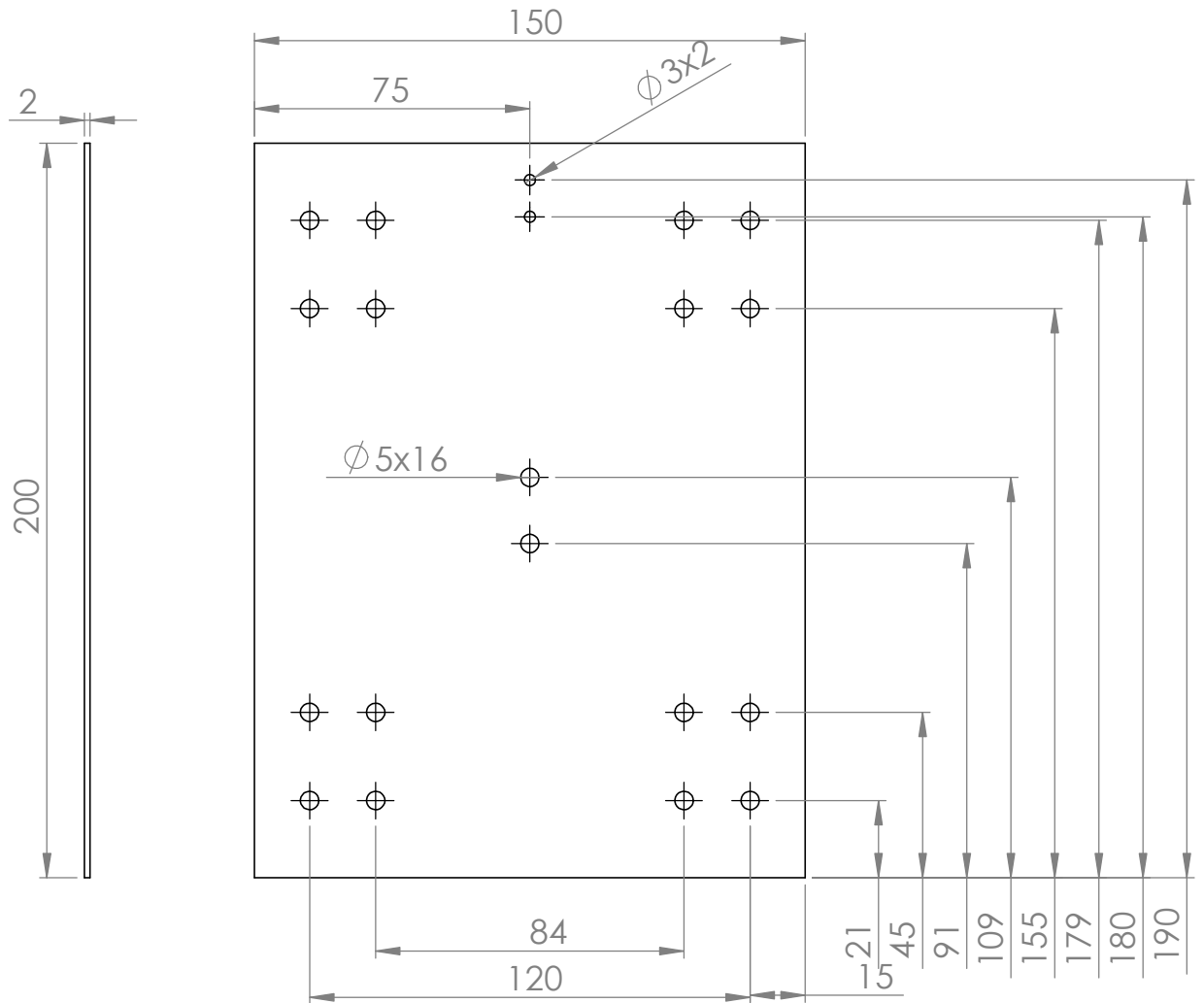
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero Inoxidable 304	Dim. brutas:	1000x500x2
Recubrimiento:	N/A	Diseño:	López Rodolfo		
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Dibujó:	López Rodolfo		
		Revisó:	Ing.Patricio Quitiaquez		
Eje	Escala: 1:2	Código:	08.04599.01.06	Tol. Gral. :	± 1



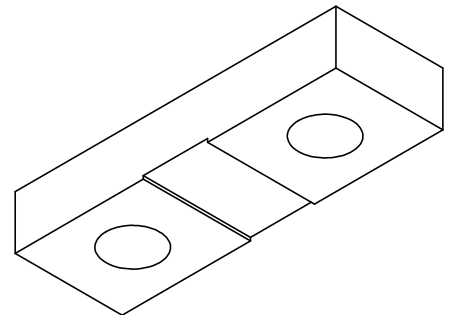
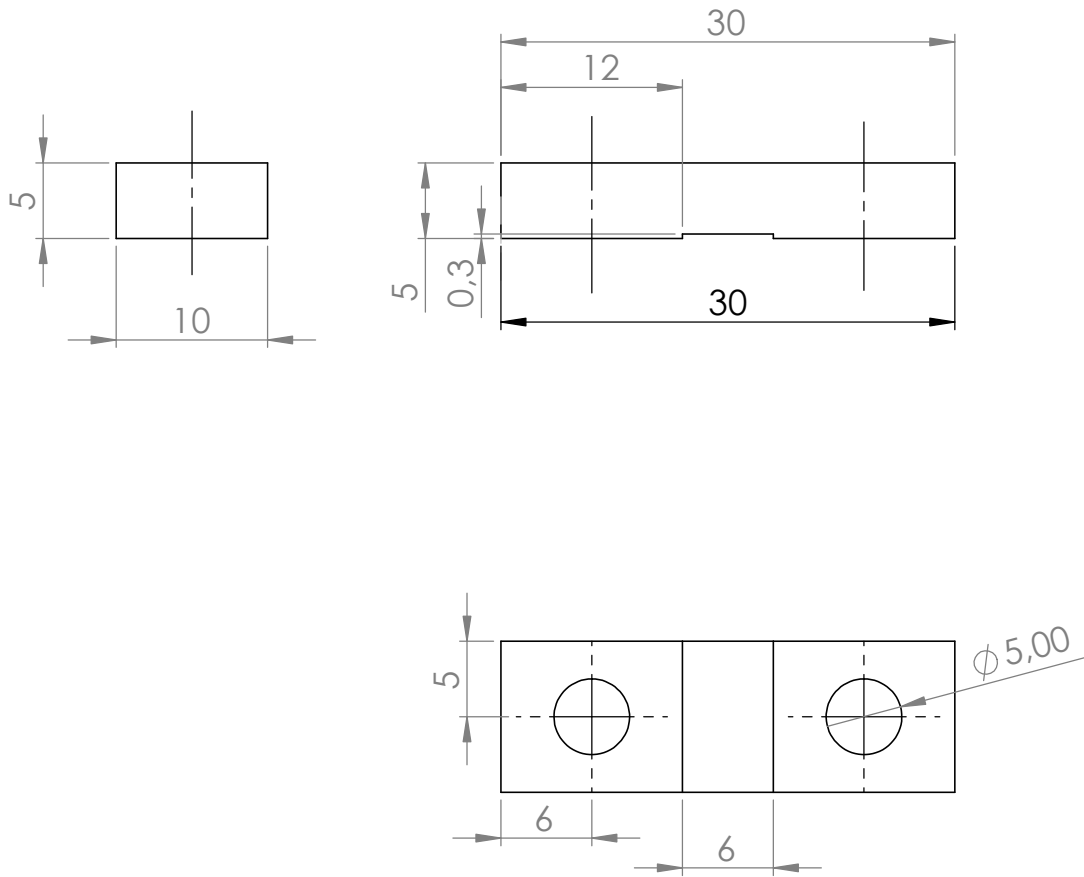
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero Inoxidable 304	Dim. brutas:	400x200x1.5
Recubrimiento:	N/A	Diseñó:	López Rodolfo		
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		Dibujó:	López Rodolfo		
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez		
Mesa eje X	Escala: 1:5	Código:	08.04599.01.02	Tol. Gral. :	±1



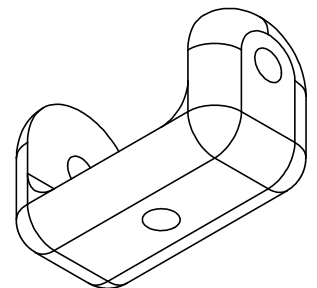
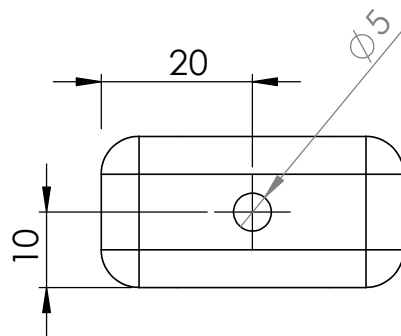
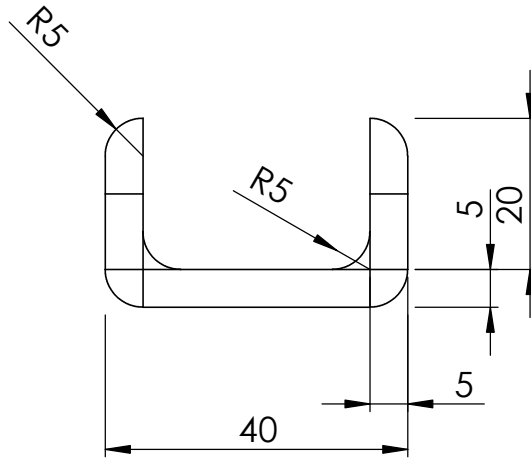
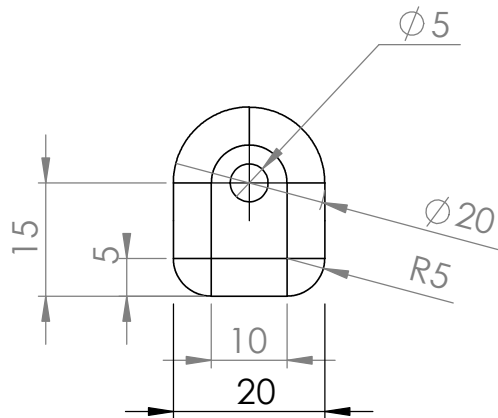
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero Inoxidable 304	Dim. brutas:	200x150x1.5
Recubrimiento:	N/A	Diseño:	López Rodolfo		
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Dibujó:	López Rodolfo		
		Revisó:	Ing.Patricio Quitiaquez		
Mesa de pesaje	Escala: 2:1	Código:	08.04599.01.04	Tol. Gral. :	± 1



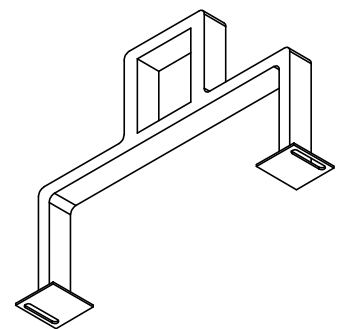
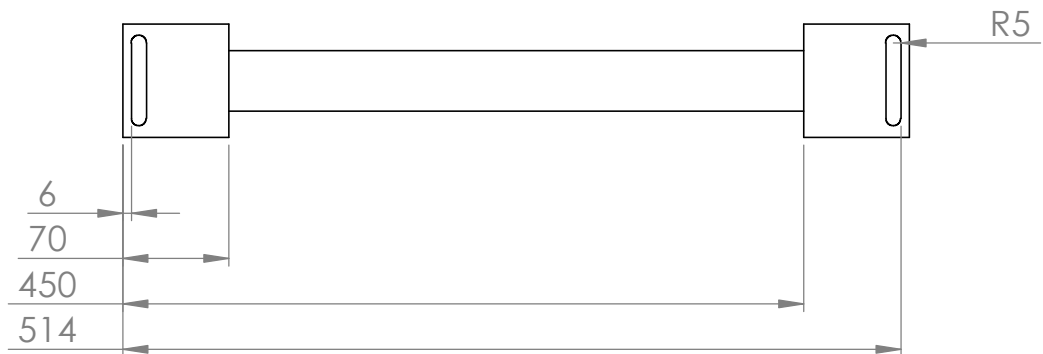
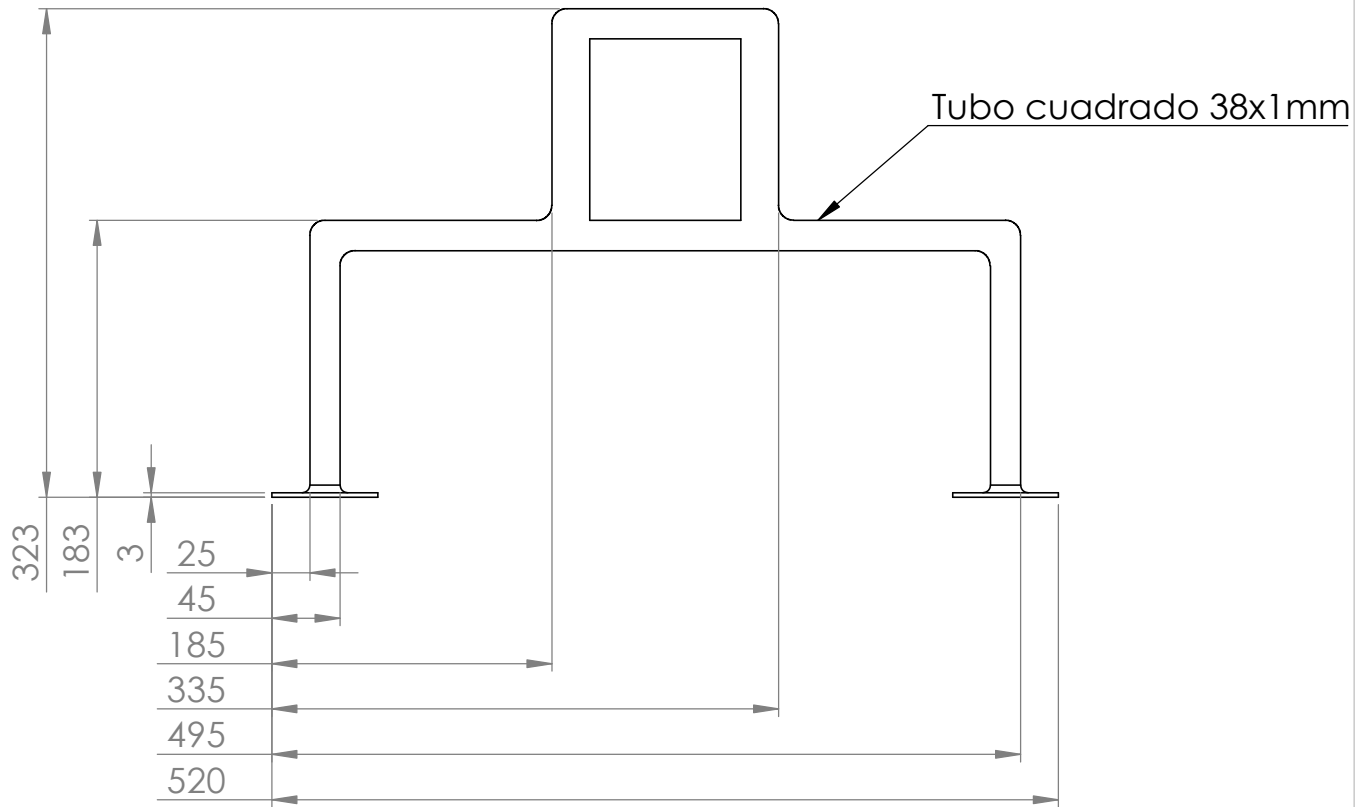
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Dim. brutas:
Recubrimiento:	N/A	Acero Inoxidable 304	200x150x1.5
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Diseñó:	López Rodolfo
		Dibujó:	López Rodolfo
		Revisó:	Ing.
Mesa eje Y	Escala: 1:2	Código:	Tol. Gral. : ±1
		08.04599.01.03	



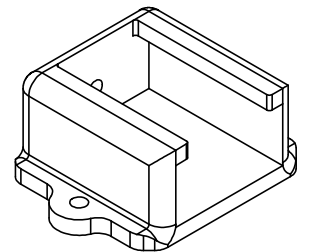
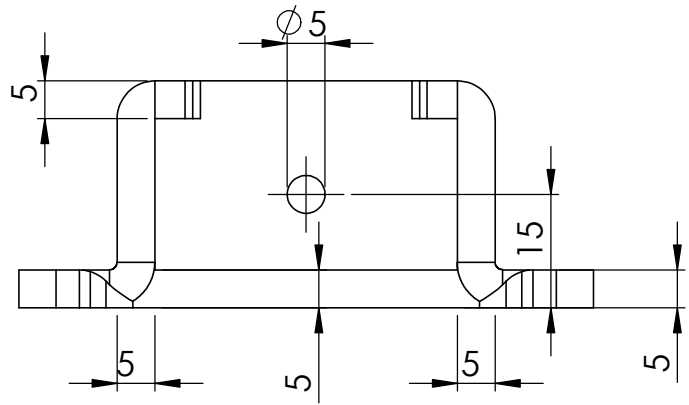
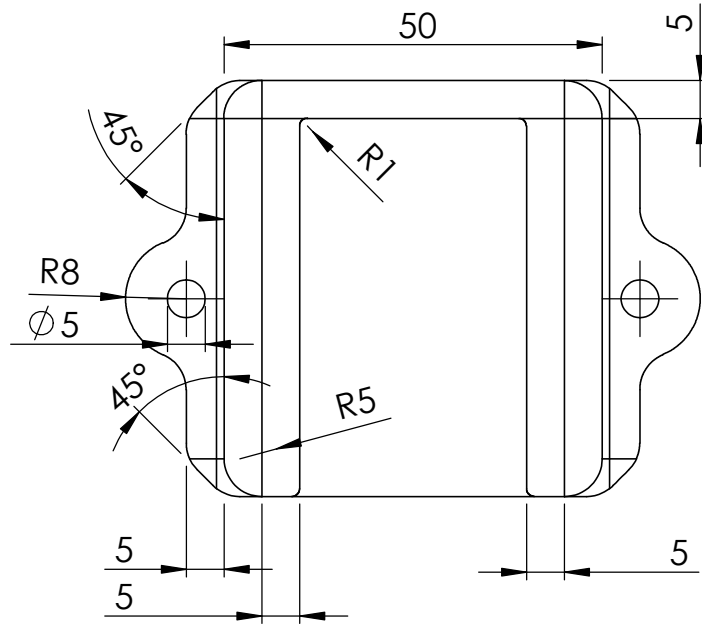
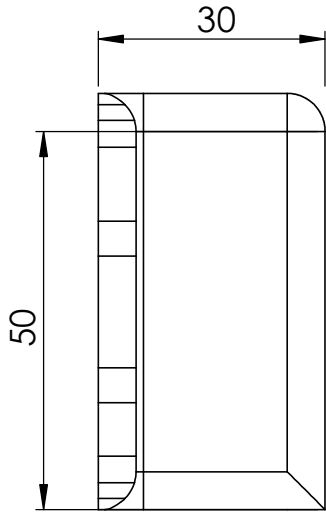
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	PLA	Dim. brutas:	30x5x10
Recubrimiento:	N/A	Diseño:	López Rodolfo		
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		UPS		Dibujó:	López Rodolfo
				Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez
Union para banda dentada	Escala: 2:1	Código:	08.04599.01.09	Tol. Gral. :	±1



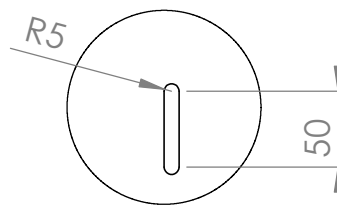
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	PLA	Dim. brutas:	1000x500x2
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Diseño:	López Rodolfo		
		Dibujó:	López Rodolfo		
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez		
Templador interior	Escala: 2:1	Código:	08.04599.01.08	Tol. Gral. :	±1



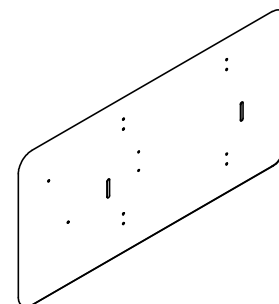
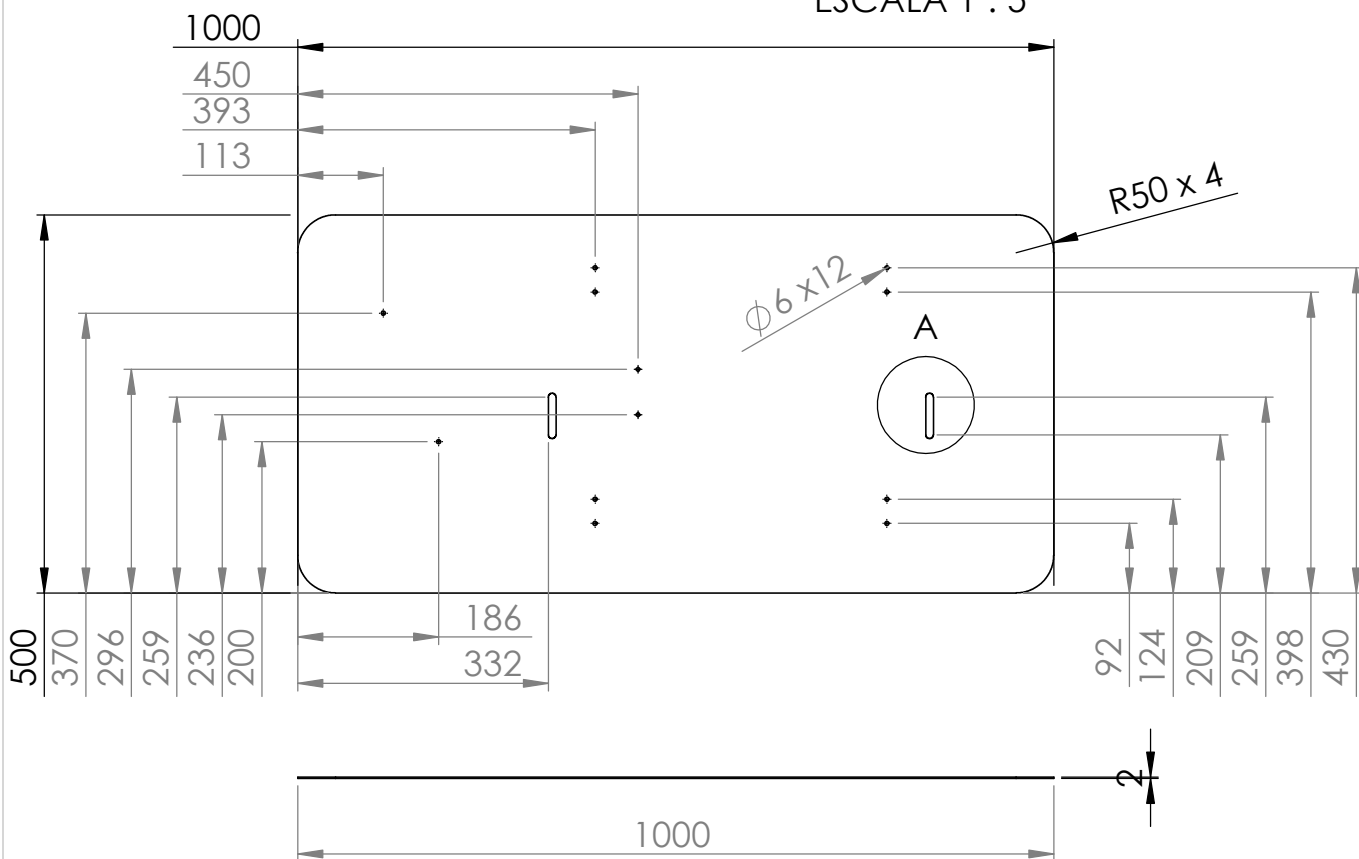
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero Inoxidable 304	Dim. brutas:	520x323x1
Recubrimiento:	N/A	Diseño:	López Rodolfo		
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		UPS		Dibujó:	López Rodolfo
				Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez
Estructura del sistema de corte	Escala: 1:5	Código:	08.04599.01.05	Tol. Gral. :	±1



Tratamiento térmico:	N/A	Material:	PLA	Dim. brutas:	1000x500x2
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Diseño:	López Rodolfo		
		Dibujó:	López Rodolfo		
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez		
templador externo de banda	Escala: 2:1	Código:	08.04599.01.07	Tol. Gral. :	± 1



DETALLE A
ESCALA 1 : 5



Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero Inoxidable 304	Dim. brutas:	1000x500x2
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		UPS	Diseñó:	López Rodolfo	
			Dibujó:	López Rodolfo	
			Revisó:	Ing.Patricio Quitiaquez	
Mesa base		Escala:	1:5	Código:	08.04599.01.01
					Tol. Gral. : ±1