UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

"CORTADORA DE MASA PARA LA INDUSTRIA PANADERA A PEQUEÑA ESCALA"

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica

Línea de investigación: Salud y bienestar; gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socioeconómico.

AUTOR:

Alexander Javier Vizcaino Sarabia

DIRECTOR:

MSc. Mejía Echeverría Cosme Damián.

Asesor:

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre.

Ibarra, septiembre de 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vizcaino Sarabia Alexander Javier

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Cortadora de masa para la industria panadera a pequeña escala
AUTOR (ES):	Vizcaino Sarabia Alexander Javier
FECHA: DD/MM/AAAA	03/09/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR /ASESOR:	MSc. Mejía Echeverría Cosme Damián / MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 3 días del mes de septiembre de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ALEXANDER JAVIER VIZCAINO SARABIA

Alexander Javier Vizcaino Sarabia

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 3 de septiembre de 2026

MSc. Mejía Echeverría Cosme Damián

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f)……

MSc. Mejía Echeverría Cosme Damián

C.C.: 1002641288

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "cortadora de masa para la industria panadera a pequeña escala" elaborado por Alexander Javier Vizcaino Sarabia, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
COSME DAMIAN MEJIA ECHEVERRIA

(f)……

MSc. Mejía Echeverría Cosme Damián

C.C.: 1002641288

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE

(f)……

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

C.C.: 1003188669

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por ser mi fuente de apoyo, motivación y fortaleza durante toda mi formación académica.

A mi padre, por sus enseñanzas, sacrificios y confianza, que me permitieron avanzar incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanas y demás familiares, por acompañarme y alentarme constantemente para alcanzar esta meta.

También dedico este logro a todas las personas que creyeron en mí y que, mediante sus palabras, consejos y apoyo, contribuyeron a la culminación de mi carrera profesional.

Este trabajo representa el resultado del esfuerzo, la perseverancia y el compromiso mantenidos durante estos años, y lo dedico con gratitud a quienes formaron parte de este proceso.

Agradecimiento

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y a la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica por brindarme la formación académica y profesional necesaria para culminar esta etapa.

También agradezco al MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría, director de este trabajo de titulación, por su orientación, tiempo, conocimientos y observaciones durante el desarrollo del proyecto. Asimismo, agradezco a los docentes que formaron parte de mi preparación académica, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi crecimiento personal y profesional.

En especial agradezco a mi padre, que fue uno de mis principales apoyos motivacionales ya que siempre estuvo a mi lado para que siga adelante sin rendirme, y que así luchara hasta el final por conseguir esta meta.

Finalmente, agradezco profundamente a mi familia cercana por su apoyo incondicional, paciencia, confianza y motivación durante toda mi formación universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Autorización de uso y publicación a favor de la universidad técnica del norte ii

Certificación del director del trabajo de integración curricular iii

Aprobación del comité calificador iv

Dedicatoria v

Agradecimiento vi

Índice de contenido vii

Índice de figuras xi

Índice de tablas xiii

Resumen xv

Abstract xvi

Introducción xvii

Planteamiento y formulación del problema xviii

Objetivos xix

Objetivo general xix

Objetivos específicos xix

Alcance xx

Justificación xxi

CAPÍTULO I: Marco teórico y referencial 1

1.1. Antecedentes del problema 1

1.2. Marco referencial 3

1.2.1. Diseño de máquinas procesadoras de masa en la situación actual 3

1.3. Bases teóricas 6

1.3.1. Productividad 6
1.3.2. Ergonomía 6
1.3.3. Diseño 7
1.3.4. Diseño de ingeniería 7
1.3.5. Mantenimiento de maquinarias 8
CAPÍTULO II: Marco metodológico 9
2.1. Metodología de investigación 9
2.2. Metodología aplicada para el diseño de la solución. 9
2.3. Restricciones del diseño 12
2.4. Requerimientos del sistema 12
2.5. Desglose funcional del sistema 13
CAPÍTULO III: Implementación y pruebas 16
3.1. Análisis máquina del mercado actual 16
3.2. Identificación de requerimientos 16
3.2.1. Diseño de modelo en módulos realizables 17
3.2.2. Proceso secuencial 18
3.2.3. Determinación de procesos técnicos 19
3.2.4. Proceso funcional 20
3.3. Análisis de la solución 21
3.3.1. Determinación de soluciones (matriz morfológica) 21
3.3.2. Evaluación de propuestas 23
3.3.3. Interfaz hombre – máquina 27
3.3.4. Ergonomía del trabajador 28

3.4. Diseño 29
3.4.1. Diseño propuesto de la máquina 29
3.4.2. Selección de materiales 34
3.4.3. Análisis estructural 38
3.5. Diseño final de la máquina 69
3.5.1. Ensamble general de la máquina 69
3.5.2. Sistema de alimentación 70
3.5.3. Sistema de corte y dosificación 71
3.5.4. Sistema de transmisión 72
3.5.5. Sistema de transporte 73
3.6. Validación mediante cálculos 74
3.6.1. Resultados del dimensionamiento de la tolva 74
3.6.2. Resultados de transmisión y potencia 74
3.6.3. Verificación del eje y rodamientos 75
3.7. Simulación del diseño 77
3.7.1. Elemento crítico seleccionado para simulación 78
3.7.2. Condiciones iniciales de simulación 78
3.7.3. Simulación en SolidWorks 79
3.8. Análisis de convergencia 84
3.8.1. Análisis de resultados 84
3.8.2. Análisis del error entre los resultados analíticos y simulados 88
3.9. Planos mecánicos 88
3.9.1. Lista de planos mecánicos 88

3.10. Planos eléctricos 90
3.10.1. Diagrama eléctrico de potencia 90
3.10.2. Diagrama eléctrico de control 91
3.10.3. Tabla de componentes eléctricos 91
3.11. Hojas de proceso 93
3.12. Costos finales de fabricación 93
3.12.1. Costos de mantenimiento 93
3.12.2. Costos de mano de obra 94
Conclusiones 95
Recomendaciones 96
Bibliografía 97
Anexos 102

Índice de figuras

Figura 1 Máquina automática divisora de masa YQ-1P 4

Figura 3 *Molde de la boleadora* 5

Figura 5 *Sistema de lubricación utilizado para reducir la adherencia de la masa* 6

Figura 6 *Etapas del proceso de diseño según la norma VDI* 11

Figura 7 *Diagrama del desglose del nivel 1* 13

Figura 8 *Diagrama del desglose del nivel 2* 14

Figura 9 *Diagrama del desglose del nivel 3* 15

Figura 10 *Esquema de la secuencia de operaciones.* 19

Figura 11 *Diagrama de bloques del sistema mecatrónico de la cortadora de masa* 31

Figura 12 *Diagrama del sistema de transmisión por poleas y correas* 32

Figura 13 *Diagrama de cuerpo libre del eje principal* 33

Figura 14 *Dimensiones de la tolva.* 41

Figura 15 *Resultados obtenidos en el software MDsolids 4.1.* 59

Figura 16 *Ensamble general de la máquina cortadora de masa* 69

Figura *17 Tolva de alimentación de la máquina* 70

Figura 18 *Sistema de corte y dosificación* 71

Figura 19 *Sistema de transporte y salida de masa cortada* 73

Figura 20 *Eje seleccionado para simulación* 78

Figura 21 *Malla gruesa creada* 79

Figura 22 *Distribución de esfuerzos de Von Mises con malla gruesa* 80

Figura 23 *Desplazamiento resultante con malla gruesa* 80

Figura 24 *Factor de seguridad con malla gruesa* 80

Figura 25 *Malla media creada* 81

Figura 26 *Distribución de esfuerzos de Von Mises con malla media* 81

Figura 27 *Desplazamiento resultante con malla media* 82

Figura 28 Factor de seguridad con malla media 82

Figura 29 *Malla fina creada* 83

Figura 30 *Distribución de esfuerzos de Von Mises con malla fina* 83

Figura 31 *Desplazamiento resultante con malla fina* 83

Figura 32 *Factor de seguridad con malla fina* 84

Figura 33 *Convergencia del factor de seguridad en función del número de elementos* ... 87

Índice de tablas

Tabla 1 *Voz del cliente* 17

Tabla 2 *Voz del ingeniero* 17

Tabla 3 *Lista de requisitos* 17

Tabla 4 *Matriz morfológica de alternativas* 21

Tabla 5 *Matriz morfológica de propuestas* 22

Tabla 6 *Evaluación de cada criterio* 23

Tabla 7 *Evaluación sobre ergonomía* 24

Tabla 8 *Evaluación sobre transporte* 24

Tabla 9 *Evaluación sobre seguridad* 25

Tabla 10 *Evaluación sobre costo* 25

Tabla 11 *Evaluación sobre operación* 26

Tabla 12 *Evaluación de opciones* 26

Tabla 13 *Aspectos técnicos para la HMI semáforo* 28

Tabla 14 *Estado ergonómico de posturas del trabajador* 28

Tabla 15 *Medidas antropométricas promedio* 28

Tabla 16 *Diagramas considerados para el diseño de la máquina* 30

Tabla 17 *Selección de materiales por componente* 35

Tabla 18 *Resumen de cálculos* 68

Tabla 19 *Resultados del dimensionamiento de la tolva* 74

Tabla 20 *Resultados del sistema de transmisión* 75

Tabla 21 *Resumen de verificación del eje* 76

Tabla 22 *Datos considerados para la selección del rodamiento* 76

Tabla 23 *Condición para la simulación*..... 78

Tabla 24 *Resultados de malla gruesa* 81

Tabla 25 *Resultados de malla media* 82

Tabla 26 *Resultados de malla fina*..... 84

Tabla 27 *Resultados de las simulaciones para el análisis de convergencia* 85

Tabla 28 *Variación porcentual del factor de seguridad*..... 86

Tabla 29 *Lista de planos mecánicos* 89

Tabla 30 *Componentes eléctricos de la máquina* 91

Tabla 31 *Duración estimada para el mantenimiento* 93

Tabla 32 *Costo de materiales en el mercado local.*..... 94

Tabla 33 *Costo mano de obra en el mercado local* 94

Resumen

El presente proyecto se orienta al diseño de una máquina cortadora de masa para la pequeña industria del pan, buscando así la mejora de la productividad y la disminución de la carga física que genera el operario. La propuesta es el resultado de la necesidad existente de automatizar, de manera parcial, el corte de masa en pequeñas panaderías donde el proceso habitual se realiza de una forma manual y repetitiva.

Para el desarrollo del diseño se utilizó la metodología VDI 2206, orientada al desarrollo de sistemas mecatrónicos. El proceso se llevó a cabo mediante la identificación de requerimientos, la generación de alternativas con una matriz morfológica, la evaluación de las propuestas, el diseño por dominios, la implementación del sistema y su posterior verificación.

El diseño fue verificado mediante cálculos analíticos y una simulación estática por elementos finitos. La validación se realizó mediante un análisis de convergencia y la comparación de los resultados numéricos con los valores analíticos. El eje principal de 25 mm presentó un esfuerzo equivalente de Von Mises de 64,5 MPa y un factor de seguridad de 3,33. En la simulación se obtuvo un esfuerzo de 59,04 MPa y un factor de seguridad de 3,503. La diferencia relativa fue de 8,47 % para el esfuerzo de Von Mises y de 5,20 % para el factor de seguridad, lo que evidencia una correspondencia aceptable entre ambos métodos. Además, el análisis por fatiga proporcionó un factor de seguridad de 2,35.

De esta forma, se logró un diseño mecatrónico funcional, seguro, fabricable a partir de procesos locales y apropiado para panaderías pequeñas, con toda la documentación generada en forma de planos mecánicos, planos eléctricos, hojas de proceso, costos de fabricación y resultados de simulación.

Abstract

This project focuses on the design of a dough-cutting machine for the small-scale bakery industry, aiming to improve productivity and reduce the physical workload placed on the operator. The proposal arises from the existing need to partially automate dough cutting in small bakeries, where the usual process is carried out manually and repetitively.

For the development of the design, the VDI 2206 methodology was used, which is oriented toward the development of mechatronic systems. The process was carried out through the identification of requirements, the generation of alternatives using a morphological matrix, the evaluation of the proposals, domain-specific design, system implementation, and subsequent verification.

The design was verified through analytical calculations and a static finite element simulation. The validation was carried out through a convergence analysis and by comparing the numerical results with the analytical values. The 25 mm main shaft presented an equivalent Von Mises stress of 64.5 MPa and a safety factor of 3.33. In the simulation, a stress of 59.04 MPa and a safety factor of 3.503 were obtained. The relative difference was 8.47% for the Von Mises stress and 5.20% for the safety factor, which shows an acceptable correspondence between both methods. In addition, the fatigue analysis provided a safety factor of 2.35.

In this way, a functional, safe, and manufacturable mechatronic design was achieved using local manufacturing processes. The complete documentation was generated in the form of mechanical drawings, electrical drawings, process sheets, manufacturing costs, and simulation results.

Introducción

La presente investigación tiene como objetivo el diseño de una máquina cortadora de masa orientada a pequeñas panaderías, con el fin de mejorar la productividad del proceso y reducir la carga ergonómica del operario.

El sistema propuesto integra funciones de dosificación, corte y transporte de la masa, incorporando además una interfaz hombre–máquina simplificada que facilita la operación y supervisión del equipo.

La máquina cuenta con una tolva de alimentación con la capacidad 40 kg, diseñada para optimizar el proceso productivo sin comprometer la comodidad del usuario.

Los capítulos se detallan a continuación:

El capítulo I presenta los antecedentes, el marco referencial y las bases teóricas relacionadas con productividad, ergonomía, diseño y mantenimiento.

El capítulo II describe la metodología de investigación y la metodología aplicada al diseño, además de las restricciones, los requerimientos y el desglose funcional del sistema.

El capítulo III desarrolla la implementación y validación del diseño mediante el análisis de alternativas, la selección de materiales, los cálculos, el diseño final, la simulación, el análisis de convergencia, los planos, las hojas de proceso y los costos.

Planteamiento y formulación del problema

La repetitividad de las acciones para el uso de la máquina manual desarrolla problemas en las extremidades, como se puede comprobar en [1] donde menciona que en esta industria los trabajadores pueden tener riesgos ergonómicos debido a la posición en la que trabajan.

Los dueños de pequeñas panaderías después de años de trabajo presentan dolor en algunas extremidades, por lo que para evitar el mismo daño a futuro en sus trabajadores necesitan una máquina que ayude a reducir la carga de trabajo de estos.

Para reducir la carga de trabajo de los empleados de la panadería se desea desarrollar el diseño de una máquina, la cual automatice uno de los procesos para la elaboración del pan mediante varios actuadores que funcionen con la activación de un pulsador.

El desarrollo de este diseño puede reducir el daño causado a la salud de los trabajadores, reduciendo su carga de esfuerzo y trabajo.

En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar una máquina cortadora de masa para pequeñas panaderías que incremente la productividad del proceso y reduzca la carga ergonómica del operario, manteniendo un costo accesible y factibilidad de fabricación local?

Objetivos

Objetivo general

Proyectar una máquina automática cortadora de masa para pequeñas panaderías.

Objetivos específicos

- Determinar especificaciones técnicas de la máquina en comparación con las presentes en el mercado.
- Diseñar el sistema mecatrónico de la máquina cortadora de masa.
- Validar el diseño mecatrónico de la máquina cortadora de masa mediante simulación.

Alcance

Realizar el diseño mecatrónico de un dispositivo para el corte de masa en pequeñas porciones para dar forma a los distintos panes producidos en las panaderías, para de esta forma aumentar la producción y mejorar la ergonomía de los trabajadores, reduciendo su carga de trabajo.

Esto se determinará por las especificaciones de funcionamiento y características de la cortadora de masas, haciendo entrega de:

- Planos mecánicos
- Planos eléctricos
- Hojas de procesos
- Resultados de las simulaciones.

Justificación

La industria panadera a pequeña escala debido a la forma artesanal de preparar sus productos con el paso de los años en sus trabajadores ha generado problemas en los huesos y articulaciones de acuerdo con el estudio encontrado en [2].

Según los estudios realizados por [2] la espalda, manos, cuello, hombros y rodillas fueron las regiones del cuerpo en las cuales los operarios han sufrido mayores molestias, por lo tanto, se puede asegurar que dentro la industria panadera los trabajadores sufren de problemas médicos por el desarrollo de sus trabajos con máquinas o procesos donde deben ejercer mucha fuerza y no tienen equipos que les protejan de posibles lesiones.

Con lo descrito anteriormente está claro que las pequeñas industrias panaderas necesitan automatizar algunos de sus procesos para reducir la carga laboral de sus trabajadores, lo cual a largo plazo mejore la ergonomía y también la producción de cada uno de sus productos, también es importante, ya que este tipo de industria no cuenta con el capital necesario para automatizar por completo sus procesos y tampoco tienen el apoyo gubernamental ni social para que se logre mejores condiciones de trabajo.

CAPÍTULO I:

Marco teórico y referencial

1.1. Antecedentes del problema

En la actualidad se busca mejorar la calidad de vida de los trabajadores, reduciendo la carga laboral o mejorando la ergonomía de estos durante el transcurso de su trabajo.

En [1] se buscó la solución al problema de la sobrecarga ergonómica y la baja productividad asociada a procesos manuales de masa en la industria panificadora. La investigación hizo uso de la metodología VDI 2221, complementada con una estructura de caja negra, desglose funcional, matriz morfológica y cálculos de los sistemas estáticos y dinámicos. Como resultado se desarrolló la máquina BOLE-600X, cuya configuración consideró una altura ajustable para mejorar la postura del operario durante la alimentación y operación del equipo.

Un ejemplo en la actualidad es la máquina que se demuestra en [3], la cual tiene una altura en la tolva de abastecimiento es 1627 mm, el panadero tendría que extender sus brazos con un ángulo superior a los 180° sosteniendo un peso superior promedio de masa de entre 15-20 kg para abastecer sobre encima de sus hombro e inclinándose con una ángulo de 40° para recoger el producto final, la cinta de salida tiene una altura de 80 cm, la flexión y extensión del brazo sería de 120 °, no posee una interfaz de hombre - máquina en el dispositivo de control que faciliten la independencia del operario, dichos aspectos técnicos se relacionan con la ergonomía. Tiene una producción de 24 unidades de pan/ min, una cámara divisora de 2 vías, boleadora de 3 unidades por ciclo.

En [4], se planteó el rediseño de un cortador divisor neumático para masa de harina de trigo debido a problemas de funcionamiento, fabricación y ensamble del diseño original. La

metodología consideró identificar las necesidades, el análisis de materiales, componentes e interfaces funcionales, así como el modelado mediante herramientas CAD. El resultado fue una propuesta de rediseño orientada a simplificar la fabricación y el montaje, manteniendo un costo compatible con el entorno de aplicación.

En [5] se analizó la baja uniformidad, el desgaste físico del operario y la reducida producción provocados por el boleado manual de masa. La investigación comprendió el diseño y fabricación de una máquina boleadora destinada a procesar masa para pan blanco y dulce. Como resultado se obtuvo un sistema que permitió mecanizar parcialmente el proceso y mejorar la uniformidad de las porciones frente al procedimiento manual.

En [6] se analizó el tiempo empleado en el boleado manual y su influencia sobre la productividad de la industria panificadora. La metodología partió del estudio del proceso existente, la identificación de requerimientos y el diseño mecánico de una máquina boleadora. Como resultado se propuso una solución orientada a disminuir el tiempo de procesamiento y aumentar la capacidad de producción.

En [7] se investigó el sobrepeso de las porciones de masa procesadas en una línea de panadería, especialmente en productos de forma esférica. La metodología aplicada correspondió a las cinco etapas DMAIC de Seis Sigma: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. La aplicación de esta metodología permitió reducir la variabilidad del peso de las porciones y mejorar el indicador de productividad del proceso.

En la propuesta de diseño, la producción será aumentada de para mejorar el rendimiento, esto mediante una mayor capacidad en la tolva de 40 kg, sistema de corte y dosificación de varias vías para obtener porciones uniformes de masa, la altura de todo el equipo será en base a un

promedio obtenido en base a los trabajadores para la comodidad del operario, contará con panel de control y semáforo de colores para proceso, atención y parada.

En [8], se analiza la influencia de las propiedades físicas de la masa en el funcionamiento de máquinas divisoras, tomando como parámetros principales la humedad, la consistencia y la adherencia, ya que estos pueden alterar la uniformidad de las porciones. La metodología se aplicó con ensayos en masas de entre 42% y 48% de humedad, así como también con la comparación de sistemas pistón, rotativos y de vacío. Los resultados mostraron que con humedades mayores a 46% se redujo la precisión y la más favorable se encuentra en un intervalo del 43% hasta el 45%.

En [9], analizaron la exposición de los empleados de panadería a factores biomecánicos que tienen relación con desórdenes musculoesqueléticos. La metodología incluyó la evaluación jerárquica de las tareas y el uso de los métodos ART y OCRA para analizar posturas laborales, movimientos reiterativos y fuerza. Este proyecto, a diferencia de la investigación anterior, que se centró en la evaluación del riesgo ergonómico, sugiere mecanizar el transporte y el corte de la masa para reducir la intervención manual repetitiva del operador.

1.2. Marco referencial

1.2.1. Diseño de máquinas procesadoras de masa en la situación actual

a) Ficha técnica

- Marca: YUYOU
- Modelo: YQ
- Fuente de alimentación: AC380V 50Hz
- Gasto energético: 1.6KW
- Capacidad: 1900pcs/h

- Peso de la masa: 100-500g
- Peso máquina: 480kg
- Dimensiones de la máquina (largo × alto × ancho): 880 × 1200 × 1500 mm

Figura 1
Máquina automática divisora de masa YQ-1P [3]



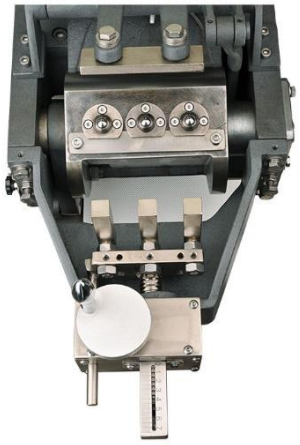
b) Tolva

La tolva comercial posee una capacidad de 40 a 80 kg y utiliza superficies de baja adherencia para facilitar el flujo de la masa. Para el diseño propuesto se adopta una capacidad de 40 kg, suficiente para mantener una alimentación continua sin aumentar excesivamente el peso y la altura del equipo. Se selecciona acero inoxidable AISI 304 por su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y disponibilidad para fabricación local.

c) Molde

Según [3], la máquina utiliza módulos intercambiables para modificar el número de porciones obtenidas por ciclo. Esta configuración mejora la flexibilidad productiva, pero aumenta la cantidad de componentes, los ajustes y las tareas de limpieza. En la propuesta se conserva el principio de varias vías desmontables, pero se reemplazan los moldes por cuchillas divisoras de acero inoxidable. Esta solución reduce la complejidad, facilita la fabricación y simplifica el mantenimiento.

Figura 2
Molde de la boleadora [3].



d) Panel de control

El panel comercial permite regular la velocidad, contabilizar unidades y ejecutar una parada de emergencia. Aunque estas funciones mejoran la supervisión, requieren sensores, controladores y componentes electrónicos de mayor costo. Para la máquina propuesta se utiliza un sistema básico con pulsadores, contactor, relé térmico, paro de emergencia y luces piloto. Esta configuración permite controlar el arranque, la parada y la señalización sin incrementar innecesariamente la complejidad del sistema.

e) Reserva de aceite

Según [3], la reserva de aceite reduce la probabilidad de que la masa se adhiera a las superficies móviles y mejora la continuidad del proceso. Sin embargo, incorpora una bomba, conductos y elementos de regulación que requieren limpieza y mantenimiento. Debido a que la propuesta se limita al corte y transporte de masa, este sistema no se incluye. En su lugar, se priorizan superficies lisas de acero inoxidable, piezas desmontables y limpieza periódica para reducir la acumulación de residuos.

Figura 3

Sistema de lubricación utilizado para reducir la adherencia de la masa [3].



1.3. Bases teóricas

En esta parte analizamos los conceptos que sustentan el diseño de la maquina cortadora de masa. Se aborda la productividad, la ergonomía, el diseño de ingeniería y el mantenimiento de la máquina, haciendo la relación con la definición de los requerimientos, la selección de la solución y la posterior verificación del diseño.

1.3.1. Productividad

En el análisis y diseño de la solución se utilizan cálculos matemáticos para determinar las dimensiones de la tolva, divisor de cámara, dimensiones físicas de la máquina ergonómica y los dispositivos utilizados en base a una evaluación de la estructura de la máquina, materiales, productividad, y costos.

1.3.2. Ergonomía

Según la definición que observamos en [10] , La aplicación conjunta de algunas ciencias biológicas y ciencias de la ingeniería para asegurar entre el hombre y el trabajo una óptima adaptación mutua con el fin de incrementar el rendimiento del trabajador y contribuir a su propio bienestar.

1.3.3. Diseño

Según se nos menciona en [11],Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

1.3.4. Diseño de ingeniería

Según la definición que encontramos en [11], Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y las teorías de la electricidad y de la información. El diseño en ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina.

En el proceso de diseño se incluye un esqueleto cinemático, un análisis de fuerzas, el diseño de componentes con sus propiedades mecánicas primarias teniendo en cuenta el tiempo de vida, la naturalidad del mercado, la facilidad de producción, el peso, el espacio y la estética.

Para esto se deben seguir 4 pasos durante su proceso los cuales son:

- Definir el problema
- Establecer método de diseño, con alternativas de solución a necesidades, eligiendo las alternativas factible o viable.
- Diseñar, después de la alternativa seleccionada se inicia a establecer características generales y globales para cada estructura o sistema.
- Análisis de resultados, en base a cálculos y dimensionamiento.

1.3.5. Mantenimiento de maquinarias

Una de las principales consideraciones durante el diseño es la simplicidad de este ante la aparición de fallos para facilitar el mantenimiento y reparación de estos.

Los mantenimientos que se pueden dar según [12] son de tipo:

a) Mantenimiento correctivo, para defectos y soluciones ante fallas.
b) Mantenimiento preventivo, actividades planificadas en tiempo y espacio para reemplazar componentes vulnerables, disminuye tiempos de parada y ocioso, generar horas extras para la reparación de máquinas.
c) Mantenimiento predictivo, identifica variables que puedan causar variaciones indeseables en la operatividad como termómetros, vibrómetros y otros.
d) Mantenimiento productivo total, utilizado por operarios en la producción de forma rutinaria.

CAPÍTULO II:

Marco metodológico

2.1. Metodología de investigación

El presente trabajo constituye una investigación aplicada con enfoque cuantitativo, porque pretende solucionar una necesidad específica de las pequeñas panaderías mediante el diseño de una máquina cortadora de masa, utilizando datos numéricos para su cálculo y validación. Se realizó investigación documental, recolectando información de artículos científicos, normas técnicas, trabajos académicos, catálogos de fabricantes y antecedentes de máquinas similares. Con esta información se pudieron establecer los requerimientos, seleccionar los componentes y fundamentar las decisiones de diseño.

La solución se comprobó mediante cálculos analíticos y mediante simulación computacional por elementos finitos. Los resultados del eje principal se estudiaron mediante un análisis de convergencia y la comparación entre los valores analíticos y simulados, con el fin de determinar la viabilidad técnica del diseño propuesto.

2.2. Metodología aplicada para el diseño de la solución.

El diseño de la máquina cortadora de masa se realizó de acuerdo con la metodología VDI 2206 [13] ya que el sistema involucra componentes mecánicos, eléctricos y de control. Esta metodología ofrece una estructura ordenada para el desarrollo interdisciplinario de sistemas mecatrónicos, desde la identificación de requerimientos hasta la integración, verificación y validación de la solución propuesta.

Se representó la metodología en un modelo en V adaptado al alcance del proyecto. En el lado izquierdo se ubicaron las actividades de definición y diseño, que incluyeron la identificación

de necesidades, restricciones y requerimientos, el desglose funcional, la generación de alternativas y la selección cuantitativa de la solución.

En el lado derecho se incluyeron las actividades de verificación y validación, desarrolladas mediante los cálculos de la tolva, la transmisión, el eje y los rodamientos, además de la simulación estructural en SolidWorks. La comprobación final se efectuó mediante un análisis de convergencia de la malla y la comparación de los resultados simulados con los valores analíticos.

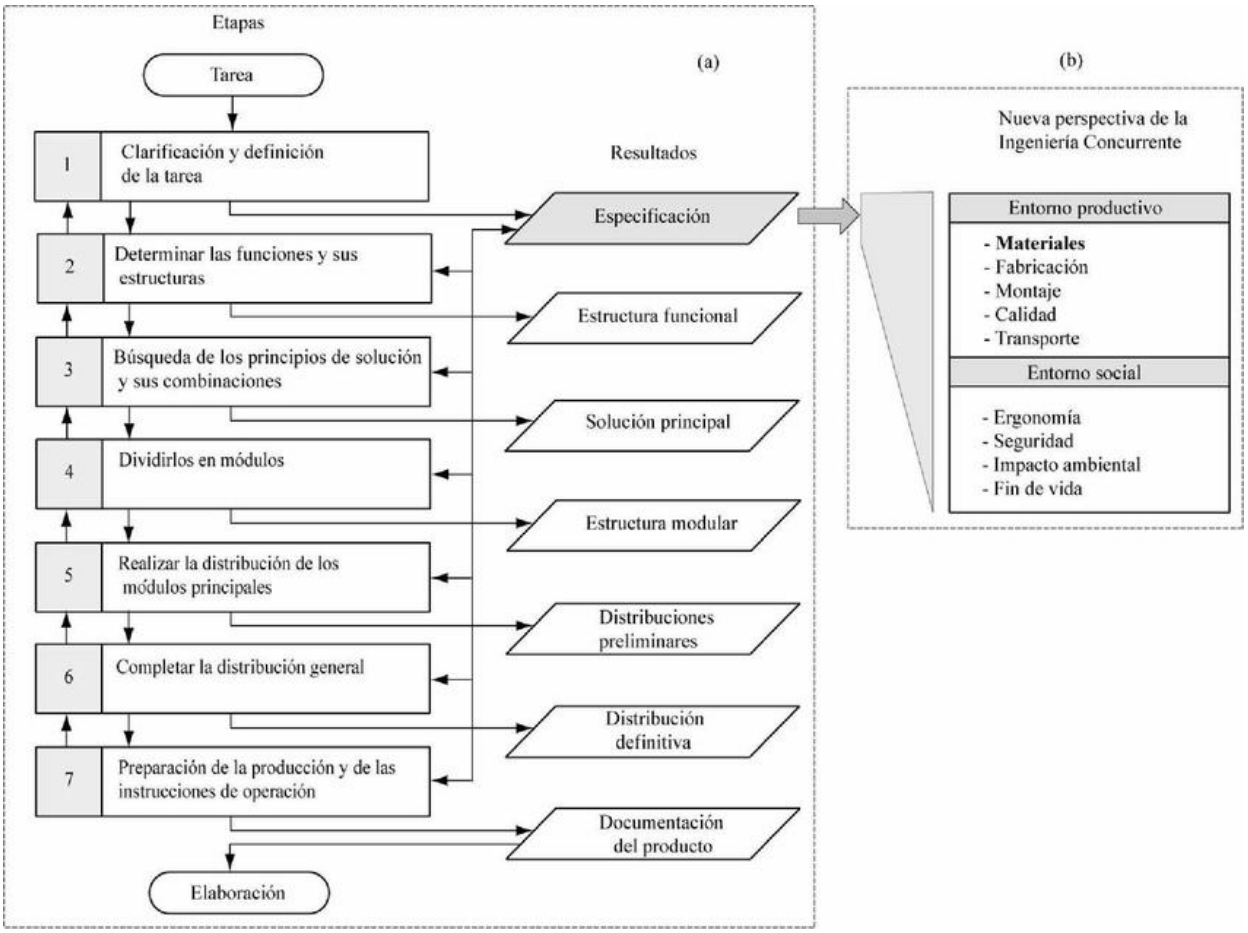
Para complementar la VDI 2206, se emplearon principios de la VDI 2221 según [14], con el fin de estructurar el proceso de diseño del producto, identificar funciones, generar alternativas y desarrollar la solución técnica. La norma VDI 2221 describe un procedimiento sistemático para el diseño interdisciplinario de productos y sistemas técnicos.

También incluye pautas sobre la documentación técnica necesaria para el diseño de ingeniería de sistemas, así como la consideración de requisitos ergonómicos y medioambientales en el proceso de diseño. Esta norma está dada por el esquema que se puede observar en la Figura 4, donde nos muestra que se desarrolla en 4 fases las cuales son:

- Fase I: Definir el problema.
- Fase II: Desarrollar conceptos de solución
- Fase III: Desarrollar diseño Fase
- Fase IV Elaboración de detalles del diseño

Figura 4

Etapas del proceso de diseño según la norma VDI [14].



Según [15], para valorar técnica y económicamente las propuestas se utilizó como apoyo la VDI 2225. Mediante su aplicación se pudieron considerar los costos de materiales, de fabricación, de mantenimiento y los componentes comerciales en la selección de la alternativa. Por tanto, esta norma no fue la metodología principal del proyecto, sino una herramienta complementaria para la valoración económica del diseño.

La aplicación simultánea de estas normas permitió ordenar el desarrollo de la máquina desde una perspectiva mecatrónica, sin excluir los métodos de diseño funcional y evaluación económica utilizados en las primeras etapas del proyecto.

2.3. Restricciones del diseño

Para el desarrollo de la máquina cortadora de masa se establecieron las siguientes restricciones:

- **Disponibilidad** de fabricación: los componentes deben poder ser fabricados en talleres locales sin maquinaria altamente especializada.
- **Costo**: el diseño debe ser accesible para pequeñas panaderías, limitando el uso de componentes de alto costo.

Espacio físico: la máquina debe adaptarse a áreas de trabajo reducidas típicas de panaderías artesanales.

- **Seguridad**: debe cumplir con principios básicos de seguridad industrial (protección de partes móviles, paro de emergencia).
- **Higiene alimentaria**: los materiales en contacto con la masa deben ser aptos para uso alimenticio (ej. acero inoxidable AISI 304).
- **Operación**: la máquina debe ser operada por un solo usuario.
- **Ergonomía**: debe adaptarse a la estatura promedio del operario para reducir posturas forzadas.

2.4. Requerimientos del sistema

Se establecieron los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales:

- Producción entre 30 y 45 unidades/minuto
- Capacidad de tolva: 40 kg.

Corte uniforme de masa

Sistema de transmisión eficiente

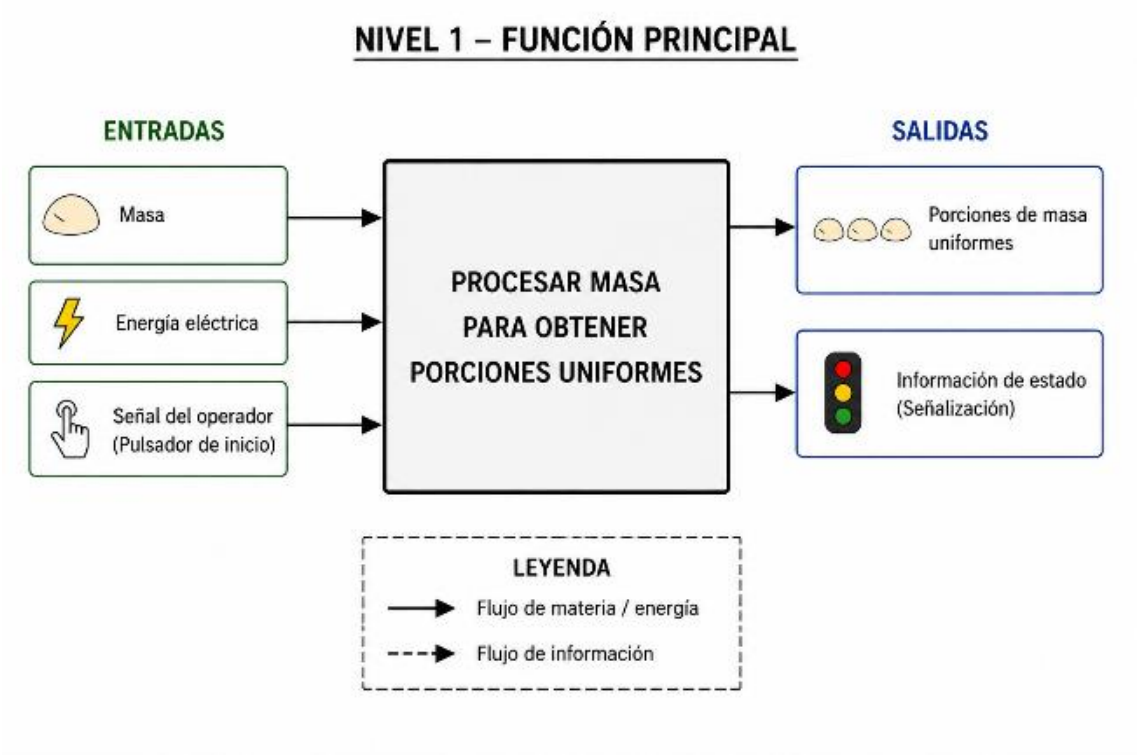
- Interfaz hombre-máquina simple (semáforo de estados)
- Facilidad de limpieza y mantenimiento
- Portabilidad (uso de ruedas con seguro)

2.5. Desglose funcional del sistema

Se identificaron las siguientes funciones principales y secundarias:

Nivel 1 – Función principal:

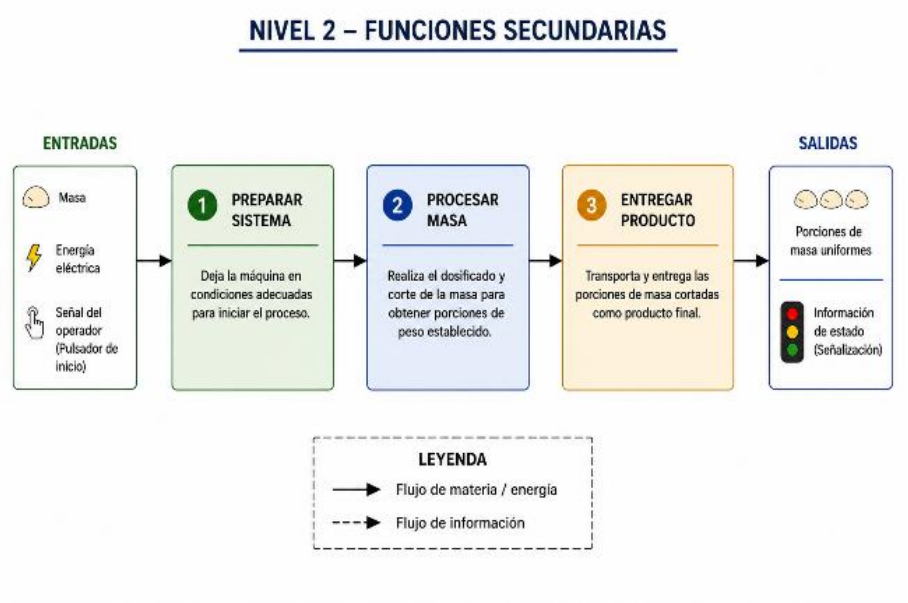
Figura 5
Diagrama del desglose del nivel 1 [16].



La función principal de la máquina es procesar la masa para obtener porciones uniformes, para ello el sistema integra mecanismos de alimentación, corte y transporte que ayudarán a mejorar la productividad y homogeneidad del producto final.

Nivel 2 – Funciones secundarias:

Figura 6
Diagrama del desglose del nivel 2 [16].



1. Preparar sistema.

La función de preparación del sistema tiene como objetivo asegurar que la máquina se encuentra en condiciones óptimas para iniciar a funcionar, esta etapa comprende la verificación de si el sistema está energizado, la activación de los elementos mecánicos y se pone a la espera órdenes del operador.

2. Procesar masa.

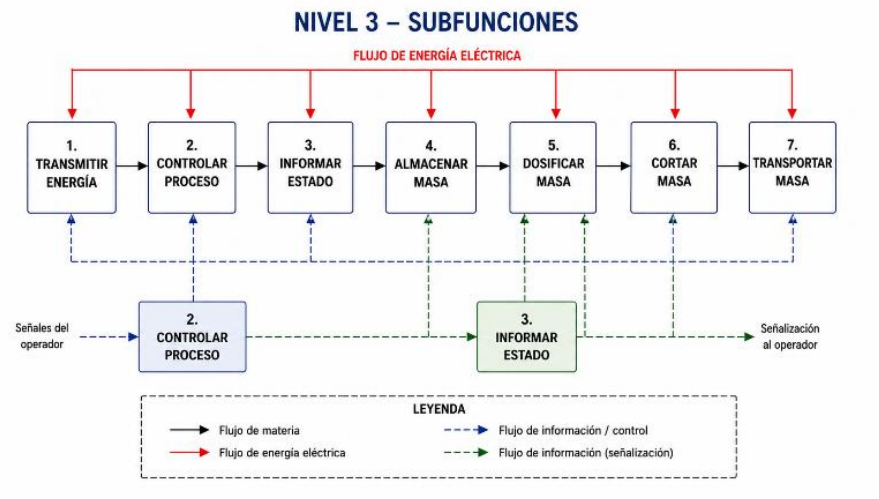
La función de procesamiento de la masa comprende las operaciones necesarias para transformar en porciones individuales. Durante esta etapa se realiza el almacenamiento y corte de la masa, asegurando uniformidad en el tamaño y peso de las porciones obtenidas.

3. Entregar producto.

La función de entrega del producto permite el transporte de las porciones obtenidas hacia la salida de la máquina para continuar con las etapas posteriores del proceso productivo.

Nivel 3 – Subfunciones:

Figura 7
Diagrama del desglose del nivel 3 [16].



1. Transmitir energía: Permite suministrar la potencia necesaria para el funcionamiento de los mecanismos de la máquina mediante el motor y el sistema de transmisión por poleas.
2. Controlar proceso: Gestiona la operación del sistema a través de los elementos de control, permitiendo el arranque, supervisión y ejecución de las funciones de la máquina.
3. Informar estado: Proporciona información visual sobre las condiciones de operación de la máquina mediante un sistema de señalización que facilita la interacción con el operador.
4. Almacenar masa: Recibe y contiene la masa en una tolva diseñada para garantizar una alimentación continua y adecuada durante el proceso productivo.
5. Dosificar masa: Regula la cantidad de masa suministrada hacia el sistema de corte para obtener porciones con características uniformes.
6. Cortar masa: Divide la masa en unidades individuales mediante cuchillas diseñadas para mantener precisión y repetibilidad en el proceso.
7. Transportar masa: Desplaza las porciones obtenidas hacia la salida de la máquina mediante una banda transportadora.

CAPÍTULO III:

Implementación y pruebas

3.1. Análisis máquina del mercado actual

- Producción lenta con la máquina boleadora de dos filas.
- Producción de hasta seis unidades por ciclo.
- Angosta y corta cinta transportadora.
- Tolva de acero inoxidable con entre 40 y 80 kg de masa.
- Dosificación regulada en las cámaras de porción con el peso deseado para cada una de las vías.
- Posee 2 o 3 cámaras intercambiables que pueden trozar de 30 a 240 gr de masa en trozos estándar de 30 gr.
- Contiene 2 bandas de transporte, una para salida de la cámara divisora y otra para la salida del producto final.
- No contiene dispositivos informativos mediante alguna interfaz visual y de sonido.
- Señalización del panel de control mediante pictogramas.
- Control total mediante un PLC.
- Máquina de acero inoxidable.
- Potencia eléctrica de 1.6 KW.
- Peso de la máquina 480 kg.

3.2. Identificación de requerimientos

Los deseos del cliente se encuentran resumidos en la Tabla 1, así como también se presentan los requerimientos técnicos se presenta en la Tabla 2. A partir de esta información, la lista general de requisitos se presenta en la Tabla 3.

Tabla 1

Voz del cliente

Deseo del cliente	Descripción máquina
Fácil de manejar	Que pueda ser operada por una persona.
Ligera	Que sea fácil de transportar
Duradera	Que le dure mucho tiempo para recuperar la inversión.
Bonita	Que se vea bien

Tabla 2

Voz del ingeniero

Requerimientos ingeniero	Descripción máquina
Seguridad	Que tenga un sistema de seguridad.
Fabricación	Que se pueda fabricar con la maquinaria local disponible.
Precio	Que tenga un precio accesible
Ergonómica	Que sea cómoda de usar

3.2.1. Diseño de modelo en módulos realizables

Para el diseño de la máquina cortadora se planteará una tabla sobre la lista de requisitos que permita dar las pautas para el diseño de las piezas principales para que la máquina cumpla con las características deseadas.

Tabla 3

Lista de requisitos

Característica	Deseo (D) o Requisito (R)	Condiciones	Responsable
Funciones principales	R	Obtener una producción de 30 a 45 unidades por minuto, con la máquina y un panel de control integrado.	Alexander Vizcaino
Geometría	R	Las vías se cambiarán de dos a tres. La capacidad de la tolva se mantiene en 40 kg para aumentar la producción.	Alexander Vizcaino
Fuerza	R	La máquina debe soportar los 40 kg de masa suministrada en la tolva, además de la vibración que produce cuando alcanza la velocidad deseada.	Alexander Vizcaino
Interfaz H-M	R	Solo deben hacerse al panel de control las modificaciones necesarias del programa para la implementación de un semáforo con las características técnicas necesarias en los colores estándar verde, amarillo y rojo.	Alexander Vizcaino
Ergonomía	R	La máquina debe tener la altura requerida para que el operador pueda alimentar el material y operar la máquina de manera efectiva. Los dispositivos de interfaz implementados no deben causar problemas táctiles o visuales inmanejables.	Alexander Vizcaino

Característica	Deseo (D) o Requisito (R)	Condiciones	Responsable
Fabricación	D	Las piezas deben fabricarse en talleres locales sin necesidad de maquinaria especializada.	Alexander Vizcaino
Montaje	R	La máquina debe tener un procedimiento de ensamblaje sencillo y permitir la adición o eliminación simple de las piezas para su mantenimiento o limpieza.	Alexander Vizcaino
Transporte	D	La máquina debe poder ser transportada en un camión pequeño o camionetas sin la ayuda de maquinaria adicional para el traslado, montaje, mantenimiento, etc.	Alexander Vizcaino
Mantenimiento	D	El mantenimiento debe ser sencillo y rápido, sin necesidad de herramientas especializadas para su realización, y no debería llevar mucho tiempo.	Alexander Vizcaino
Seguridad	R	Tanto el equipo como el operario debe cumplir con los principios expresados en [17].	Alexander Vizcaino
Operación	D	Un solo operador calificado debe poder operar toda la máquina.	Alexander Vizcaino
Costo	D	El costo de fabricación de las piezas debe ser tal que sea una inversión a corto o mediano plazo.	Alexander Vizcaino

3.2.2. Proceso secuencial

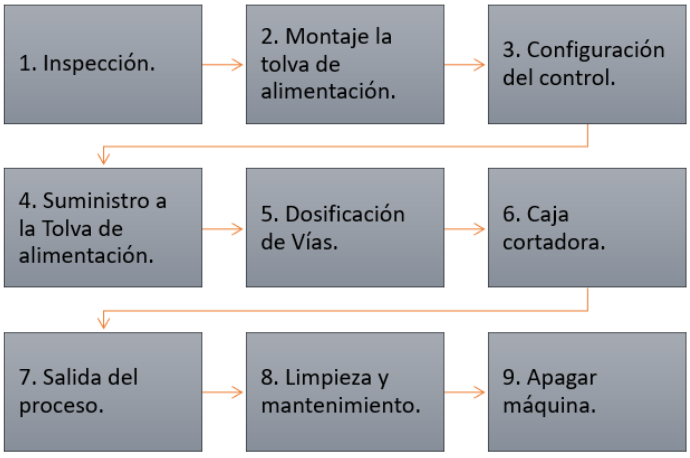
Se enumera la siguiente secuencia de operaciones durante el proceso que desarrolla la máquina cortadora de masa:

1. Inspección, hay que asegurar que el seguro de las ruedas de la máquina esté fijo.
2. Montaje de la tolva de alimentación, vías y sistema de corte.
3. Configuración del control: se verifica el estado del sistema eléctrico, el funcionamiento de los pulsadores de marcha y paro, el paro de emergencia y las luces piloto tipo semáforo. El sistema de control propuesto es básico y permite accionar la máquina mediante mando eléctrico sin requerir programación por peso.

4. Suministro a la Tolva de alimentación, su suministro es de una masa obtenida mediante amasado y/o batido, en la parte inferior se cuenta con dos cuchillas de acero para el corte de la masa en porciones según la configuración en el panel de control.
5. Dosificación de Vías, posee una sección rectangular para recibir las porciones de la masa, para luego ser pasadas a las vías. Dichas vías pueden ser desmontadas para su limpieza.
6. Caja cortadora, se conforma por un sistema de piezas alimentada por una banda de alimentación en donde se sueltan unidades de masa que se acomodan y durante el movimiento de traslación en el eje Y de la cuchilla de corte.
7. Salida del proceso, mediante una banda.
8. Limpieza y mantenimiento.
9. Apagar máquina.

Figura 8

Esquema de la secuencia de operaciones.



3.2.3. Determinación de procesos técnicos

Montaje

- Montaje tolva de alimentación con las cuchillas.

- Montaje cámara divisora de vías.
- Montaje del sistema de corte.

Preparación

Bloquear los seguros de la máquina para comodidad del operario.

- Prueba de funcionamiento vacío.
- Prueba de funcionamiento con producto.

Ejecución

Cierre tapa frontal.

- Encendido de máquina.
- Alimentación de la tolva.
- Ejecución del proceso.

Fase final

- Apagado de la máquina.
- Limpieza del equipo.

3.2.4. Proceso funcional

A continuación, se detalla el proceso de funciones que se cumplen para que la máquina complete su ciclo.

Entrada

1. Bloque movimiento.
2. Configuración control.
3. Alimentar tolva y cortar.
4. Dosificar masas.
5. Corte de unidades.
6. Transporte de unidades.

Salida

3.3. Análisis de la solución

3.3.1. Determinación de soluciones (matriz morfológica)

Para la generación de alternativas de solución se aplicó una matriz morfológica, tomando como base las funciones principales y secundarias identificadas en el desglose funcional del sistema. Esta herramienta permite analizar diferentes principios de solución para cada función de la máquina y combinarlos en propuestas viables de diseño.

La matriz se elaboró considerando que la máquina debe cortar masa para pequeñas panaderías, mantener una capacidad de tolva de 40 kg, ser operada por una sola persona, tener facilidad de limpieza, permitir fabricación local y reducir la carga ergonómica del operario. Con base en estos requerimientos, se plantearon tres alternativas para cada función técnica del sistema.

Las alternativas funcionales se resumen en la Tabla 4 y sus posibles alternativas se presentan en la Tabla 5. La ponderación de los criterios se resume en la Tabla 6; las evaluaciones de ergonomía, transporte, seguridad, costo y operación se desarrollan en las Tablas 7 a 11, respectivamente. Finalmente, el resultado global de las propuestas se presenta en la Tabla 12.

Tabla 4
Matriz morfológica de alternativas

Función del sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Transmitir energía	Cardán	Motor eléctrico monofásico	Engranaje y cadenas
Transmitir movimiento	Juego de engranes	Poleas y correas	Cadena y piñones
Almacenar masa	Tolva triangular	Tolva circular	Tolva rectangular tipo tronco de pirámide
Dosificar masa	Vía simple	Vías múltiples desmontables	Cámara con pistón dosificador
Cortar masa	Compuerta de corte	Cuchillas de acero inoxidable	Sistema de corte neumático
Transportar porciones	Rampa de salida	Banda transportadora	Doble banda transportadora
Controlar proceso	Interruptores manuales	Pulsadores, contactor y luces piloto	PLC con sensores

Función del sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Informar estado	Semáforo de estados	Luz piloto individual	Pantalla HMI
Facilitar mantenimiento	Componentes fijos	Componentes desmontables por pernos	Sistema modular con sensores de diagnóstico
Seguridad del operario	Cubiertas fijas	Paro de emergencia y cubiertas desmontables	Enclavamientos eléctricos y sensores de seguridad

Las alternativas funcionales se resumen en la Tabla 4 y sus posibles alternativas se presentan en la Tabla 5. La ponderación de los criterios se resume en la Tabla 6; las evaluaciones de ergonomía, transporte, seguridad, costo y operación se desarrollan en las Tablas 7 a 11, respectivamente. Finalmente, el resultado global de las propuestas se presenta en la Tabla 12..

Tabla 5

Matriz morfológica de propuestas

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Transmitir energía	Cardán	Motor eléctrico monofásico	Engranaje y cadenas
Transmitir movimiento	Juego de engranes	Poleas y correas	Cadena y piñones
Almacenar masa	Tolva triangular	Tolva circular	Tolva rectangular tipo tronco de pirámide
Dosificar masa	Vía simple	Vías múltiples desmontables	Cámara con pistón dosificador
Cortar masa	Compuerta de corte	Cuchillas de acero inoxidable	Sistema de corte neumático
Transportar porciones	Rampa de salida	Banda transportadora	Doble banda transportadora
Controlar proceso	Interruptores manuales	Pulsadores, contactor y luces piloto	PLC con sensores
Informar estado	Semáforo de estados	Luz piloto individual	Pantalla HMI
Facilitar mantenimiento	Componentes fijos	Componentes desmontables por pernos	Sistema modular con sensores de diagnóstico
Seguridad del operario	Cubiertas fijas	Paro de emergencia y cubiertas desmontables	Enclavamientos eléctricos y sensores de seguridad
	Propuesta Nº 1	Propuesta Nº 2	Propuesta Nº 3

La Propuesta 1 corresponde a una solución mecánica simple, de bajo costo y menor complejidad constructiva; sin embargo, presenta limitaciones en productividad, ergonomía y control del proceso, ya que requiere mayor intervención manual del operario.

La Propuesta 2 integra un motor eléctrico monofásico, transmisión por poleas y correas, tolva rectangular, cuchillas de acero inoxidable, sistema de dosificación desmontable, banda transportadora, pulsadores de mando y señalización mediante semáforo. Esta configuración equilibra productividad, seguridad, facilidad de fabricación, mantenimiento y costo, por lo que resulta adecuada para una pequeña panadería.

La Propuesta 3 presenta un mayor nivel de automatización mediante sistema neumático, PLC, sensores y pantalla HMI. Aunque mejora el control del proceso, incrementa el costo, la complejidad de mantenimiento y la dependencia de componentes especializados, lo cual no se ajusta completamente al objetivo de una máquina accesible y fabricable localmente.

3.3.2. Evaluación de propuestas

Tabla 6
Evaluación de cada criterio

	Ergonomía	**Transporte**	**Seguridad**	**Costo**	**Operación**	**Σ+1**	**Ponderación**
Ergonomía	-	1	0,5	1	0,5	4	0,27
Transporte	0	-	0	1	1	3	0,20
Seguridad	0,5	1	-	1	0,5	4	0,27
Costo	0	0	0	-	0,5	1,5	0,10
Operación	0,5	0	0,5	0,5	-	2,5	0,17
					Suma	15	1,00

Según la ponderación de los resultados, el orden de importancia de los criterios evaluados es:

Ergonomía = Seguridad > Transporte > Operación > Costo.

La ergonomía y seguridad muestran una ponderación de 0,27 cada una, seguidas del transporte con 0,20, la operación con 0,17 y el costo con 0,10. Por tanto, la selección de la alternativa debe priorizar la comodidad del operario y la reducción de riesgos.

Tabla 7

Evaluación sobre ergonomía

Ergonomía	P1	P2	P3	Σ+1	Ponderación
P1	-	0	0,5	1,5	0,25
P2	1	-	0,5	2,5	0,42
P3	0,5	0,5	-	2	0,33
			Suma	6	1

Según los resultados de la Tabla 7, el orden de preferencia para el criterio de ergonomía es:

P2 > P1 > P3

La Propuesta 2 obtuvo la mayor ponderación (0,42), seguida por la Propuesta 3 (0,33) y la Propuesta 1 (0,25).

Tabla 8

Evaluación sobre transporte

Transporte	P1	P2	P3	Σ+1	Ponderación
P1	-	0,5	1	2,5	0,42
P2	0,5	-	1	2,5	0,42
P3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Para el criterio de transporte, el orden de preferencia es:

P1 = P2 > P3

Las propuestas 1 y 2 alcanzaron la misma ponderación (0,42), mientras que la Propuesta 3 obtuvo 0,17.

La seguridad se contempló desde el diseño, a través de la detección de peligros eléctricos y mecánicos, el análisis de los riesgos vinculados y la implementación de acciones para su disminución. Según los principios generales de seguridad establecidos en las normas ISO 12100 y ISO 14159, según se puede observar en [18], [19].

Tabla 9
Evaluación sobre seguridad

Seguridad	P1	P2	P3	Σ+1	Ponderación
P1	-	0,5	0,5	2	0,33
P2	0,5	-	1	2,5	0,42
P3	0,5	0	-	1,5	0,25
			Suma	6	1

Para el criterio de seguridad, el orden de preferencia es:

P2 > P1 > P3

La Propuesta 2 obtuvo la mayor ponderación (0,42), seguida por la Propuesta 1 (0,33) y la Propuesta 3 (0,25).

Tabla 10
Evaluación sobre costo

Costo	P1	P2	P3	Σ+1	Ponderación
P1	-	0	0,5	1,5	0,25
P2	1	-	1	3	0,50
P3	0,5	0	-	1,5	0,25
			Suma	6	1

Para el criterio de costo, el orden de preferencia es:

P2 > P1 = P3

La Propuesta 2 alcanzó la mayor ponderación (0,50), mientras que las propuestas 1 y 3 obtuvieron la misma ponderación (0,25).

Tabla 11

Evaluación sobre operación

Operación	P1	P2	P3	Σ+1	Ponderación
P1	-	0	1	2	0,33
P2	1	-	0,5	2,5	0,42
P3	0	0,5	-	1,5	0,25
			Suma	6	1

Para el criterio de operación, el orden de preferencia es:

P2 > P1 > P3

La Propuesta 2 obtuvo la mayor ponderación (0,42), seguida por la Propuesta 1 (0,33) y la Propuesta 3 (0,25).

Tabla 12

Evaluación de opciones

Conclusión	Ergonomía	Transporte	Seguridad	Costo	Operación	Σ+1	Ponderación
P1	0,11	0,08	0,09	0,03	0,06	0,36	2
P2	0,07	0,08	0,11	0,05	0,07	0,38	1
P3	0,09	0,03	0,07	0,03	0,04	0,26	3
						Ganador	P2

La evaluación global establece el orden:

P2 > P1 > P3

La Propuesta 2 obtuvo la mayor ponderación total (0,38) y ocupó el primer lugar, seguida por la Propuesta 1 (0,36) y la Propuesta 3 (0,26).

En consecuencia, la Propuesta 2 será desarrollada en las siguientes etapas del diseño, incluyendo el dimensionamiento de la tolva, cálculo del sistema de transmisión, selección de materiales, modelado CAD, validación estructural y elaboración de planos mecánicos y eléctricos

3.3.3. Interfaz hombre – máquina

Tipos

1. Sistemas manuales:

Constan de herramientas manuales y otras ayudas que se suman al operador humano que controla la operación. El operador transmite a sus herramientas y recibe de las mismas una gran cantidad de información, y en base a estas actúa a su propia velocidad [20].

2. Sistemas mecánicos:

También llamados sistemas semiautomáticos, se componen de partes físicas con un buen nivel de integración. Disponen de herramientas mecánicas diseñadas para realizar sus funciones. La energía es proporcionada por la máquina y la labor por el operador. En este caso el operario recibe la información sobre el sistema por medio de visualizadores y realiza un proceso de información visual que sirve para tomar decisiones, las cuales se llevan a cabo empleando aparatos de control [20].

3. Sistemas automáticos:

Realiza todas las funciones operacionales, incluyendo el sentido, el proceso de elaboración de la información y la toma de decisiones y de acciones. Se necesita un sistema programado para actuar en caso de inconvenientes. La mayoría de estos sistemas son del tipo de lazo cerrado. Con estos sistemas las funciones humanas quedan reducidas a la de programación y mantenimiento [20].

Las especificaciones de la interfaz se presentan en la Tabla 13, mientras que la información ergonómica y antropométrica utilizada se resume en las Tablas 14 y 15.

Tabla 13

Aspectos técnicos para la HMI semáforo

Consideraciones técnicas para la interfaz	Bajo	Medio	Alto
Tipo de DIV			X
Importancia			X
Frecuencia de uso		X	
Densidad y características de otros DIVs existentes en el puesto		X	
Carga visual del operario		X	
Lecturas y secuencias.			X
Dimensiones y geometría del puesto de trabajo		X	
Esfuerzo mental		X	
Esfuerzo de trabajo físico	X		
Movilidad del usuario en el puesto		X	
Nivel de atención y concentración de la persona en su tarea			X
Ambientes visual y acústico existentes		X	
Posibles interferencias con los puestos de trabajo vecinos.		X	

3.3.4. Ergonomía del trabajador

Tabla 14

Estado ergonómico de posturas del trabajador

Situación Actual		Situación propuesta	
Posición del brazo: Hombro con una flexión > 90°.	Malo	Posición del brazo: Hombro flexionado a 90º o menos.	Bueno
Posición del antebrazo: Codo flexionado a > 90°.	Malo	Posición del antebrazo: Codo flexionado a > 70°.	Bueno
Posición de la muñeca: Muñeca en una inclinación radial < 20º.	Malo	Posición de la muñeca: Muñeca en una inclinación radial < 20°.	Bueno
Posición del cuello: Cuello flexionado > 20°.	Malo	Posición del cuello: Cuello flexionado < 10°.	Bueno
Posición del tronco: Tronco flexionado a >45º	Malo	Posición del tronco: Tronco flexionado 0°.	Bueno
Posición de las piernas: De pie con peso distribuido en ambas piernas.	Bueno	Posición de las piernas: De pie con peso distribuido en ambas piernas.	Bueno
Posición del brazo: Hombro flexionado a 90º	Bueno	Posición del brazo: Hombro flexionado a 90º	Bueno
Posición del antebrazo: Codo flexionado a 70º	Bueno	Posición del antebrazo: Codo flexionado a 70º	Bueno

Tabla 15

Medidas antropométricas promedio

Trabajador	Estatura	Alcance vertical máximo	Altura muñeca parado
1	169	205	85
2	173	209	87
3	176	213	90
4	182	220	95
5	174	211	88
6	158	198	78
Promedio	172	209	87

Según la tabla de datos obtenidos con trabajadores de una panadería local podemos observar que la diferencia de estatura promedio entre los trabajadores locales y extranjeros es de aproximadamente 15 cm, se obtuvo las medidas antropométricas de 6 trabajadores y en base a estos datos se decidió que la altura de la máquina tendrá una altura promedio de 170 cm, para que el trabajador tenga mayor comodidad a la hora de abastecer la tolva con masa y que su vista se encuentre entre 0° y 40 ° con respecto al panel de control.

3.4. Diseño

En esta parte se desarrolla la solución seleccionada mediante diagrama, cálculos, selección de materiales y análisis estructural. Estos elementos permiten delimitar la configuración de la maquina y verificar que su funcionamiento cumpla con los requerimientos funcionales, de fabricación, seguridad y mantenimiento.

3.4.1. Diseño propuesto de la máquina

Diagramas del sistema propuesto

Con el objeto de enriquecer la funcionalidad del diseño de máquina cortadora de masa se desarrollaron diagramas que permiten conseguir, ordenadamente, la representación de la estructura funcional, la secuencia de operación, la transmisión del movimiento, el sistema eléctrico, los elementos sometidos a análisis mecánico, entre otros. Dichos diagramas permiten relacionar los requerimientos planteados con los componentes elegidos y con los cálculos desarrollados en el análisis estructural.

Los diagramas que se emplean en el diseño cumplen, además, la función de facilitar la comprensión del sistema, dado que ellos ponen de manifiesto la relación entre los principales subconjuntos que constituyen la máquina (alimentación, dosificación, corte, transmisión,

transporte, control y señalización) y favorecen la identificación de los elementos críticos que deberán ser examinados en la validación del diseño.

Los diagramas utilizados durante el diseño se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16

Diagramas considerados para el diseño de la máquina

N.º	Diagrama	Ubicación sugerida	Función dentro del diseño
1	Diagrama funcional de nivel 1	Capítulo II	Representa la función principal de la máquina: procesar masa para obtener porciones uniformes.
2	Diagrama funcional de nivel 2	Capítulo II	Divide la función principal en preparación del sistema, procesamiento de masa y entrega del producto.
3	Diagrama funcional de nivel 3	Capítulo II	Identifica las subfunciones: transmitir energía, controlar proceso, informar estado, almacenar, dosificar, cortar y transportar masa.
4	Diagrama de secuencia de operaciones	Capítulo III	Muestra el orden de funcionamiento desde la inspección inicial hasta la limpieza final.
5	Diagrama de bloques del sistema mecatrónico	Capítulo III	Relaciona los sistemas mecánicos, eléctrico y de control de la máquina.
6	Diagrama del sistema de transmisión	Capítulo III	Representa la transmisión de movimiento desde el motor hacia los ejes mediante poleas y correas.
7	Diagrama de cuerpo libre del eje	Capítulo III	Permite representar las cargas aplicadas sobre el eje para el análisis estático.
8	Diagrama eléctrico de potencia	Capítulo III	Muestra la alimentación del motor, protección general, contactor y relé térmico.
9	Diagrama eléctrico de control	Capítulo III	Muestra los pulsadores, paro de emergencia, enclavamiento del contactor y luces piloto.

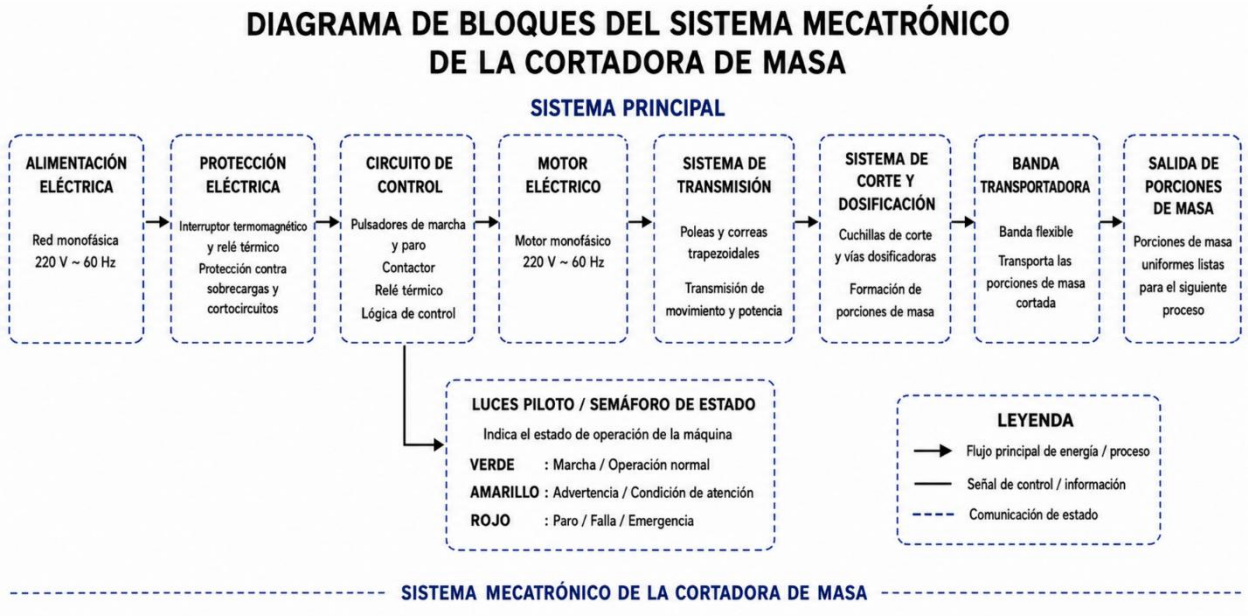
Diagrama de bloques del sistema mecatrónico

El diagrama de bloques del sistema mecatrónico representa cómo se integran los distintos elementos que constituyen la máquina que corta la masa, es decir, los mecánicos, eléctricos y los de control, de forma que el sistema comienza con la llegada de la energía eléctrica, la cual hace funcionar el motor y el circuito de control. El contacto del motor hace que mediante poleas y correas se transmita el movimiento al mecanismo de corte y se realice el movimiento del sistema de transporte. La masa será introducida en la tolva, luego se pasará al sistema de dosificación, cortada con las cuchillas y finalmente conducida mediante la banda transportadora hacia la salida.

La interacción entre subsistemas se muestra en la Figura 9, el flujo de potencia en la Figura 10 y las cargas del eje en la Figura 11.

Figura 9

Diagrama de bloques del sistema mecatrónico de la cortadora de masa



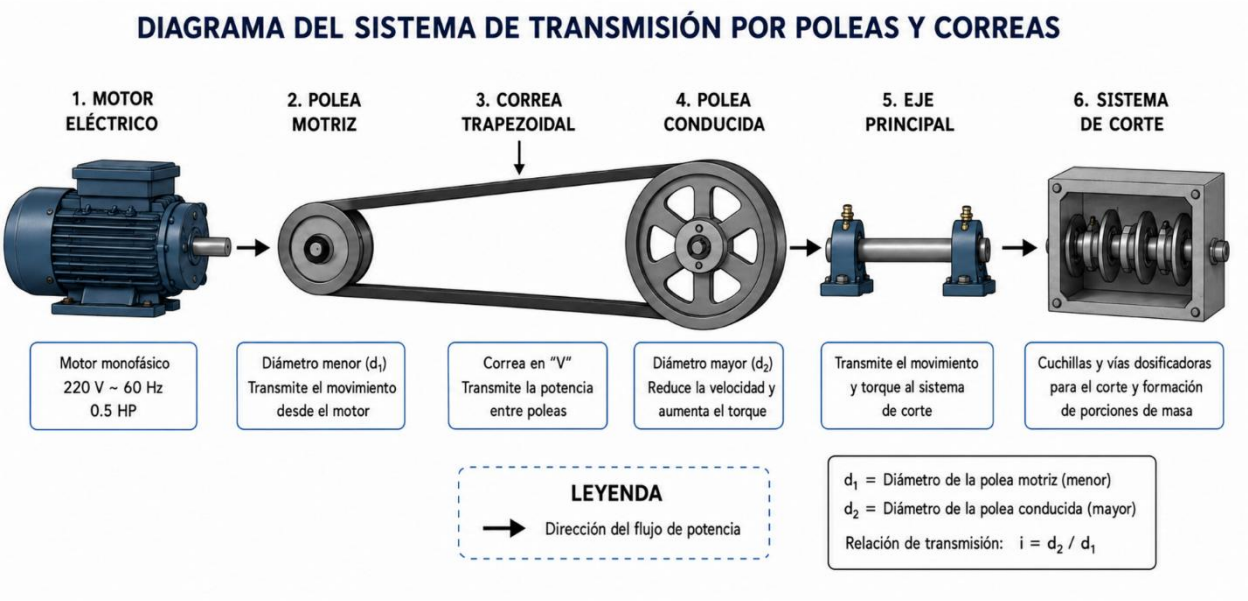
Con este diagrama se puede constatar que la propuesta escogida satisfacía la solicitud inicial de establecer una interconexión adecuada entre aquellos sistemas mecánicos y eléctricos que se estiman necesarios para llevar a cabo un funcionamiento más o menos automático del proceso de corte de masa, presentando una facilidad suficientemente aceptable para el usuario.

Diagrama del sistema de transmisión

El diagrama de la transmisión es una representación de la forma en la que viaja la potencia mecánica desde el motor hasta el eje de trabajo. Para la máquina que se propone utilizar la transmisión por poleas y por correas, ya que es fácil de construir, tiene un mantenimiento relativamente bajo y se encuentra en el mercado local. El sistema de transmisión permite disminuir la velocidad que entrega el motor y aumentarlo al mismo tiempo el torque disponible en el eje de corte.

Figura 10

Diagrama del sistema de transmisión por poleas y correas [16]



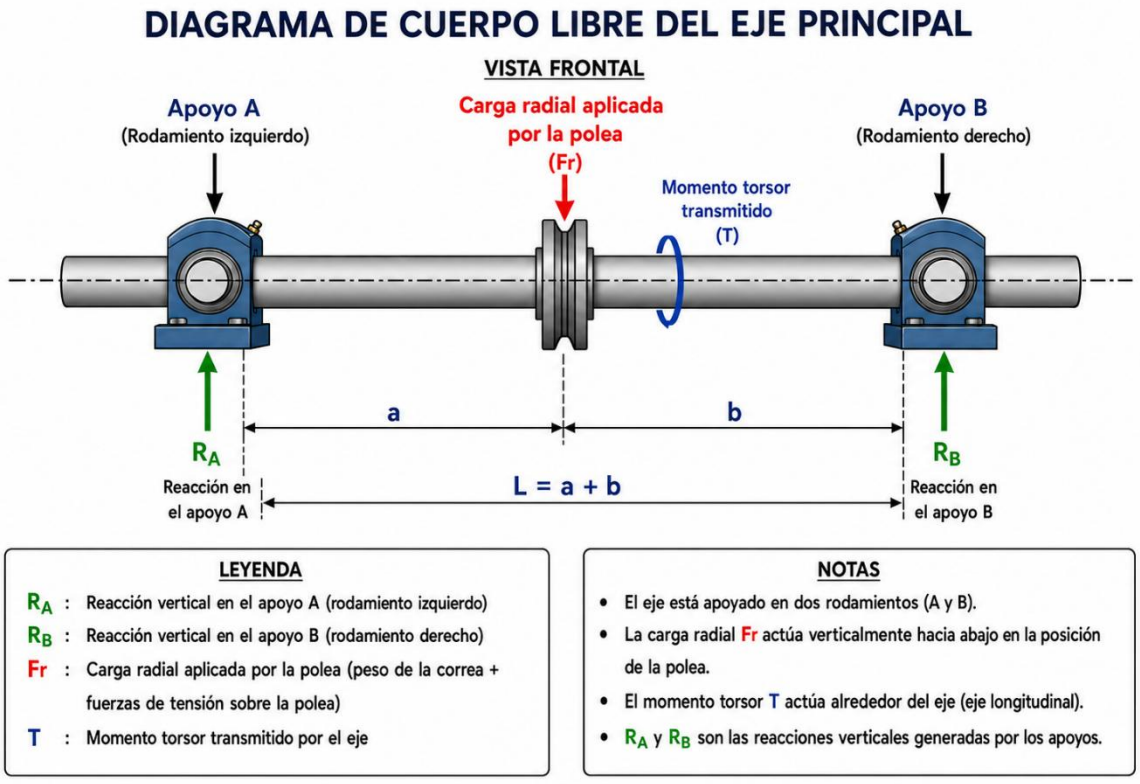
En esta representación se han de identificar las características de los diámetros para las poleas, el sentido del giro, la localización de las correas, la ubicación de los puntos de apoyo donde se encuentren los rodamientos y el eje de salida. Esta representación servirá de base para justificar los cálculos de la relación de transmisión, la del torque, la velocidad de salida y la selección de las correas.

Diagrama de cuerpo libre del eje

Para llevar a cabo el análisis estático del eje principal será necesario un diagrama de cuerpo libre que represente las cargas generadas como consecuencia del sistema de transmisión y las reacciones generadas en los apoyos. Se considera al eje una viga simplemente apoyada en dos rodamientos, actuante por una carga radial producida por la tensión de la correa y un torque transmitido desde el sistema.

Figura 11

Diagrama de cuerpo libre del eje principal [16]



Este diagrama puede ser utilizado para describir las condiciones de carga que forman las reacciones en los apoyos, en el caso, entre otras cosas, del momento flector máximo, el esfuerzo por flexión, el esfuerzo cortante por torsión, el esfuerzo cortante por tracción y se puede calcular el esfuerzo equivalente de Von Mises. De esta forma, podemos relacionar directamente el modelo físico del eje con los cálculos de resistencia mecánica.

Relación entre diagramas y validación del diseño

Los diagramas que constituyen el cuerpo del trabajo permiten, en función de la finalidad y expectativas de prospectiva del ámbito de la máquina, organizar el diseño de la máquina, desde una visión general hasta una visión técnica detallada. El diagrama funcional, por ejemplo, muestra las funciones que debe satisfacer el dispositivo; el diagrama de secuencia describe el orden de

operación; el diagrama de bloques mecatrónico une los sistemas mecánicos, eléctrico y de control; el diagrama de la transmisión es la base de los cálculos de velocidad y torque; el diagrama de cuerpo libre justifica el análisis estructural del eje.

Por así decir, la inclusión de estos diagramas robustece la documentación técnica de la propuesta de diseño y permite demostrar que la solución adoptada fue determinada no solo de acuerdo con criterios funcionales, sino que también fue representada y validada mediante los esquemas de la ingeniería.

3.4.2. Selección de materiales

La selección de materiales para una máquina cortadora de masa se llevó a cabo considerando los requerimientos funcionales, las condiciones de trabajo, la disponibilidad en el mercado nacional, la facilidad de fabricación, el coste y la higiene exigible a equipos en contacto con productos alimentarios. Puesto que la máquina está destinada a pequeñas panaderías, se priorizaron materiales resistentes, fáciles de limpiar, de alta disponibilidad en el mercado local y compatibles con los procesos de manufactura más utilizados.

Los componentes que estén en contacto con la masa deben fabricarse con materiales resistentes a la corrosión y fáciles de limpiar, dado lo que podemos observar en [21], se optó por el acero inoxidable AISI 304 para la tolva, las cuchillas, la rampa, las cubiertas internas, etc., todas ellas en contacto con el producto. El acero inoxidable del tipo AISI 304 es apto para el uso en alimentación, pues presenta buena resistencia a la humedad, facilidad de limpieza y una buena superficie que minimiza la acumulación de restos de alimentos.

Para los soportes de la máquina y para la estructura principal de la misma, se emplearon perfiles estructurales metálicos, ya que este tipo de elementos es el adecuado para soportar el peso

de las tolvas, la masa almacenada, el sistema de corte, el motor y la transmisión. Además, el uso de perfiles estructurales permite conseguir una fabricación simple mediante corte, soldadura y perforación, tareas que son fáciles de llevar a cabo en talleres de la región.

Los ejes se han considerado atendiendo a su función de transmisión de movimiento y a su función de soporte de elementos rotativos. Para el eje principal se emplea acero inoxidable AISI 304, pues presenta una resistencia mecánica suficiente para las cargas calculadas, y mantiene compatibilidad con el ambiente de trabajo de una panadería. En ejes que no están en contacto directo con la masa también puede utilizarse acero comercial mecanizable, subsidiando el correcto alineamiento y la protección superficial.

Los elementos normalizados como rodamientos, poleas, correas, motor, ruedas, pernos y tuercas se han elegido basándose en la disponibilidad en el mercado, la compatibilidad dimensional y la facilidad de repuestos. Esta elección nos permitirá ahorrar tiempos de mantenimiento y tener la posibilidad de poder reparar o ajustar la máquina sin recurrir a la utilización de componentes especiales.

Los materiales seleccionados para cada componente y sus criterios de selección se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17
Selección de materiales por componente

Componente	Material seleccionado	Especificación referencial	Criterio de selección
Tolva de alimentación	Acero inoxidable AISI 304	Plancha de 1 a 2 mm, según plano final	Contacto directo con masa, higiene, resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza.
Cuchillas de corte	Acero inoxidable AISI 304	Placa o plancha según diseño	Contacto directo con masa, resistencia al desgaste moderado y facilidad de limpieza.
Cuchillas divisoras	Acero inoxidable AISI 304	Placa cortada y mecanizada	Permite dividir la masa en porciones uniformes sin contaminar el producto.

Componente	Material seleccionado	Especificación referencial	Criterio de selección
Caja de corte	Acero inoxidable AISI 304	Plancha de mayor espesor según plano	Requiere rigidez, alineación del mecanismo y resistencia al contacto con masa.
Rampa de salida	Acero inoxidable AISI 304	Plancha de 2 mm	Contacto con producto, superficie lisa y facilidad de limpieza.
Cubiertas laterales y superiores	Acero inoxidable AISI 304	Plancha de 1 a 2 mm	Protección de partes móviles, limpieza y mejora estética del equipo.
Eje principal de transmisión	Acero inoxidable AISI 304	Barra redonda mecanizada	Resistencia a flexión y torsión, compatibilidad con rodamientos y resistencia a la corrosión.
Ejes secundarios	Acero inoxidable AISI 304 o acero comercial protegido	Barra redonda mecanizada	Soporte de poleas, rodillos o cuchillas; selección según contacto con producto y carga aplicada.
Estructura principal	Tubo estructural cuadrado o perfil estructural	Acero SAE J 403 1008 o equivalente	Soporte del conjunto, facilidad de soldadura, fabricación local y costo accesible.
Soportes de poleas y levas	Perfil UPN o plancha estructural	UPN 80 o equivalente	Rigidez para mantener alineación de elementos rotativos.
Banda transportadora	Material grado alimenticio	Banda flexible para transporte de alimentos	Transporte de porciones de masa, limpieza y baja adherencia.
Poleas	Fundición comercial GG25 o equivalente	Poleas trapezoidales en V de un canal, perfil SPZ/Z. Polea pequeña TB-SPZ 60X1-1008 o equivalente; polea grande TB-SPZ 200X1-2012 o equivalente	Transmisión de movimiento, disponibilidad comercial, compatibilidad con correas perfil Z/SPZ y facilidad de reemplazo.
Correas	Caucho reforzado	Correa trapezoidal en V perfil Z/SPZ, longitud comercial aproximada de 48 pulgadas.	Transmisión de potencia, absorción de vibraciones, bajo mantenimiento y compatibilidad con poleas seleccionadas.
Rodamientos	Acero para rodamientos	SKF 7205 ACCBM o equivalente, según diámetro final del eje	Soporte de cargas radiales, giro estable y disponibilidad comercial.
Motor eléctrico	Carcasa metálica industrial	Monofásico, 220 V, 60 Hz, potencia según cálculo final	Accionamiento del sistema de transmisión y corte.
Ruedas con seguro	Rueda industrial con freno	Capacidad según peso de la máquina	Permite movilidad y fijación durante la operación.
Pernos y tuercas	Acero inoxidable	M5, M6, M8 o según plano	Ensamble desmontable, mantenimiento y facilidad de reemplazo.
Gabinete eléctrico	Plástico industrial o metálico	Según dimensiones del circuito	Protección de componentes eléctricos de mando y potencia.

Justificación de los materiales seleccionados

Los elementos en contacto con la masa fueron construidos en acero inoxidable AISI 304, principalmente por su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y uso habitual en maquinarias para procesado de alimentos. Este tipo de material se utiliza en la construcción de la

tolva, cuchillas, rampa y tapas, evitando de esta manera llevar seriamente alteradas las condiciones higiénicas de la máquina a lo largo de su funcionamiento.

Para la construcción de la estructura principal se optó por tubo estructural o perfil metálico por ser de fácil obtención, bajo coste y de sencilla manufactura; este tipo de material soporta la masa que se acumula en la tolva, el peso de los mecanismos y las cargas dinámicas generadas por el motor y la transmisión además admite ser cortado, soldado o perforado con las herramientas que hay en los talleres que los construyen.

Las poleas y las correas fueron los elementos de transmisión escogidos pues permiten reducir las revoluciones del motor y aumentar el par del sistema de corte. Esta opción de transmisión además de ser más fácil de mantener que la transmisión por engranajes reduce las vibraciones y admite el cambio de los elementos montados con mayor facilidad.

Los rodamientos fueron seleccionados considerando el diámetro del eje, la velocidad de operación y la carga radial que proporciona la transmisión, con función de permitir el giro del eje con la menor fricción posible, y de mantener la correcta alineación del sistema durante la operación. La selección definitiva que se implementará en la máquina debe ser coherente con el diámetro del eje que se ha calculado del diseño y con el correspondiente a los planos mecánicos.

Los elementos de unión (pernos, tuercas, etc.) se entienden como desmontables. Eso permite un mantenimiento sencillo y accesible, una limpieza efectiva, y un intercambio de piezas sencillo y directo. En zonas expuestas a la humedad, o zonas de contacto con el propio producto, se recomienda que se utilice acero inoxidable. En zonas estructurales y externas a ésta, puede utilizarse acero galvanizado, siempre que no exista contacto con la masa.

Los materiales seleccionados, en global, permiten que la máquina obtenida sea una máquina resistente, higiénica, fabricable en el entorno local, y adecuada para pequeñas panaderías. La combinación de acero inoxidable en zonas de contacto con alimento, de perfiles estructurales en la base, de elementos comerciales en el sistema de transmisión y de un sistema eléctrico básico permite equilibrar coste, funcionalidad, seguridad, y mantenimiento.

3.4.3. Análisis estructural

El análisis estructural se hace con base a las fórmulas de [1], [22], [23] y datos de la harina y materiales locales.

Cálculo de la tolva de alimentación

Para el dimensionamiento de la tolva de alimentación se considera una capacidad de almacenamiento de 40 kg de masa panadera, de acuerdo con los requerimientos de diseño establecidos para la máquina cortadora de masa. Debido a que la tolva no debe llenarse completamente hasta el borde, se considera un factor de llenado para garantizar un margen de seguridad durante la operación.

El volumen útil requerido se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Vu = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

V_u = volumen útil requerido, en m³.

m = masa máxima almacenada en la tolva, en kg.

ρ = densidad aproximada de la masa panadera, en kg/m³.

f = factor de llenado de la tolva, adimensional.

V_t = volumen geométrico mínimo de diseño, en m³.

$$m = 40\ kg$$

$$\rho = 1150\ kg/m^3$$

$$f = 0{,}85$$

$$Vu = \frac{40}{1150}$$

$$Vu = 0{,}0348\ m^3$$

$$Vu = 34{,}8\ L$$

Debido a que la tolva no debe llenarse al 100 % de su capacidad geométrica, se calcula el volumen mínimo de diseño considerando el factor de llenado:

$$Vt = \frac{Vu}{f}$$

$$Vt = \frac{0{,}0348}{0{,}85}$$

$$Vt = 0{,}0409\ m^3$$

$$Vt = 40{,}9\ L$$

$$Vt \approx 41\ L$$

Dimensiones

Con base en el volumen mínimo calculado para la tolva, se propone una geometría tipo tronco de pirámide rectangular, debido a que esta forma facilita el ingreso de la masa por la parte superior y permite dirigirla hacia la zona de corte en la parte inferior.

El volumen mínimo requerido para almacenar 40 kg de masa panadera es:

$$Vt = 0{,}0409\, m^3$$

Para el diseño se proponen las siguientes dimensiones internas aproximadas:

Abertura superior:

$$L1 = 500\, mm = 0{,}50\, m$$

$$B1 = 500\, mm = 0{,}50\, m$$

Abertura inferior:

$$L2 = 180\, mm = 0{,}18\, m$$

$$B2 = 180\, mm = 0{,}18\, m$$

Altura de la tolva:

$$h = 450\, mm = 0{,}45\, m$$

El área de la abertura superior se calcula mediante:

$$A1 = L1 \times B1$$

$$A1 = 0{,}50 \times 0{,}50$$

$$A1 = 0{,}25\, m^2$$

El área de la abertura inferior se calcula mediante:

$$A2 = L2 \times B2$$

$$A2 = 0{,}18 \times 0{,}18$$

$$A2 = 0{,}0324\, m^2$$

Para una tolva con forma de tronco de pirámide rectangular, el volumen se calcula mediante:

$$V = h / 3 \times (A1 + A2 + \sqrt{(A1 \times A2)})$$

Sustituyendo los valores:

$$V = 0{,}45 / 3 \times (0{,}25 + 0{,}0324 + \sqrt{(0{,}25 \times 0{,}0324)})$$

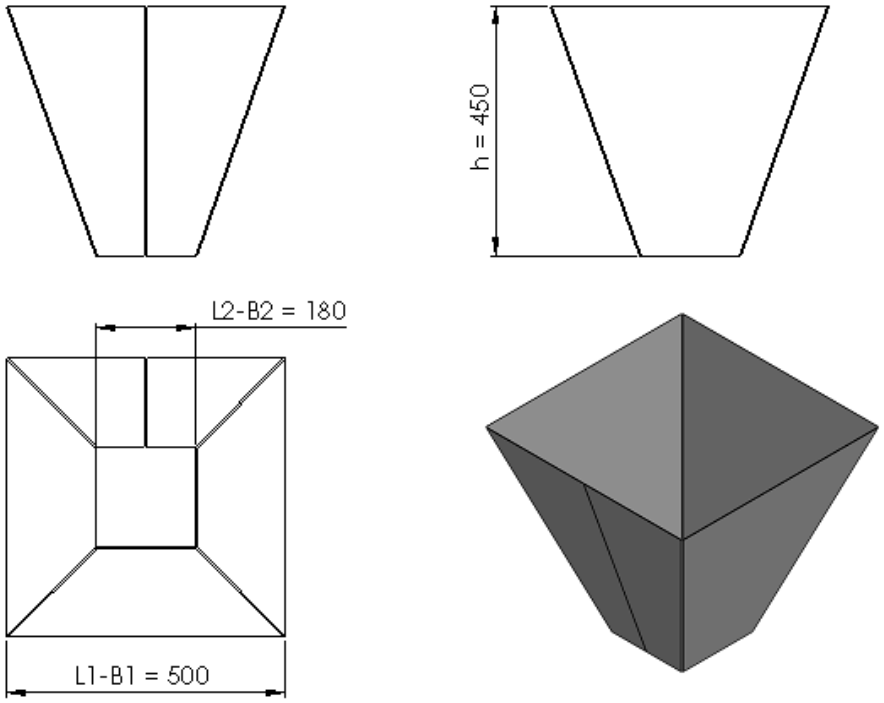
$$V = 0{,}15 \times (0{,}25 + 0{,}0324 + 0{,}09)$$

$$V = 0{,}15 \times 0{,}3724$$

$$V = 0{,}0558\, m^3$$

$$V = 55{,}8\, L$$

Figura 12
Dimensiones de la tolva.



Cálculo de potencia requerida

Para el accionamiento del sistema de corte y transmisión se considera un motor monofásico de 220 V, 60 Hz y 0,75 HP. Para los cálculos mecánicos se transforma la potencia del motor a kW.

Fórmulas para el cálculo de la potencia de arranque

$$P = \frac{Mt * 2 * \pi * n}{750 * 6}$$

$$I = \sum m * r^2$$

$$\alpha = \frac{w}{t}$$

$$Mt = I * \alpha$$

$$Mtr = \frac{Mt}{i * n_{mec}}$$

Datos:

Potencia del motor:

$$P = 0{,}75\ HP$$

Equivalencia:

$$1\ HP = 0{,}746\ kW$$

Entonces:

$$P = 0{,}75 \times 0{,}746$$

$$P = 0{,}5595\ kW$$

Velocidad nominal del motor:

$$nm = 1750\ rpm$$

Para tener en cuenta las pérdidas por fricción, la resistencia variable de la masa durante el corte, la transmisión por poleas y el funcionamiento intermitente, se aplica un factor de servicio:

$$Fs: 1{,}5$$

El resultado señala que, bajo una condición conservadora, la potencia recomendada estaría cercana a 0,75 HP. Sin embargo, ya que la máquina está orientada a una producción de pequeña escala y el corte de masa no representa una carga rígida como sucede en materiales metálicos, se puede mantener el motor de 0,75 HP siempre que el sistema trabaje de forma intermitente y se verifique que no exista sobrecarga durante la simulación o pruebas de funcionamiento.

Por cuestión de disponibilidad comercial y margen de funcionamiento, se sugiere considerar un motor de 0,75 HP para caso de operación continua o aumento de capacidad productiva.

Cálculo del torque del motor

El torque entregado por el motor se calcula mediante la ecuación:

$$Tm = (9550 \times P) / nm$$

Donde:

Tm = torque del motor, en N·m

P = potencia del motor, en kW

nm = velocidad nominal del motor, en rpm

$$Tm = (9550 \times 0{,}56) / 1750$$

$$Tm = 2{,}54\ N \cdot m$$

Por lo tanto, el torque nominal aproximado entregado por el motor es:

$$Tm = 2{,}54\ N \cdot m$$

Este valor corresponde al par disponible en el eje motor, antes de la reducción que produce el sistema de poleas y correas.

Cálculo de la relación de transmisión

El objetivo del sistema de transmisión es disminuir la velocidad del motor y elevar el torque disponible en el eje de corte. Para ello se utiliza un sistema de poleas y correas.

La relación de transmisión total se determina mediante:

$$it = nm / ns$$

Donde:

it = relación de transmisión total

nm = velocidad del motor

ns = velocidad requerida en el eje de salida

Considerando una velocidad inicial y final aproximada de:

$$nm = 1750\ rpm$$

$$ns = 50\ rpm$$

Se obtiene:

$$it = 1750 / 50$$

$$it = 35$$

Por lo tanto, se requiere una relación total de transmisión aproximada de 35:1.

Si se emplean tres etapas de reducción, la relación por etapa será:

$$ie = \sqrt[3]{35}$$

$$ie = 3{,}27$$

La relación de transmisión por poleas se calcula mediante:

$$ie = D / d$$

Donde:

D = diámetro de la polea mayor

d = diámetro de la polea menor

Considerando una polea menor de:

$$d = 60\,mm$$

El diámetro de la polea mayor requerido será:

$$D = ie \times d$$

$$D = 3{,}27 \times 60$$

$$D = 196\,mm$$

Por consiguiente, se recomienda utilizar poleas mayores de aproximadamente 196 mm y poleas menores de 60 mm para obtener una velocidad de salida aproximada de 50 rpm con tres etapas de reducción.

La relación real por etapa será:

$$i = \frac{200}{60} = 3{,}33$$

La relación total real será:

$$it = 3{,}33^3 = 37{,}04$$

La velocidad real aproximada del eje será:

$$ns = 1750 / 37{,}04$$

$$ns = 47.25\, rpm$$

Este valor es cercano a la velocidad de diseño de 50 rpm, por lo que la selección de poleas se considera adecuada para el sistema de corte.

Cálculo de longitud de correa

La longitud aproximada de una correa abierta se calcula mediante:

$$L = 2C + (\pi/2)(D + d) + ((D - d)^2 / 4C)$$

Donde:

L = longitud de la correa

C = distancia entre centros

D = diámetro de polea mayor

d = diámetro de polea menor

Considerando:

$$D = 200\, mm$$

$$d = 60\, mm$$

$$C = 400\, mm$$

Se tiene:

$$L = 2(400) + (\pi/2)(200 + 60) + ((200 - 60)^2 / 4(400))$$

$$L = 800 + 408{,}4 + 12{,}26 = 1220{,}66\, mm$$

$$L \approx 1221$$

Transformando a pulgadas:

$$L = 1221 / 25{,}4$$

$$L = 48{,}07\, pulgadas$$

Por lo tanto, para una distancia entre centros de 400 mm, la correa comercial más cercana debe ser aproximadamente de 48 pulgadas.

Cálculo del torque en el eje de salida

La potencia transmitida al eje de salida se calcula considerando el rendimiento mecánico del sistema de transmisión. Para poleas, correas y rodamientos se considera un rendimiento aproximado de:

$$\eta = 0{,}85$$

La potencia útil transmitida será:

$$Ps = P \times \eta$$

$$Ps = 0{,}56 \times 0{,}85$$

$$Ps = 0{,}317\, kW$$

El torque en el eje de salida se calcula mediante:

$$Ts = (9550 \times Ps) / ns$$

$$Ts = (9550 \times 0{,}317) / 56$$

$$Ts = 54{,}05\ N \cdot m$$

Por lo tanto, el torque aproximado disponible en el eje de salida es:

$$Ts \approx 54\ N \cdot m$$

Este torque es mayor que el torque inicial del motor debido a la reducción de velocidad producida por el sistema de transmisión.

Verificación del eje por torsión

Para verificar el eje principal por torsión se utiliza la siguiente ecuación:

$$\tau = 16T / \pi d^3$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante por torsión

T = torque transmitido

d = diámetro del eje

Primero se verifica un eje de 15 mm, debido a que este diámetro aparece en el diseño de algunos ejes del sistema.

Datos:

$$T = 54{,}05\ N \cdot m$$

$$d = 15\ mm = 0{,}015\ m$$

$$\tau = 16(54{,}05) / \pi(0{,}015)^3$$

$$\tau = 81{,}56\ MPa$$

El esfuerzo cortante obtenido para un eje de 15 mm es elevado para un sistema sometido a cargas variables, vibración y operación repetitiva.

Por esta razón, se verifica un eje de 25 mm:

$$d = 25\,mm = 0{,}025\,m$$

$$\tau = 16(54{,}05) / \pi(0{,}025)^3$$

$$\tau = 17{,}61\,MPa$$

Con el eje de 25 mm el esfuerzo cortante disminuye considerablemente, por lo que se recomienda seleccionar un eje principal de transmisión de 25 mm de diámetro.

Selección del diámetro del eje

Comparando los resultados obtenidos:

Para d = 15 mm:

$$\tau = 81{,}56\,MPa$$

Para d = 25 mm:

$$\tau = 17{,}61\,MPa$$

Se selecciona un diámetro de eje de:

$$d = 25\,mm$$

La selección de un eje de 25 mm permite reducir el esfuerzo cortante, aumentar la rigidez del sistema y mejorar el comportamiento frente a cargas variables durante el proceso de corte de masa.

En los ejes secundarios que no transmiten el torque principal puede mantenerse un diámetro menor, siempre que su función sea únicamente de soporte o guía. Sin embargo, el eje principal de transmisión y el eje sometido al corte deben verificarse con el diámetro recomendado.

Selección de rodamientos

Para la selección de rodamientos se considera la carga radial obtenida del análisis estático del sistema.

Datos:

Carga radial:

$$Fr = 0{,}393\ kN$$

Carga axial:

$$Fa = 0\ kN$$

Velocidad de trabajo:

$$n = 56\ rpm$$

Vida útil requerida del rodamiento:

$$5\ años$$

Considerando una operación de 8 horas diarias durante 250 días al año:

$$L10h = 5 \times 250 \times 8$$

$$L10h = 10000\ h$$

Al no existir carga axial significativa, la carga dinámica equivalente se considera igual a la carga radial:

$$P = Fr$$

$$P = 0{,}393\ kN$$

La capacidad dinámica requerida se calcula mediante:

$$C = P\ [(60nL10h) / 10^6]\text{^}(1/3)$$

$$C = 0{,}393\ [(60 \times 56 \times 10000) / 10^6]\text{^}(1/3)$$

$$C = 0{,}393\ [33{,}6]\text{^}(1/3)$$

$$C = 0{,}393 \times 3{,}23$$

$$C = 1{,}27\ kN$$

Por lo tanto, el rodamiento seleccionado debe tener una capacidad dinámica mayor a:

$$C \geq 1{,}27\ kN$$

Siguiendo el proceso que nos presenta SKF en [24] para la selección de rodamientos, se escogió el rodamiento de, ya que cumple con todas las condiciones presentadas para el diseño de la máquina es el rodamiento SKF 7205 ACCBM.

Análisis estático del eje

En el análisis estático del eje principal se considera al eje como una viga con apoyos simples en dos rodamientos. En el diseño final, el eje es accionado desde el motor mediante un sistema de poleas y correas, y mueve una leva que tiene la función de producir el movimiento

alternativo de las cuchillas de corte. Por tal motivo el análisis considera la carga radial producida por la polea, la fuerza de corte transmitida por la leva y el momento torsor aplicado al eje.

Datos considerados:

$$P = 0{,}75\ HP$$

$$nm = 1750\ rpm$$

$$ns = 50\ rpm$$

$$d = 25\ mm$$

$$L = 460\ mm$$

$$ap = 34\ mm$$

$$al = 220\ mm$$

$$rleva = 67{,}28\ mm$$

$$Fc = 80\ N$$

Donde:

P = potencia del motor.

nm = velocidad nominal del motor.

ns = velocidad del eje de leva.

d = diámetro del eje.

L = distancia entre rodamientos.

ap = distancia desde el rodamiento A hasta la polea.

al = distancia desde el rodamiento A hasta la leva.

rleva = brazo efectivo de la leva.

Fc = fuerza necesaria para el corte de la masa.

Conversión de potencia

La potencia del motor se convierte a kilovatios:

$$P = 0{,}75 \times 0{,}746$$

$$P = 0{,}5595\ kW$$

Relación de transmisión

La relación de transmisión necesaria se calcula mediante:

$$i = nm / ns$$

$$i = 1750 / 50$$

$$i = 35$$

Por lo tanto, el sistema de transmisión debe reducir la velocidad del motor con una relación aproximada de 35:1.

Para evitar el uso de poleas de diámetro excesivo, se considera una reducción en tres etapas. La relación por etapa se obtiene mediante:

$$ie = \sqrt[3]{35}$$

$$ie = 3{,}27$$

Considerando una polea menor comercial de 60 mm, el diámetro aproximado de la polea mayor por etapa será:

$$Dp = ie \times dp$$

$$Dp = 3{,}27 \times 60$$

$$Dp = 196{,}26\ mm$$

Por disponibilidad comercial y facilidad de fabricación, se selecciona una polea mayor aproximada de 196 mm.

Con poleas de 60 mm y 196 mm en tres etapas, la relación real será:

$$ireal = (196/60)^3$$

$$ireal = 34{,}86$$

La velocidad real aproximada del eje será:

$$nreal = 1750/34{,}86$$

$$nreal = 50{,}20\ rpm$$

Este valor es cercano a la velocidad de diseño de 50 rpm, por lo que la selección de poleas se considera aceptable.

Torque transmitido al eje

Para el cálculo del torque disponible en el eje se considera un aproximado rendimiento mecánico del sistema de transmisión:

$$\eta = 0{,}85$$

El torque en el eje se calcula mediante:

$$T = (9550 \times P \times \eta) / ns$$

$$T = (9550 \times 0{,}5595 \times 0{,}85)/50$$

$$T = 90{,}83\ N \cdot m$$

Transformando a N·mm:

$$T = 90830\ N \cdot mm$$

Verificación de fuerza en la leva

La fuerza máxima disponible en la leva se determina a partir del torque transmitido y el brazo efectivo de la leva:

$$Fleva\ disponible\ =\ T\ /\ rleva$$

$$Fleva\ disponible\ =\ 90834{,}83\ /\ 67{,}28$$

$$Fleva\ disponible\ =\ 1350{,}10\ N$$

La fuerza requerida para cortar la masa es:

$$Fc\ =\ 80\ N$$

Por lo tanto:

$$1350{,}10\ N\ >\ 80\ N$$

Esto indica que el torque disponible en el eje es suficiente para accionar la leva y realizar el corte de la masa.

Para el análisis estructural del eje se considera como carga aplicada por la leva la fuerza de corte:

$$Fleva\ =\ Fc$$

$$Fleva\ =\ 80\ N$$

Carga radial generada por la polea

La polea conducida seleccionada para el eje tiene un diámetro aproximado de 196 mm. Por lo tanto, su radio es:

$$rp = 196 / 2$$

$$rp = 98\,mm$$

La fuerza tangencial transmitida por la polea se calcula mediante:

$$Ft = T / rp$$

$$Ft = 90834{,}83 / 98$$

$$Ft = 926{,}89\,N$$

Debido a que en una transmisión por correa existe una tensión en el lado tenso y otra en el lado flojo, se considera un factor de carga radial aproximado:

$$K = 1{,}5$$

La carga radial aplicada por la polea sobre el eje será:

$$Fp = K \times Ft$$

$$Fp = 1{,}5 \times 926{,}89$$

$$Fp = 1390{,}34\,N$$

Por lo tanto, las cargas consideradas sobre el eje son:

$$Fp = 1390{,}34\,N$$

$$Fleva = 80\,N$$

Cálculo de reacciones en los rodamientos

El eje se define como una viga simplemente apoyada sobre dos cojinetes. La carga radial de la polea actúa a una distancia ap desde el apoyo A, mientras que la carga de la leva actúa a una

distancia al. Para el análisis se considera que ambas cargas actúan en el mismo plano vertical y en el sentido más desfavorable.

Tomando momentos respecto al apoyo A:

$$RB \times L = Fp \times ap + Fleva \times al$$

$$RB = (Fp \times ap + Fleva \times al) / L$$

$$RB = [(1866{,}47 \times 34) + (80 \times 220)] / 460$$

$$RB = (63459{,}98 + 17600) / 460$$

$$RB = 176{,}22\ N$$

Aplicando equilibrio de fuerzas verticales:

$$RA + RB = Fp + Fleva$$

$$RA = Fp + Fleva - RB$$

$$RA = 1866{,}47 + 80 - 176{,}22$$

$$RA = 1770{,}25\ N$$

Por lo tanto, las reacciones en los rodamientos son:

$$RA = 1770{,}25\ N$$

$$RB = 176{,}22\ N$$

Cálculo del momento flector máximo

El momento flector se evalúa en los puntos donde actúan las cargas principales.

Momento en la zona de la polea:

$$Mp = RA \times ap$$

$$Mp = 1770{,}25 \times 34$$

$$Mp = 60188{,}56\ N \cdot mm$$

Momento en la zona de la leva:

$$Ml = RA \times al - Fp \times (al - ap)$$

$$Ml = 1770{,}25 \times 220 - 1866{,}47 \times (220 - 34)$$

$$Ml = 389455{,}38 - 347163{,}23$$

$$Ml = 42292{,}15\ N \cdot mm$$

El momento flector máximo corresponde al mayor valor obtenido:

$$Mmax = 60188{,}56\ N \cdot mm$$

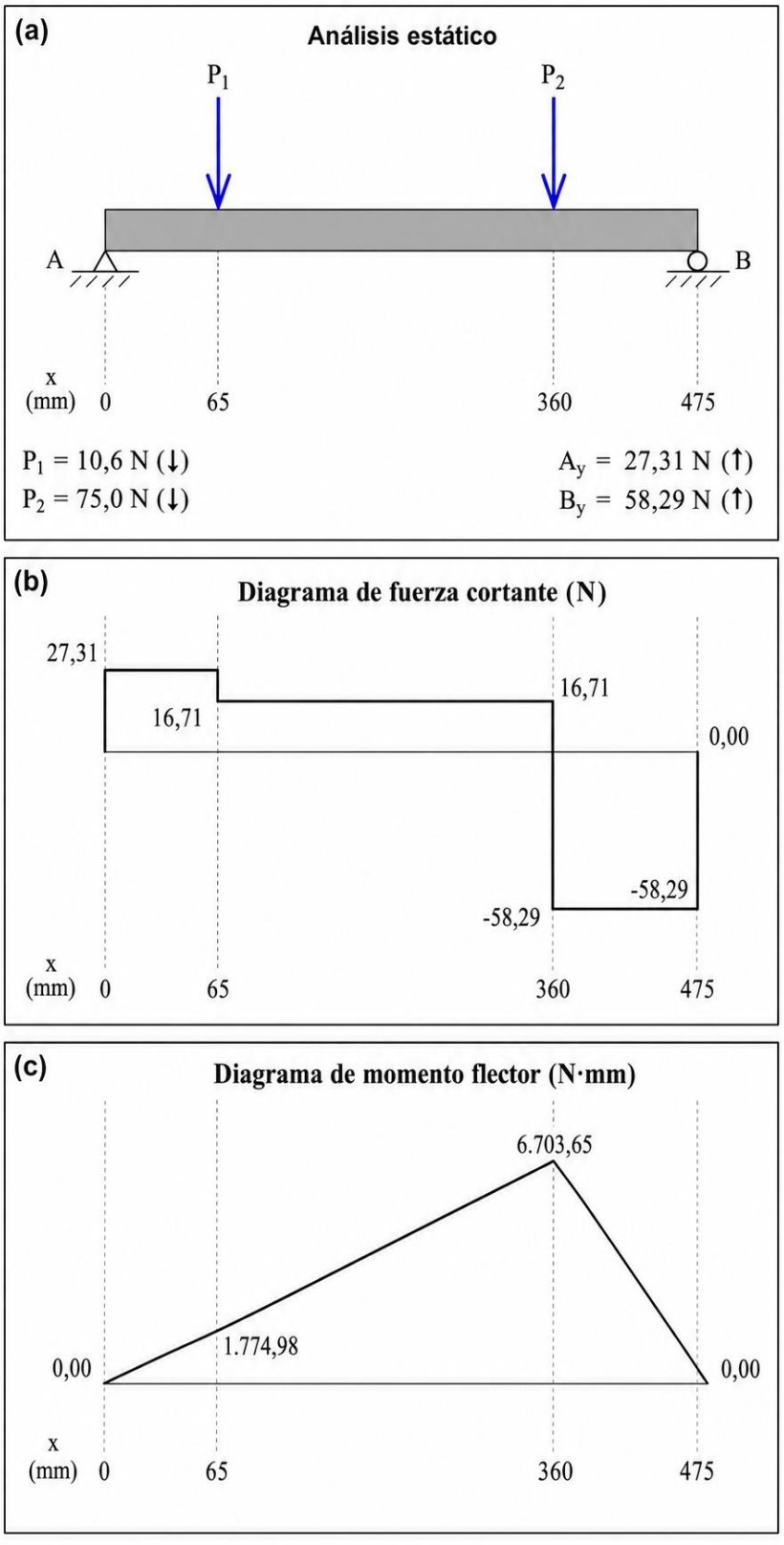
$$Mmax = 60{,}19\ N \cdot m$$

Verificación mediante MDsolids 4.1

Para comprobar los resultados obtenidos mediante el cálculo analítico, se realizó el análisis estático del eje en el software MDsolids 4.1. Para esto como se puede observar en la Figura 13, se introdujo el modelo del eje como una viga apoyada simplemente en dos rodamientos, tomando en cuenta la carga radial producida por la polea y la fuerza transmitida por la leva. El programa permitió obtener las reacciones en los apoyos y el diagrama de momento flector, los cuales se comparan con los valores calculados manualmente:

Figura 13

Resultados obtenidos en el software MDsolids 4.1.



Resultados del análisis estático del eje en MDsolids 4.1: (a) diagrama de cargas y reacciones, (b) diagrama de fuerza cortante y (c) diagrama de momento flector, muestran un comportamiento coherente con el análisis manual, pues las reacciones en los apoyos y el momento flector máximo aparecen en las zonas donde actúan las cargas principales del eje. Por lo tanto, el valor de momento flector máximo encontrado se emplea para el cálculo del esfuerzo normal por flexión y luego el esfuerzo equivalente de Von Mises.

Esfuerzo normal por flexión

El esfuerzo normal por flexión se calcula mediante:

$$\sigma = (32 \times Mmax) / (\pi \times d^3)$$

$$\sigma = (32 \times 60188{,}56) / (\pi \times 25^3)$$

$$\sigma = 39{,}24\ MPa$$

Esfuerzo cortante por torsión

El esfuerzo cortante por torsión se calcula mediante:

$$\tau = (16 \times T) / (\pi \times d^3)$$

$$\tau = (16 \times 90834{,}83) / (\pi \times 25^3)$$

$$\tau = 29{,}61\ MPa$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

Para combinar el efecto de flexión y torsión se utiliza el criterio de Von Mises:

$$\sigma VM = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$$

$$\sigma VM = \sqrt{(39{,}24^2 + 3 \times 29{,}61^2)}$$

$$\sigma VM = 64{,}57\ MPa$$

Considerando acero inoxidable AISI 304 para el eje, con un límite de fluencia aproximado de:

$$Sy = 215\ MPa$$

El factor de seguridad estático se calcula mediante:

$$FS = Sy / \sigma VM$$

$$FS = 215 / 64{,}57$$

$$FS = 3{,}33$$

Por lo tanto, el eje de 25 mm cumple bajo condición estática, ya que el esfuerzo equivalente de Von Mises es menor que el límite de fluencia del material y el factor de seguridad obtenido es mayor que 1.

Verificación de rodamientos

Para la verificación de los rodamientos se considera la reacción máxima obtenida en el análisis estático. La mayor reacción se presenta en el apoyo A:

$$RA = 1770{,}25\ N$$

$$RA = 1{,}770\ kN$$

Por lo tanto, la carga radial considerada para la selección del rodamiento es:

$$Fr = 1{,}770\ kN$$

Al no existir una carga axial significativa en el análisis simplificado del eje, se considera:

$$Fa = 0\ kN$$

La carga dinámica equivalente se aproxima como:

$$P = Fr$$

$$P = 1{,}770\ kN$$

Considerando una velocidad de trabajo de:

$$n = 50\ rpm$$

Y una vida útil estimada del rodamiento de 5 años, con una operación de 8 horas diarias durante 250 días al año:

$$Lh = 5 \times 8 \times 250$$

$$Lh = 10000\ h$$

La vida en millones de revoluciones se calcula mediante:

$$L10 = (60 \times n \times Lh) / 1000000$$

$$L10 = (60 \times 50 \times 10000) / 1000000$$

$$L10 = 30\ millones\ de\ revoluciones$$

Para rodamientos de bolas se utiliza:

$$C = P \times (L10)\text{^}(1/3)$$

$$C = 1{,}770 \times (30)\text{^}(1/3)$$

$$C = 5{,}50\ kN$$

Por lo tanto, el rodamiento seleccionado debe tener una capacidad dinámica mayor a:

$$C >= 5{,}50\ kN$$

El rodamiento SKF 7205 ACCBM seleccionado para el diseño cumple con el diámetro interior requerido de 25 mm y permite soportar la carga radial calculada para el eje principal.

Análisis por fatiga del eje

El análisis por fatiga se lleva a cabo suponiendo que, durante el funcionamiento de la máquina, el eje está sometido a flexión rotativa y a torsión. La flexión se considera como esfuerzo alternante por el giro del eje, mientras que la torsión se considera como esfuerzo medio, ya que el torque actúa durante la operación del sistema.

Datos considerados:

$$Mmax = 45196{,}36\ N \cdot mm$$

$$T = 90834{,}83\ N \cdot mm$$

$$d = 25\ mm$$

$$Sut = 505\ MPa$$

$$Sy = 215\ MPa$$

Donde:

Mmax = Momento flector máximo

T = Torque transmitido

d = Diámetro del eje

Sut = Resistencia última aproximada

Sy = Límite de fluencia aproximado

El esfuerzo normal por flexión obtenido es:

$$\sigma = 39{,}24\ MPa$$

El esfuerzo cortante por torsión obtenido es:

$$\tau = 29{,}61\ MPa$$

Debido a que el eje se encuentra girando, el esfuerzo por flexión se considera alternante:

$$\sigma a = 39{,}24\ MPa$$

$$\sigma m = 0\ MPa$$

La torsión se considera como esfuerzo medio:

$$\tau m = 29{,}61\ MPa$$

$$\tau a = 0\ MPa$$

El límite de resistencia a la fatiga sin corregir se estima como:

$$Se' = 0{,}5 \times Sut$$

$$Se' = 0{,}5 \times 505$$

$$Se' = 252{,}5\ MPa$$

Se aplican los factores de corrección de Marin:

$$Se = ka \times kb \times kc \times kd \times ke \times kf \times Se'$$

Donde se consideran:

$$ka = 0{,}85$$

$$kb = 0{,}879$$

$$kc = 1$$

$$kd = 1$$

$$ke = 0{,}897$$

$$kf = 1$$

Sustituyendo:

$$Se = 0{,}85 \times 0{,}879 \times 1 \times 1 \times 0{,}897 \times 1 \times 252{,}5$$

$$Se = 169{,}22\ MPa$$

Para combinar los esfuerzos se utilizan los esfuerzos equivalentes alternante y medio de Von Mises.

El esfuerzo equivalente alternante es:

$$\sigma' a = \sqrt{(\sigma a^2 + 3\tau a^2)}$$

Como τa = 0:

$$\sigma' a = 39{,}24\ MPa$$

El esfuerzo equivalente medio es:

$$\sigma' m = \sqrt{(\sigma m^2 + 3\tau m^2)}$$

Como σm = 0:

$$\sigma' m = \sqrt{(3 \times 29{,}61^2)}$$

$$\sigma' m = 51{,}28\ MPa$$

Para determinar el factor de seguridad a fatiga se aplica el criterio de Goodman modificado:

$$1 / n = (\sigma' a / Se) + (\sigma' m / Sut)$$

$$1 / n = (39{,}24 / 169{,}22) + (51{,}28 / 505)$$

$$1 / n = 0{,}2319 + 0{,}1015$$

$$1 / n = 0{,}3334$$

$$n = 3{,}00$$

Por lo tanto, el factor de seguridad por fatiga obtenido es:

$$n = 3{,}00$$

El resultado indica que el eje tiene un factor de seguridad mayor a 1 por lo que está bien.

Análisis de esfuerzos máximos, mínimos y cortantes

Para complementar la verificación del eje se determinan los esfuerzos máximos, mínimos, principales y cortantes producidos por la combinación de flexión y torsión.

Datos considerados:

$$Mmax = 60188{,}56\ N \cdot mm$$

$$T = 90834{,}83\ N \cdot mm$$

$$d = 25\ mm$$

El esfuerzo normal máximo por flexión es:

$$\sigma = (32 \times Mmax) / (\pi \times d^3)$$

$$\sigma = 39{,}24\ MPa$$

Debido al giro del eje, el esfuerzo por flexión varía entre un valor máximo positivo y un valor mínimo negativo:

$$\sigma max = +39{,}24\ MPa$$

$$\sigma min = -39{,}24\ MPa$$

El esfuerzo medio por flexión es:

$$\sigma m = 0\ MPa$$

El esfuerzo alternante por flexión es:

$$\sigma a = 39{,}24\ MPa$$

El esfuerzo cortante por torsión se calcula mediante:

$$\tau = (16 \times T) / (\pi \times d^3)$$

$$\tau = 29{,}61\ MPa$$

Como el torque se considera constante durante la operación:

$$\tau m = 29{,}61\ MPa$$

$$\tau a = 0\ MPa$$

El esfuerzo equivalente máximo de Von Mises se calcula como:

$$\sigma VM = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$$

$$\sigma VM = \sqrt{(39{,}24^2 + 3 \times 29{,}61^2)}$$

$$\sigma VM = 64{,}57\ MPa$$

El esfuerzo cortante máximo combinado se calcula mediante:

$$\tau max = \sqrt{[(\sigma / 2)^2 + \tau^2]}$$

$$\tau max = \sqrt{[(39{,}24 / 2)^2 + 29{,}61^2]}$$

$$\tau max = 35{,}52\ MPa$$

Los esfuerzos principales se calculan mediante:

$$\sigma 1 = (\sigma / 2) + \sqrt{[(\sigma / 2)^2 + \tau^2]}$$

$$\sigma 2 = (\sigma / 2) - \sqrt{[(\sigma / 2)^2 + \tau^2]}$$

$$\sigma 1 = (39{,}24 / 2) + 35{,}52$$

$$\sigma 1 \ = \ 55{,}14 \, MPa$$

$$\sigma 2 \ = \ (39{,}24/2) - \ 35{,}52$$

$$\sigma 2 \ = \ -15{,}90 \, MPa$$

Una vez finalizados los cálculos que se encuentran resumidos en la Tabla 18, podemos empezar con la fase de diseño donde se planteará la opción más viable en base a todo lo seleccionado en capítulos anteriores.

Tabla 18

Resumen de cálculos

Parámetro	Resultado
Potencia del motor	0,75 HP
Velocidad del motor	1750 rpm
Velocidad de diseño del eje	50 rpm
Relación de transmisión requerida	35:1
Número de etapas propuestas	3
Polea menor calculada	60 mm
Polea menor comercial seleccionada	TB-SPZ 60X1-1008 o equivalente
Polea mayor calculada	196 mm
Polea mayor comercial seleccionada	TB-SPZ 200X1-2012 o equivalente
Velocidad real aproximada con polea comercial	47,25 rpm
Diámetro del eje	25 mm
Distancia entre rodamientos	460 mm
Distancia de rodamiento a la polea	34 mm
Distancia de rodamiento a la leva	220 mm
Brazo efectivo de leva	67,28 mm
Fuerza de corte	80 N
Fuerza disponible en la leva	1350,10 N
Carga radial de polea	1854 N
Torque transmitido al eje	90,83 N·m
Reacción en rodamiento A	1758 N
Reacción en rodamiento B	176 N
Momento flector máximo	59,8 N·m
Esfuerzo por flexión	39 MPa
Esfuerzo cortante por torsión	29,61 MPa
Esfuerzo Von Mises	64,5 MPa
Factor de seguridad estático	3,33
Factor de seguridad por fatiga	3,00

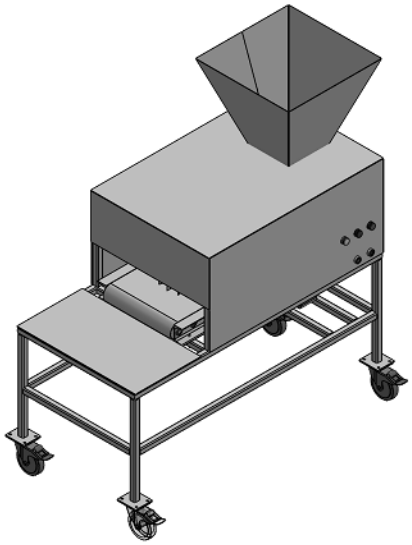
3.5. Diseño final de la máquina

El diseño final de la máquina cortadora de masa se estructuró en subconjuntos funcionales que permitan cumplir con la secuencia de operación planteada: alimentación de masa, dosificación, corte, transmisión de movimiento y transporte del producto hacia la salida. La propuesta incorpora estructura metálica de soporte, tolva de alimentación, caja de corte, cuchillas, ejes, sistema de poleas y correas, banda transportadora, motor eléctrico, ruedas con seguro y elementos básicos de control.

3.5.1. Ensamble general de la máquina

La máquina está compuesta, en su conjunto, por la mesa o estructura principal, la tolva, el sistema de corte, el sistema de transmisión, la banda transportadora, los soportes, las ruedas, los elementos de control. En el diseño general, se pueden reconocer componentes como mesa, banda, cuchilla de corte, cuchillas divisoras, ejes de cuchilla, tolva, caja de corte, soporte de caja, rampa, rodamientos, motor monofásico, poleas, base de ruedas, botones de encendido/apagado y luces piloto.

Figura 14
Ensamble general de la máquina cortadora de masa



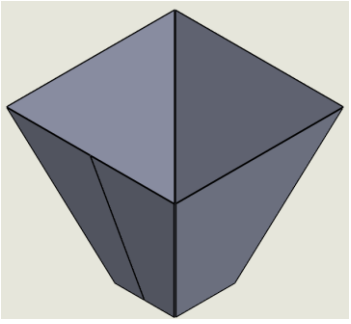
El ensamble está diseñado de manera modular para facilitar el montaje, desmontaje, limpieza y mantenimiento. La tolva se encuentra en la parte superior para que la masa pueda entrar por gravedad en la zona de dosificación y corte. En la mitad se encuentra la caja de corte, donde están las cuchillas que se encargan de partir la masa. En la parte inferior se encuentran la estructura, el sistema de transmisión, el motor y la banda transportadora, que se encarga de llevar las porciones a la salida.

3.5.2. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación se compone sobre todo de la tolva de acero inoxidable AISI 304. Su función es almacenar la masa de forma temporal antes de que entre en el sistema de dosificación y corte. Para la tolva se ha definido una capacidad de 40 kg, valor elegido para mejorar la continuidad del proceso productivo, sin comprometer la comodidad del operario ni el tamaño general de la máquina.

La tolva está diseñada con una geometría que facilita el descenso de la masa hacia la parte inferior, donde se encuentra el sistema de corte. El diseño está pensado en superficies lisas y de fácil limpieza, minimizando la acumulación de residuos durante el proceso. Además, su fabricación en acero inoxidable garantiza una mayor resistencia a la humedad y a los agentes presentes en el ambiente de trabajo de una panadería.

Figura *15*
Tolva de alimentación de la máquina



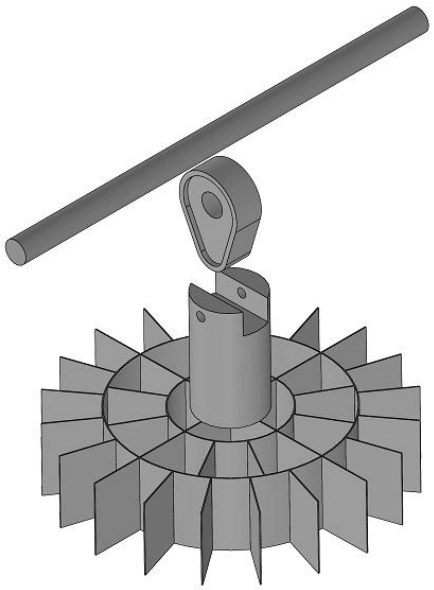
La alimentación se realiza manualmente por el operador, quien coloca la masa en la tolva una vez asegurada la máquina mediante las ruedas con freno. Después, la masa desciende al mecanismo de dosificación, lo que permite que el sistema de corte obtenga porciones de tamaño uniforme.

3.5.3. Sistema de corte y dosificación

El sistema de corte y dosificación está formado por la caja de corte, las cuchillas divisoras, los ejes de cuchilla y los soportes correspondientes. Su objetivo es controlar la cantidad de masa que entra en la zona de corte y separarla en porciones individuales.

La caja de corte sirve de alojamiento al mecanismo que dirige la masa y mantiene la posición de las cuchillas. Las cuchillas divisoras están diseñadas en acero inoxidable AISI 304 con dimensiones aproximadas de 190 mm de longitud y 50 mm de altura según el plano de pieza correspondiente. El eje de cuchilla también está previsto en acero inoxidable AISI 304, con una longitud total aproximada de 260 mm y un diámetro de trabajo de 15 mm, de acuerdo con el plano mecánico.

Figura 16
Sistema de corte y dosificación



El principio de funcionamiento consiste en el movimiento sincronizado de las cuchillas que permiten dividir la masa en porciones constantes. Para evitar cortes irregulares, atascos o esfuerzos adicionales sobre el eje, es necesario que este sistema esté alineado. Por eso, el diseño incluye rodamientos y soportes que garantizan la estabilidad del mecanismo durante su funcionamiento.

3.5.4. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión se encarga de llevar la potencia de este motor hacia el mecanismo de corte mediante poleas y correas trapezoidales en V. Para el diseño se emplea un motor monofásico de 220 V, 0,75 HP y 60 Hz. La desaceleración se da en tres fases mediante poleas trapezoidales en V de un canal, construidas para correas del tipo perfil SPZ/Z.

Se opta aquí por la polea menor, la comercial TB-SPZ 60X1-1008 o bien el modelo equivalente, y para la mayor se selecciona el modelo TB-SPZ 200X1-2012 o bien el modelo equivalente. El diámetro teórico calculado para la polea mayor fue de 196 mm, sin embargo, se hace una elección de una polea normalizada de 200 mm por simple disponibilidad comercial. Con esta forma de aproximación, el motor habitual de 1750 rpm puede obtener una reducción de velocidad de aproximadamente 47,25 rpm en el eje de corte.

La selección de poleas y correas se basa en una potencia requerida calculada, la velocidad de trabajo deseada, la sencillez del acceso comercial y la facilidad de mantenimiento.

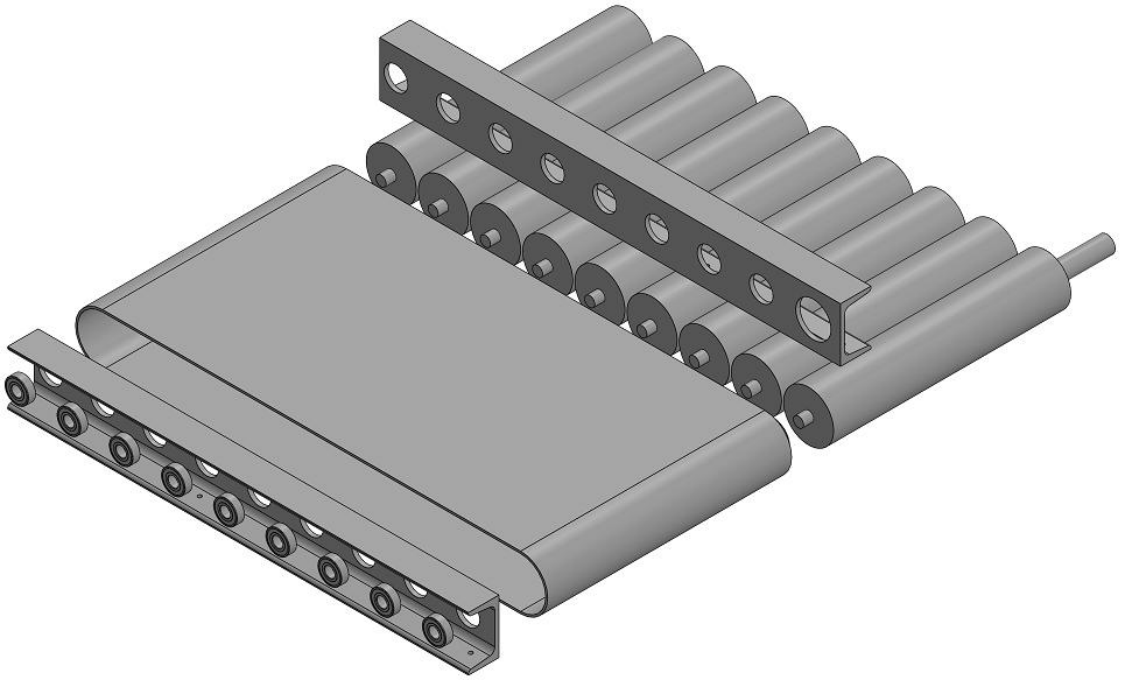
Además, el uso de correas permite reducir las vibraciones y proteger parcialmente el sistema mecánico ante la existencia de sobrecargas ya que estas pueden deslizar antes de que produzcan un efecto catastrófico en los componentes mecánicos.

3.5.5. Sistema de transporte

El sistema de transporte consta de la banda transportadora, rodillos, rampa de salida y soportes. Su misión es mover las porciones de masa que han sido cortadas hacia la salida de la máquina, facilitando la continuidad del proceso productivo.

La banda se coloca en la parte inferior del sistema de corte y recibe directamente las porciones obtenidas. La rampa, fabricada en plancha de acero inoxidable AISI 304 de 2 mm, permite guiar el producto hacia la zona de retirada. El plano de la rampa tiene una longitud aproximada de 325 mm y radio de curvatura de 75 mm.

Figura 17
Sistema de transporte y salida de masa cortada



Este sistema mejora la ergonomía del operario, ya que no requiere que el usuario tenga que retirar manualmente cada porción desde la zona de corte. Además, ayuda a mantener un flujo ordenado de producción y disminuye el contacto directo del operador con el producto durante el funcionamiento.

3.6. Validación mediante cálculos

3.6.1. Resultados del dimensionamiento de la tolva

La tolva fue dimensionada para una capacidad de 40 kg de peso. Este valor cumple con la necesidad de aumentar la productividad de la máquina sin generar una altura excesiva que afecte la ergonomía del operario. La geometría de la tolva permite almacenar la masa y conducirla por gravedad al sistema de corte.

Los resultados de la tolva, la transmisión, el eje y los rodamientos se resumen en las Tablas 19, 20, 21 y 22, respectivamente.

Tabla 19
Resultados del dimensionamiento de la tolva

Parámetro	Resultado
Capacidad de diseño	40 kg
Material	Acero inoxidable AISI 304
Espesor de plancha	1 mm o 2 mm, según plano final
Función principal	Almacenar y alimentar masa
Número de etapas propuestas	3
Polea menor calculada	60 mm

La tolva responde a la necesidad de almacenamiento planteada para la máquina. Su construcción en acero inoxidable garantiza las condiciones apropiadas para el contacto con los alimentos y simplifica la limpieza posterior a la operación.

3.6.2. Resultados de transmisión y potencia

El cálculo de potencia permitió seleccionar un motor monofásico de 220 V, 0,75 HP y 60 Hz, adecuado para accionar el sistema de transmisión y mecanismo de corte. Este motor va acompañado de poleas y correas trapezoidales que se escogen en función de la potencia corregida y de la relación de transmisión requerida.

Tabla 20

Resultados del sistema de transmisión

Parámetro	Resultado
Motor seleccionado	Monofásico 220 V
Potencia	0,75 HP
Frecuencia	60 Hz
Velocidad nominal del motor	1750 rpm
Tipo de transmisión	Poleas y correas en V
Tipo de polea	Polea trapezoidal en V de un canal
Perfil de polea/correa	SPZ/Z
Relación total requerida	35:1
Polea menor	60 mm
Polea menor comercial	TB-SPZ 60X1-1008 o equivalente
Polea mayor	196 mm
Polea mayor comercial	TB-SPZ 200X1-2012 o equivalente
Tipo de correa	Trapezoidal en V, perfil Z
Longitud comercial aproximada de correa	48 pulgadas
Velocidad de referencia del eje	50 rpm
Velocidad real aproximada	47,25 rpm

La transmisión por correas resulta adecuada para el diseño, ya que permite transmitir la potencia requerida hacia el eje de trabajo y reduce la complejidad de fabricación con relación a los sistemas por engranajes o cadenas. También permite mantener y reemplazar los componentes en talleres locales.

3.6.3. Verificación del eje y rodamientos

La comprobación del eje se efectuó a partir del análisis estático, análisis por fatiga y análisis de esfuerzos combinados desarrollados en el apartado correspondiente. Este elemento se evaluó debido a que transmite el movimiento al sistema de corte y está sometido a cargas de flexión, torsión y operación repetitiva durante el funcionamiento de la máquina.

Se escogió un diámetro de 25 mm para el eje principal, teniendo en cuenta las condiciones de carga producidas por el sistema de transmisión y corte. Con esta medida se logra una rigidez apropiada para el funcionamiento del mecanismo, disminuyendo la posibilidad de deformaciones excesivas, vibraciones y desalineaciones en las cuchillas.

El análisis estático realizado determinó que el eje presenta un esfuerzo equivalente de Von Mises analítico de 64,5 MPa, valor inferior al límite de fluencia del acero inoxidable AISI 304. Por lo tanto, el componente cumple con la condición de resistencia bajo las cargas aplicadas. Además, el factor de seguridad estático obtenido es de 3,33, lo que indica que el eje trabaja dentro de un rango seguro de operación.

En el análisis por fatiga se consideró el efecto de la flexión rotativa y la torsión generada durante el funcionamiento de la máquina. El factor de seguridad por fatiga obtenido es de 2,35, valor que permite validar el comportamiento del eje frente a cargas repetitivas durante el proceso de corte de masa.

Tabla 21

Resumen de verificación del eje

Parámetro	Resultado
Material del eje	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro seleccionado	25 mm
Velocidad de trabajo	50 rpm
Velocidad real aproximada	47,25 rpm
Esfuerzo equivalente de Von Mises	64,5 MPa
Factor de seguridad estático	3,33
Factor de seguridad por fatiga	2,35

Para la selección de los rodamientos se tomó en cuenta el diámetro del eje, la velocidad de operación y la carga radial determinada en el análisis estático. El eje seleccionado tiene un diámetro de 25 mm, por lo que se necesita un rodamiento con un diámetro interior que sea compatible con esta medida.

Tabla 22

Datos considerados para la selección del rodamiento

Parámetro	Valor
Diámetro del eje	25 mm
Velocidad de operación	50 rpm
Velocidad real aproximada	47,25 rpm
Carga radial	1,76 kN

Parámetro	Valor
Carga axial	0 kN
Vida útil estimada de la máquina	10 años
Vida útil estimada del rodamiento	5 años
Rodamiento seleccionado	SKF 7205 ACCBM

Con estos parámetros se escogió el rodamiento SKF 7205 ACCBM. Este rodamiento es compatible dimensionalmente con el eje de 25 mm, y soporta la carga radial calculada en el rodamiento. Además, por ser un rodamiento de contacto angular, también admite cargas axiales en una dirección, lo que mejora la estabilidad del conjunto ante posibles desalineaciones o esfuerzos secundarios durante su funcionamiento.

3.7. Simulación del diseño

La simulación del diseño se llevó a cabo con el objetivo de comprobar cómo se comporta mecánicamente el elemento crítico de la máquina según las condiciones de carga establecidas en los cálculos analíticos. Para esto, se utilizó el software SolidWorks Simulation y se realizó un estudio estático lineal sobre el eje principal del sistema de corte.

La misma se hizo mediante un análisis de elementos finitos como se puede observar en [25], ya que este nos permite aproximar el comportamiento de los componentes mediante la división de los mismos en elementos de menor tamaño.

El estudio posibilitó establecer la repartición de los esfuerzos equivalentes de Von Mises, el factor de seguridad del componente y el desplazamiento máximo. Para verificar si el eje escogido satisface las condiciones de resistencia mecánica y rigidez necesarias durante la operación de la máquina cortadora de masa.

3.7.1. Elemento crítico seleccionado para simulación

Se tomó como elemento crítico para realizar la simulación al eje del sistema de corte. Se escogió este elemento porque transmite el movimiento desde el sistema de poleas a las cuchillas y está sometido a esfuerzos combinados de flexión y torsión.

Figura 18
Eje seleccionado para simulación



Para que el corte sea uniforme y no haya fallas mecánicas durante el proceso, el eje debe funcionar correctamente. Por esta razón, se verificó su comportamiento por medio de análisis estructural.

3.7.2. Condiciones iniciales de simulación

Mediante el análisis realizado con cálculos que se realizaron en el subcapítulo 3.4.3, donde se realizó el análisis estructural, se definieron las condiciones iniciales para la simulación del elemento critico de la máquina, en este caso el eje de la leva los valores para la simulación de los esfuerzos de Von Mises, factor de seguridad y desplazamiento, en SolidWorks son los siguientes:

Tabla 23
Condición para la simulación

Condición	Valor
Material del eje	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro del eje	25 mm
Distancia entre rodamientos	460 mm
Fuerza aplicada en la zona de la polea	1854 N
Fuerza aplicada en la zona de la leva	80 N
Torque aplicado al eje	90,83 N·m
Velocidad de diseño del eje	50 rpm

Condición	Valor
Velocidad real aproximada con polea comercial	47,25 rpm
Tipo de análisis	Estático lineal
Restricciones	Apoyos en zonas de rodamientos
Resultado evaluado	Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad

3.7.3. Simulación en SolidWorks

Para el análisis estático en SolidWorks Simulation. Primero, seleccionamos el material del eje en este caso acero inoxidable AISI 304. Más adelante, se determinaron las limitaciones en las superficies que corresponden a los soportes, para este caso los rodamientos. Después se definieron las cargas externas, que son la fuerza radial producida por la polea, la fuerza que transmite la leva y el par de trabajo del eje.

Se llevaron a cabo tres grupos de simulación (malla gruesa, media y fina) con el propósito de analizar cuán sensibles son los resultados en función del tamaño de los elementos. En todas las situaciones se registraron el número de elementos, el esfuerzo máximo de Von Mises, el desplazamiento máximo y el factor de seguridad mínimo.

Malla gruesa

Las primeras simulaciones se realizaron con una malla gruesa, con el objetivo de obtener una aproximación del comportamiento del eje. Esta malla reduce el tiempo de cálculo y deja observar de forma general las zonas donde se concentran los mayores esfuerzos

Figura 19
Malla gruesa creada

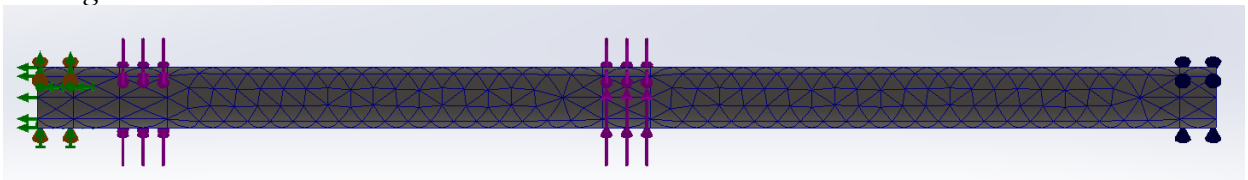


Figura 20

Distribución de esfuerzos de Von Mises con malla gruesa

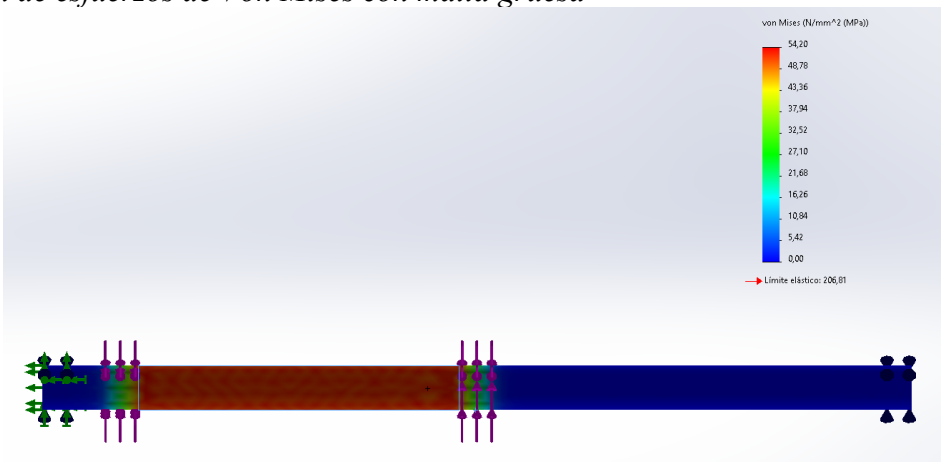


Figura 21

Desplazamiento resultante con malla gruesa

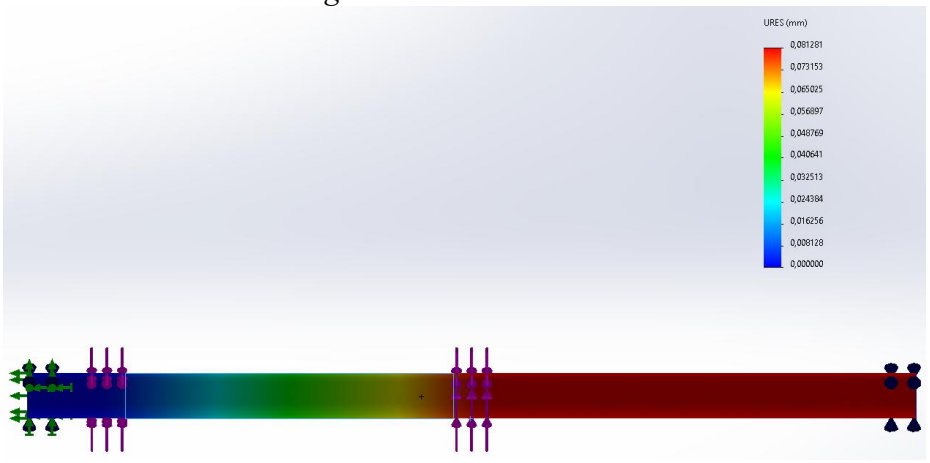


Figura 22

Factor de seguridad con malla gruesa

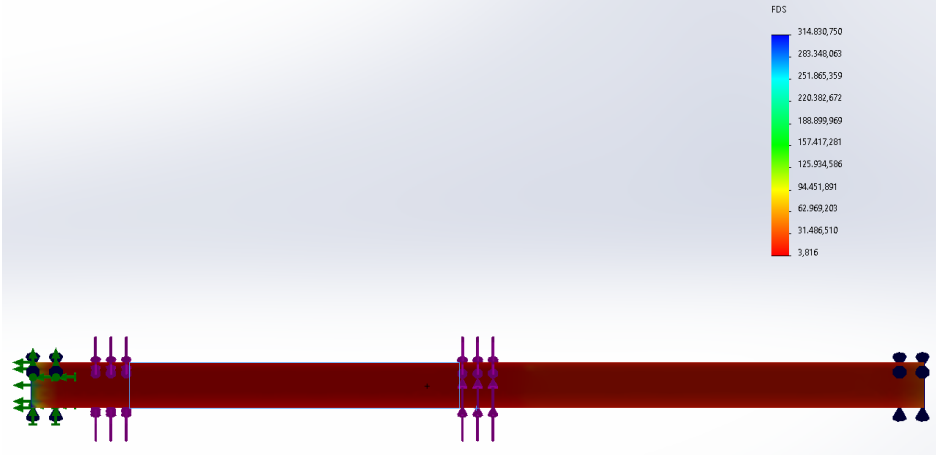


Tabla 24
Resultados de malla gruesa

Parámetro	Resultado
Tamaño de elemento	10 mm
Número de elementos	2420
Número de nodos	4173
Von Mises máximo	54,20 MPa
Desplazamiento máximo	0,08128 mm
Factor de seguridad mínimo	3.52

Malla media

Las simulaciones con malla media se realizaron disminuyendo el tamaño de los elementos, esto permite mejorar la precisión de los resultados y representar de mejor manera las zonas de concentración de esfuerzos.

Figura 23
Malla media creada

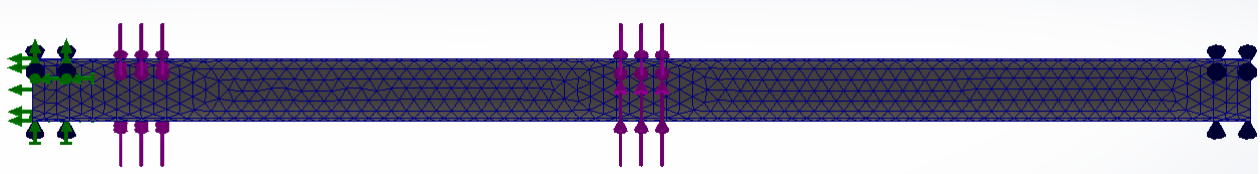


Figura 24
Distribución de esfuerzos de Von Mises con malla media

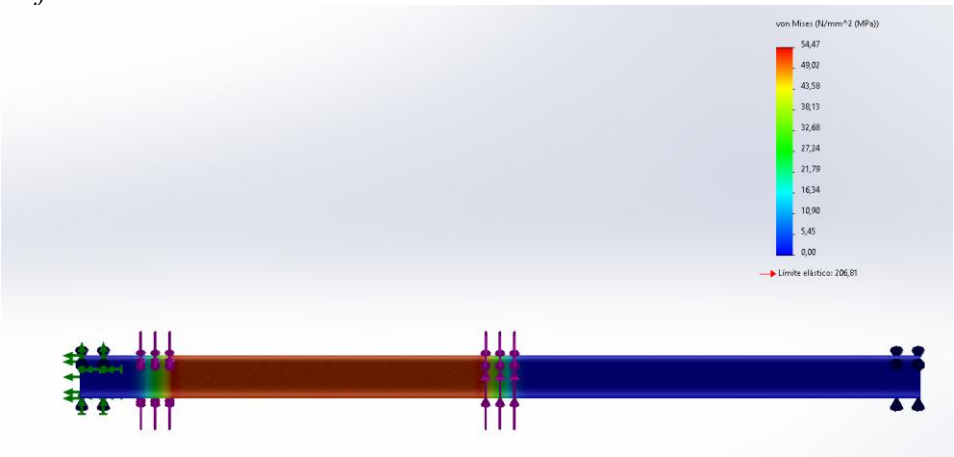


Figura 25

Desplazamiento resultante con malla media

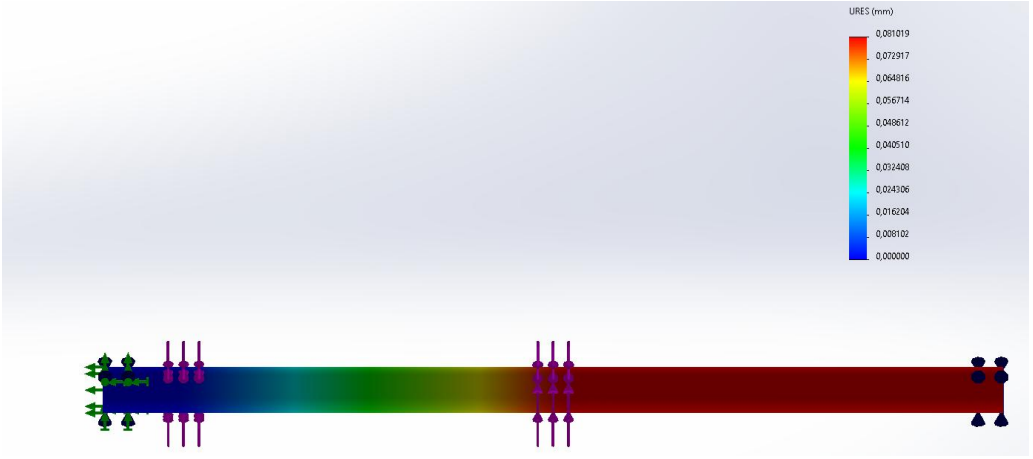


Figura 26

Factor de seguridad con malla media

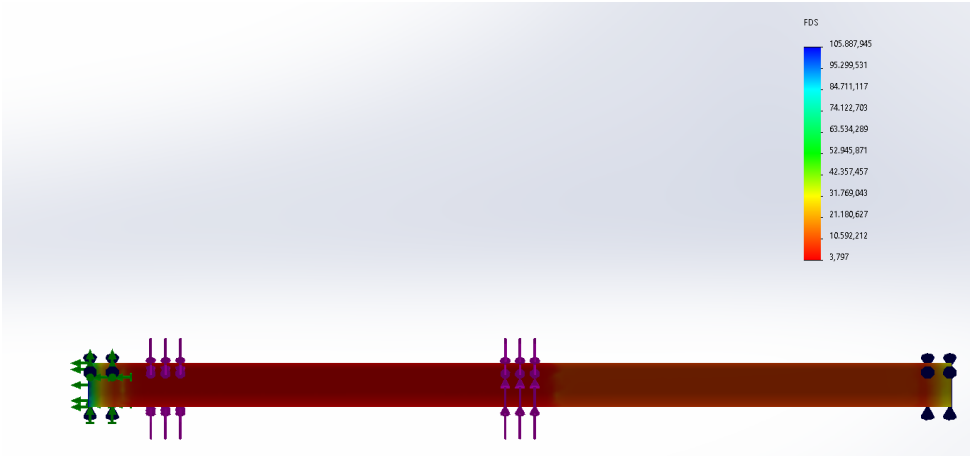


Tabla 25

Resultados de malla media

Parámetro	Resultado
Tamaño de elemento	6 mm
Número de elementos	10609
Número de nodos	16958
Von Mises máximo	54.47 MPa
Desplazamiento máximo	0,08101 mm
Factor de seguridad mínimo	3.50

Malla fina

Las últimas simulaciones se hicieron con una malla fina, con el objetivo de obtener resultados precisos en las zonas críticas del eje. Esta malla permite observar con mayor detalle los cambios de geometría, las zonas de apoyo y los puntos donde se aplican las cargas.

Figura 27

Malla fina creada

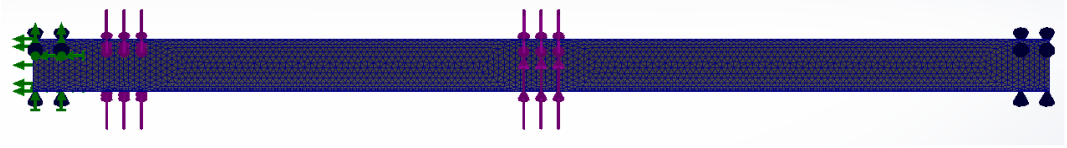


Figura 28

Distribución de esfuerzos de Von Mises con malla fina

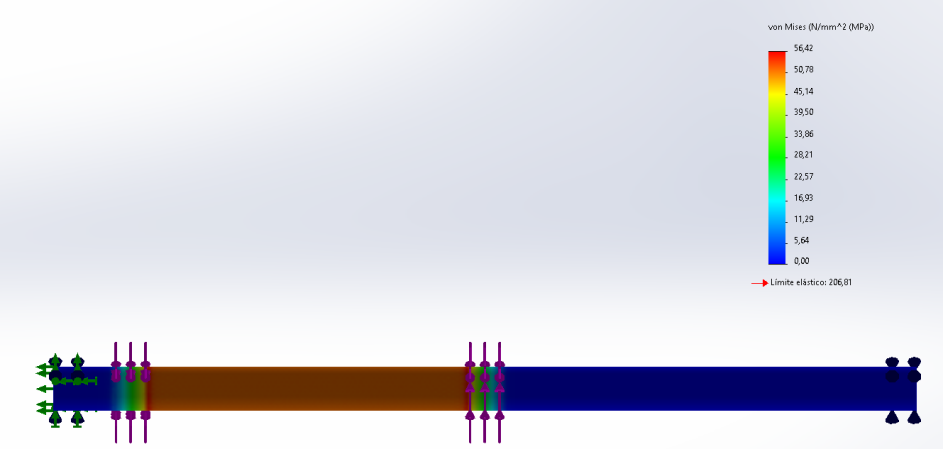


Figura 29

Desplazamiento resultante con malla fina

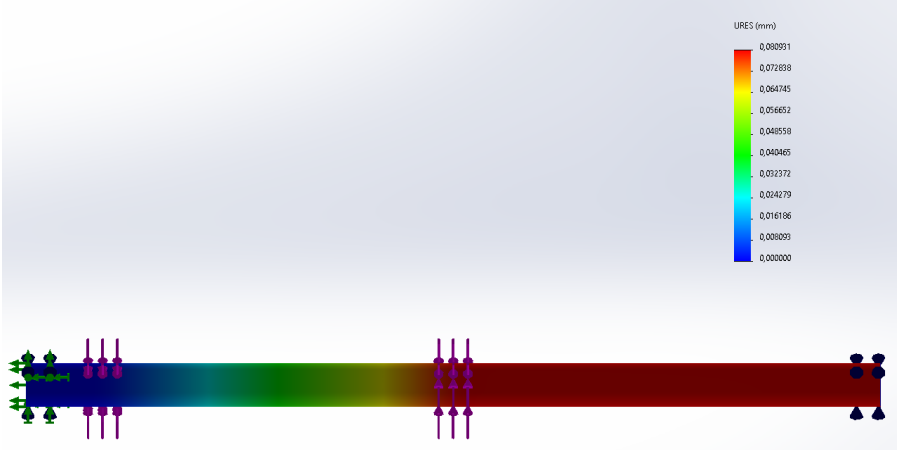


Figura 30
Factor de seguridad con malla fina

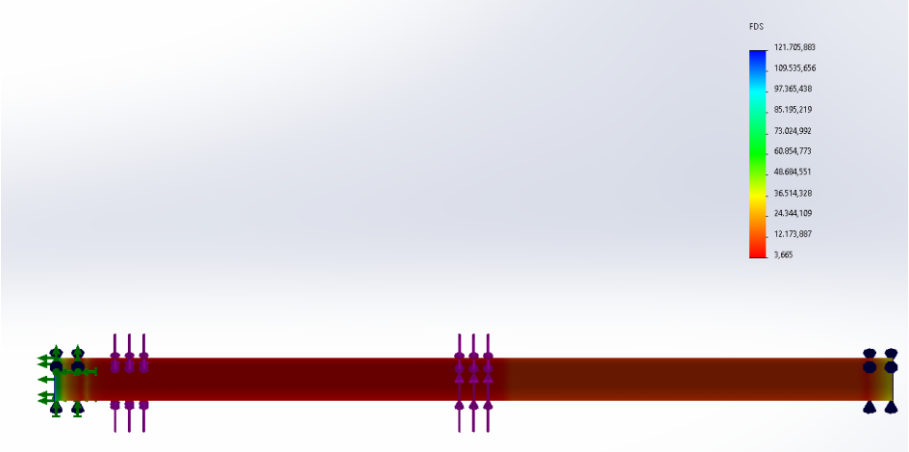


Tabla 26
Resultados de malla fina

Parámetro	Resultado
Tamaño de elemento	3 mm
Número de elementos	67260
Número de nodos	99835
Von Mises máximo	56.42 MPa
Desplazamiento máximo	0,08093 mm
Factor de seguridad mínimo	3.47

3.8. Análisis de convergencia

3.8.1. Análisis de resultados

Para el análisis de convergencia se hicieron simulaciones con distintos tamaños de malla. Los resultados obtenidos se ordenaron en función del número de elementos, el esfuerzo máximo de Von Mises, el desplazamiento máximo y el factor de seguridad mínimo. Para este análisis se incrementó progresivamente el número de elementos y se comparó el factor de seguridad simulado con el valor calculado analíticamente, gracias a esto se obtuvo la disminución del error relativo y de la variación entre las últimas simulaciones evidencia que el resultado se vuelve menos dependiente del tamaño de los elementos, tal como se señala en [25].

Tabla 27

Resultados de las simulaciones para el análisis de convergencia

Simulación	Tipo de malla	Tamaño de elemento (mm)	N.º de nodos	N.º de elementos	Von Mises máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad
1	MG	12,00	4172	2300	54,21	0,08128	3,52
2	MG	11,50	4187	2330	54,00	0,08127	3,53
3	MG	11,00	4187	2360	54,04	0,08127	3,53
4	MG	10,50	4164	2390	54,11	0,08128	3,52
5	G	10,00	4173	2420	54,20	0,08128	3,52
6	G	9,50	4160	2450	54,10	0,08143	3,52
7	G	9,00	4799	2683	53,99	0,08146	3,53
8	G	8,50	5232	2948	54,38	0,08115	3,50
9	G	8,00	7228	4222	54,30	0,08112	3,51
10	SM	7,50	7807	4603	54,27	0,08122	3,51
11	SM	7,00	9187	5482	54,78	0,08115	3,48
12	SM	6,50	11947	7262	54,36	0,08104	3,51
13	M	6,00	16958	10609	54,47	0,08101	3,50
14	M	5,50	18873	11842	54,98	0,08101	3,46
15	M	5,00	24974	15897	55,08	0,08101	3,46
16	M	4,50	33328	21536	55,65	0,08101	3,42
17	M	4,00	45274	29633	55,88	0,0810	3,40
18	SF	3,75	54803	36241	55,80	0,08096	3,41
19	SF	3,50	66789	44392	55,65	0,08094	3,42
20	SF	3,25	83638	56164	55,85	0,08094	3,40
21	F	3,00	99835	67260	56,42	0,08093	3,47
22	F	2,75	124135	84212	56,13	0,08092	3,38
23	F	2,50	167454	114608	56,54	0,08092	3,36
24	F	2,25	219037	150866	56,88	0,08091	3,34
25	F	2,00	289262	200183	57,03	0,08091	3,33
26	MF	1,75	428786	299283	57,32	0,08091	3,33
27	MF	1,50	616208	432278	57,75	0,0809	3,33
28	MF	1,25	978921	691332	58,32	0,0809	3,33
29	MF	1,10	1324890	937834	58,76	0,0809	3,34
30	MF	1,00	1654461	1173845	59,04	0,0809	3,34

En la Tabla 27, se recopiló los resultados de un total de 30 simulaciones con distintas mallas para verificar la variación mediante una convergencia entre el número de elementos y el factor de seguridad.

Tabla 28

Variación porcentual del factor de seguridad

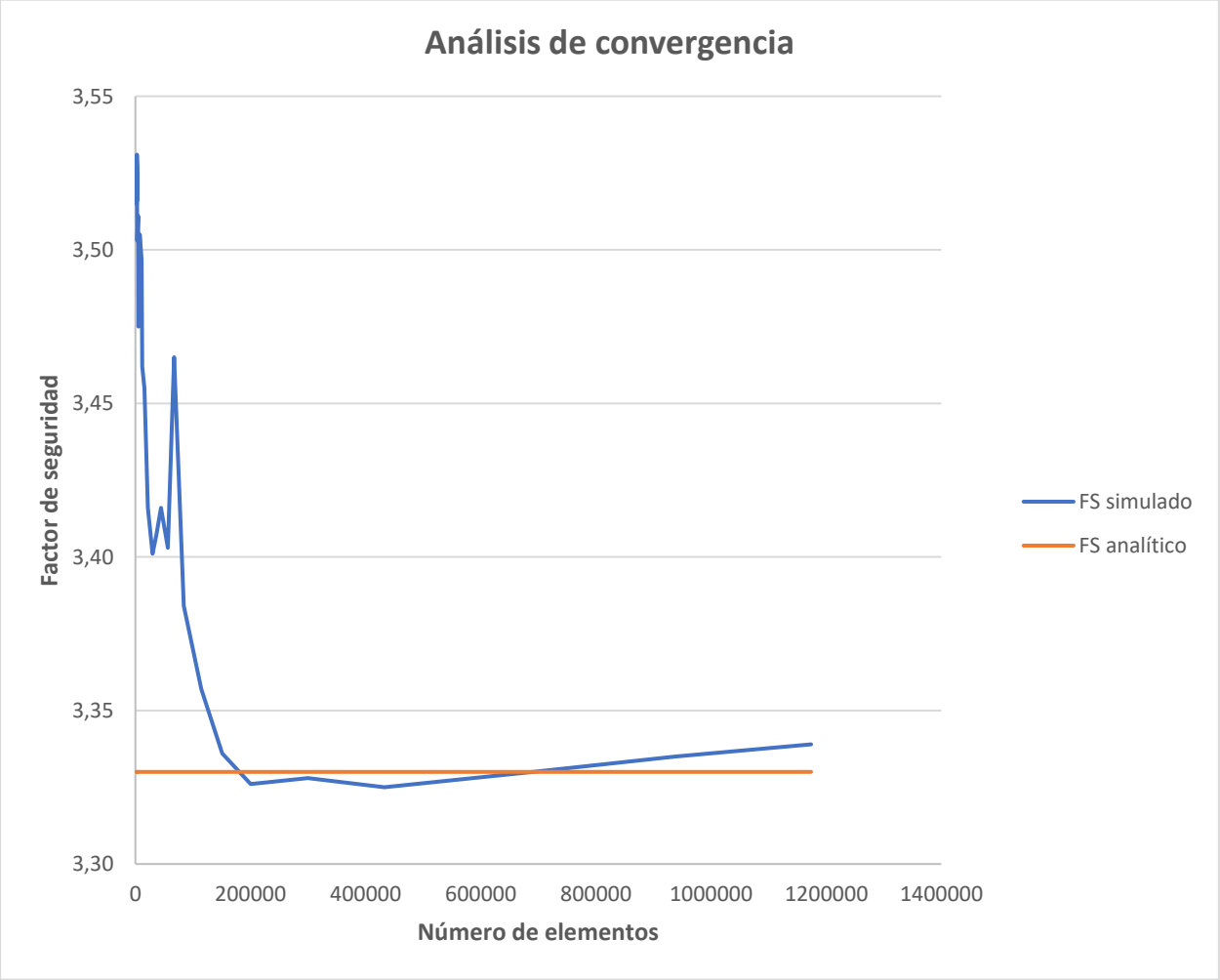
Simulación	N.º de elementos	Factor de seguridad	Variación (%)	Error (%)
1	2300	3,52	-	-
2	2330	3,53	0,43%	6,01%
3	2360	3,53	0,08%	5,92%
4	2390	3,52	0,14%	5,77%
5	2420	3,52	0,17%	5,59%
6	2450	3,52	0,20%	5,80%
7	2683	3,53	0,23%	6,04%
8	2948	3,50	0,79%	5,20%
9	4222	3,51	0,17%	5,38%
10	4603	3,51	0,06%	5,44%
11	5482	3,48	1,03%	4,35%
12	7262	3,51	0,86%	5,26%
13	10609	3,50	0,23%	5,02%
14	11842	3,46	1,00%	3,96%
15	15897	3,46	0,20%	3,75%
16	21536	3,42	1,13%	2,58%
17	29633	3,40	0,44%	2,13%
18	36241	3,41	0,18%	2,31%
19	44392	3,42	0,26%	2,58%
20	56164	3,40	0,38%	2,19%
21	67260	3,47	1,82%	4,05%
22	84212	3,38	2,34%	1,62%
23	114608	3,36	0,80%	0,81%
24	150866	3,34	0,63%	0,18%
25	200183	3,33	0,30%	0,12%
26	299283	3,33	0,06%	0,06%
27	432278	3,33	0,09%	0,15%
28	691332	3,33	0,15%	0,00%
29	937834	3,34	0,15%	0,15%
30	1173845	3,34	0,12%	0,27%

En la Figura 31, se observa la variación del factor de seguridad respecto al número de elementos de la malla. En las simulaciones con malla gruesa se observó variaciones más notorias, hasta que en la simulación N.º 24 se observa cómo la variación empieza a estabilizarse.

El valor final obtenido para el factor de seguridad fue de 3,503, mientras que el esfuerzo máximo de Von Mises fue de 59,04 MPa y el desplazamiento máximo fue de 0,0809 mm. Debido a que el factor de seguridad es mayor que 1, el eje cumple con la condición de resistencia bajo las cargas aplicadas.

Figura 31

Convergencia del factor de seguridad en función del número de elementos



3.8.2. Análisis del error entre los resultados analíticos y simulados

Para ponderar la diferencia entre los resultados obtenidos mediante el cálculo analítico y la simulación por elementos finitos, se utilizó el error relativo porcentual:

$$Error\ relativo(\%) = \left|\frac{X_{analítico} - X_{simulado}}{X_{analítico}}\right| * 100$$

Para el esfuerzo equivalente de Von Mises se obtuvo:

$$Error_{\sigma} = \left|\frac{64{,}50 - 59{,}04}{64{,}50}\right| * 100 = 8{,}47\%$$

Para el factor de seguridad se obtuvo:

$$Error_{FS} = \left|\frac{3{,}33 - 3{,}34}{3{,}33}\right| * 100 = 0{,}30\%$$

Los errores relativos obtenidos fueron de 8,47 % para el esfuerzo equivalente de Von Mises y de 0,30 % para el factor de seguridad. El esfuerzo obtenido analíticamente fue mayor que el obtenido mediante simulación, mientras que el factor de seguridad analítico fue menor que el simulado. Esto indica que el cálculo analítico es ligeramente conservador. Las diferencias se deben a la idealización de los soportes y las cargas en la solución analítica y a la discretización geométrica utilizada en el modelo de elementos finitos. Ambos métodos dan un factor de seguridad mayor de 1, por lo tanto, se comprueba la resistencia del eje bajo las condiciones de carga establecidas.

3.9. Planos mecánicos

3.9.1. Lista de planos mecánicos

La lista de planos mecánicos contribuye a ordenar la documentación técnica necesaria para la fabricación, el ensamblado y la verificación dimensional de la máquina cortadora de masa. En

estos planos se especifica la información referente a los códigos de las piezas, materiales, cantidades, dimensiones principales y datos generales del proyecto.

Los planos mecánicos detallados en la Tabla 29, se mostrarán al final en el apartado de anexos.

Tabla 29

Lista de planos mecánicos

N.º	Nombre del plano	Código	Cantidad	Descripción
1	Ensamble general de la cortadora de masa	MC-00-00	1	Plano general de la máquina completa.
2	Mesa o estructura principal	MC-01-00	1	Estructura principal de soporte.
3	Banda transportadora	MC-02-00	1	Subconjunto de transporte de porciones de masa.
4	Rodillo secundario de banda	MC-02-01	8	Rodillos de apoyo de la banda transportadora.
5	Base izquierda de banda	MC-02-02	1	Soporte lateral izquierdo de la banda.
6	Rodillo principal de banda	MC-02-03	1	Rodillo motriz o principal del sistema de transporte.
7	Banda flexible	MC-02-04	1	Elemento flexible para transporte de masa.
8	Base derecha de banda	MC-02-05	1	Soporte lateral derecho de la banda.
9	Sistema de cuchilla de corte	MC-03-00	1	Subconjunto principal del sistema de corte.
10	Cuchilla de corte	MC-03-01	1	Elemento cortante principal.
11	Eje de leva	MC-03-02	1	Eje asociado al accionamiento de la leva.
12	Leva	MC-03-03	1	Elemento de accionamiento alternativo del sistema de corte.
13	Prisionero de leva	MC-03-04	2	Elemento de fijación de la leva.
14	Cuchilla divisora	MC-04-00	2	Elementos encargados de dividir la masa.
15	Eje de cuchilla	MC-05-00	2	Ejes de soporte para el sistema de cuchillas.
16	Tolva	MC-06-00	1	Sistema de almacenamiento y alimentación de masa.
17	Caja de corte	MC-07-00	1	Alojamiento del mecanismo de corte.
18	Soporte de caja de corte	MC-08-00	1	Soporte del subconjunto de corte.
19	Rampa	MC-09-00	1	Guía de salida de las porciones cortadas.
20	Plancha trasera	MC-10-00	1	Cubierta posterior de la máquina.
21	Plancha delantera	MC-11-00	1	Cubierta frontal de la máquina.
22	Plancha izquierda	MC-12-00	1	Cubierta lateral izquierda.
23	Plancha derecha	MC-13-00	1	Cubierta lateral derecha.
24	Plancha superior	MC-14-00	1	Cubierta superior de protección.
25	Plancha de mesa	MC-15-00	1	Superficie superior o cubierta de la mesa.
26	Soporte de leva	MC-16-00	2	Soporte mecánico para el sistema de leva.

N.º	Nombre del plano	Código	Cantidad	Descripción
27	Soporte de poleas	MC-17-00	2	Soporte del sistema de transmisión por poleas.
28	Eje de poleas / eje intermedio	MC-18-00	2	Eje intermedio para la transmisión en tres etapas.
29	Base de rueda	MC-19-00	4	Placa de soporte para ruedas con seguro.
30	Sobremesa	MC-20-00	1	Estructura superior o soporte adicional del conjunto.
31	Polea menor normalizada	COM-01	3	Polea trapezoidal SPZ/Z de un canal, modelo TB-SPZ 60X1-1008 o equivalente.
32	Polea mayor normalizada	COM-02	3	Polea trapezoidal SPZ/Z de un canal, modelo TB-SPZ 200X1-2012 o equivalente.
33	Rodamiento	COM-04		Rodamiento SKF 7205 ACCBM o equivalente.
34	Rueda con seguro	COM-05	4	Rueda industrial con freno.

Nota. Los elementos identificados con código COM representan componentes normalizados, por lo que no requieren plano de fabricación; se incluyen en la lista para documentar su selección y ubicación dentro del ensamble

3.10. Planos eléctricos

3.10.1. Diagrama eléctrico de potencia

El diagrama eléctrico de potencia representa el circuito que alimenta al motor principal de la máquina. Este circuito permite alimentar el motor monofásico que mueve el sistema de transmisión por poleas y correas.

El circuito de potencia está formado por una alimentación monofásica de 220 V, una protección general, un contactor, un relé térmico de protección y el motor eléctrico. La protección general permite desconectar el sistema si se produce una sobrecorriente o un cortocircuito. El contactor permite encender o apagar el motor desde el circuito de control y el relé térmico protege al motor en caso de sobrecargas durante su funcionamiento.

El circuito de potencia empieza a funcionar cuando el contactor KM1 cierra sus contactos principales. En ese punto llega energía eléctrica al motor M1, lo que permite al sistema de transmisión ponerse en marcha. Si se produce una sobrecarga, el relé térmico abre el circuito de control y detiene el motor a fin de proteger el sistema.

3.10.2. Diagrama eléctrico de control

El diagrama eléctrico de control permite accionar el motor de forma segura con pulsadores y señalización visual. Este circuito trabaja con los elementos de mando de la máquina como el pulsador de encendido, pulsador de apagado, contacto auxiliar de enclavamiento, bobina del contactor y luces piloto.

Mediante el pulsador de encendido se energiza la bobina del contactor KM1. Una vez que se ha accionado el contactor, un contacto auxiliar que funciona normalmente abierto mantiene energizado el circuito, lo que permite que el motor siga trabajando sin que sea necesario mantener pulsado el botón. El pulsador de apagado corta el circuito de mando, apaga el contactor y para el motor.

El circuito de control también incluye señalización mediante luces piloto. La luz verde indica funcionamiento normal, la luz amarilla indica que ocurrió alguna falla, y la luz roja indica que la máquina se encuentra detenida. Esta disposición facilita la interacción entre el operador y la máquina, permitiendo identificar rápidamente el estado del sistema.

3.10.3. Tabla de componentes eléctricos

La tabla de componentes eléctricos recoge los elementos necesarios para la implementación del sistema eléctrico de la máquina. Estos componentes permiten accionar el motor, proteger el sistema en caso de fallas y dar señales sobre el estado de la operación.

Tabla 30

Componentes eléctricos de la máquina

N.º	Símbolo en el plano	Componente	Especificación referencial	Cantidad	Función
1	QF1	Interruptor termomagnético bipolar	2 polos, 220 V AC, corriente nominal según motor	1	Proteger el circuito eléctrico ante sobrecorrientes y cortocircuitos.

N.º	Símbolo en el plano	Componente	Especificación referencial	Cantidad	Función
2	KM1	Contactor principal	Bobina según tensión de control, contactos principales para 220 V AC	1	Conectar y desconectar la alimentación del motor principal.
3	F1	Relé térmico	Rango de corriente ajustable según corriente nominal del motor	1	Proteger el motor ante condiciones de sobrecarga.
4	M1	Motor monofásico	220 V AC, 0,75 HP, 60 Hz	1	Accionar el sistema de transmisión de la máquina.
5	Off	Pulsador de apagado	Normalmente cerrado, contactos 11-12, color rojo	1	Detener el funcionamiento de la máquina.
6	On	Pulsador de marcha	Normalmente abierto, contactos 13-14, color verde	1	Iniciar el funcionamiento de la máquina.
7	Pem	Paro de emergencia	Tipo seta, enclavable, normalmente cerrado 11-12 y auxiliar 13-14	1	Detener inmediatamente la máquina al abrir el circuito de control y desenergizar el contactor KM1.
8	KM1	Contacto auxiliar de enclavamiento	Normalmente abierto	1	Mantener energizada la bobina del contactor después de soltar el pulsador de marcha.
9	F1	Contacto auxiliar del relé térmico	Normalmente cerrado	1	Abrir el circuito de control cuando exista sobrecarga en el motor.
10	QF1	Contacto auxiliar del interruptor termomagnético	Normalmente cerrado	1	Activar la señalización asociada al estado del interruptor termomagnético.
11	Ve	Luz piloto verde	Según tensión de control	1	Indica que la máquina se encuentra en marcha.
12	LM	Luz piloto amarilla	Según tensión de control	1	Indica que la máquina se encuentra con alguna falla.
13	Ro	Luz piloto roja	Según tensión de control	1	Indica que la máquina se encuentra detenida.
14	X1 / X2	Bornes de conexión de luces piloto	Terminales de conexión de las lámparas	Según diseño	Permitir la conexión eléctrica de las luces piloto del sistema.
15	PE	Conductor de protección a tierra	Conductor verde/amarillo, calibre según instalación	1	Conectar la carcasa del motor y la estructura metálica a tierra.
16	—	Cableado de potencia	Calibre seleccionado según corriente nominal del motor	Según diseño	Conducir la alimentación hacia el motor.
17	—	Cableado de control	Calibre para circuito de mando y señalización	Según diseño	Conectar pulsadores, bobina del contactor y luces piloto.
18	—	Gabinete eléctrico	Metálico o plástico industrial	1	Alojar los elementos eléctricos de protección, mando y señalización.

Las protecciones eléctricas y los calibres de los conductores se seleccionarán definitivamente con base en la corriente nominal del motor y las condiciones de la instalación, con el fin de garantizar un funcionamiento seguro del sistema.

3.11. Hojas de proceso

Las hojas de proceso fueron elaboradas con base en los planos mecánicos de fabricación de la máquina cortadora de masa. Cada hoja indica las operaciones principales que se deben realizar para fabricar o montar una pieza, así como las herramientas, los parámetros de trabajo necesarios y el método de verificación. Los elementos comerciales normalizados como motor, rodamiento, poleas, correas, ruedas, pernos y tuercas no necesitan hoja de fabricación, pero sí se consideran en las hojas de montaje.

Las hojas se encuentran al final del documento en los anexos después de los planos mecánicos y el plano eléctrico.

3.12. Costos finales de fabricación

3.12.1. Costos de mantenimiento

El modelo por diseñar está pensado para que pueda ser operado por una sola persona y que el mantenimiento también pueda ser realizado por la misma sin la intervención de un tercero para así reducir los gastos y mejorar el tiempo de producción.

Tabla 31
Duración estimada para el mantenimiento

Actividad	Tiempo
Desmontaje	45 min
Mantenimiento preventivo	30 min
Montaje	45 min
Total	2 horas

Con el tiempo total presentado en la Tabla 31, se estima que el costo de mantenimiento de la máquina sería aproximadamente de 16 USD, considerando el costo por hora de trabajo en el país.

Para detallar los costos de fabricación se tomó en cuenta el costo de material en el mercado local y el coste estimado de la mano de obra.

Tabla 32

*Costo de materiales en el mercado local***.**

Material	Cantidad	Valor unidad	Valor total
Plancha de acero inoxidable AISI 304 1.22*2.44 m	1	130,00	130
Pernos M5	8	0,75	6
Pernos M8	4	0,75	3
Tubo Estructural Cuadrado Galvanizado SAE J 403 1008 6 m	2	13,50	27
Polea trapezoidal SPZ/Z TB-SPZ 60X1-1008 o equivalente	4	2,00	8
Polea trapezoidal SPZ/Z TB-SPZ 200X1-2012 o equivalente	3	3,00	9
Correas	8	1,00	8
Rodamiento SKF 7307 ACCBM	17	5,00	85
Rodamiento SKF 7205 ACCBM	9	5,00	45
Motor monofásico 220V, 0.75 HP, 60 Hz	1	150,00	150
Ruedas con seguros	4	2,00	8
Eje AISI 304	3	20,00	60
Tuercas inoxidables	16	0,10	1,6
Costo total			404,6

3.12.2. Costos de mano de obra

Tabla 33

Costo mano de obra en el mercado local

Actividad	Costo
Soldadura	50
Torneado	40
Montaje	60
Total	150,00 $

Conclusiones

Se estudiaron las máquinas existentes y las necesidades de las pequeñas panaderías, para determinar las especificaciones técnicas del diseño. Se estableció una capacidad de tolva de 40 kg, una producción proyectada de entre 30 a 45 u/min porciones por minuto, alimentación eléctrica monofásica de 220 V, facilidad de operación por una sola persona, movilidad, seguridad y posibilidad de fabricación mediante procesos disponibles localmente.

Se diseñó el sistema mecatrónico de la máquina integrando los sistemas de alimentación, dosificación, corte, transmisión, transporte, estructura y control eléctrico. La alternativa elegida permitió llegar a una solución funcional, fabricable a nivel local y adecuada para ser operada por una sola persona.

La verificación se hizo estudiando la convergencia y comparando los resultados numéricos con los analíticos. El esfuerzo de Von Mises fue de 64,5 MPa analíticamente y de 59,04 MPa en la simulación, con un error de 8,47 %. El máximo desplazamiento fue de 0,08089 mm. El factor de seguridad analítico fue de 3,33 y el simulado de 3,34, con un error final de 0,30 % y una variación de 0,12 % entre las últimas mallas.

Recomendaciones

Se recomienda la construcción de un prototipo funcional para comprobar experimentalmente el desempeño de los sistemas de alimentación, dosificación, corte, transmisión y transporte, así como verificar la capacidad de producción alcanzada bajo condiciones reales de trabajo.

Se aconseja hacer pruebas con distintas formulaciones de masa, teniendo en cuenta variaciones de humedad, elasticidad y consistencia, para determinar la influencia que tienen sobre la fuerza de corte, la adherencia a las superficies y la uniformidad de las porciones obtenidas.

En investigaciones futuras se recomienda incorporar un sistema de pesaje mediante una celda de carga para medir la masa de cada porción y establecer mecanismos de ajuste que permitan disminuir la variabilidad del producto final.

Se plantea analizar la incorporación de sensores, un controlador programable y una interfaz HMI, con el fin de registrar la producción, detectar atascos, controlar la velocidad del proceso y generar alertas de funcionamiento.

Se sugiere complementar la verificación mediante estudios dinámicos, modales y de vibración, teniendo en cuenta las tensiones reales de las correas, el arranque del motor y las cargas variables que se producen durante el funcionamiento del mecanismo de corte.

Bibliografía

[1] M. Ari Ari, «Repositorio Institucional Continental,» 18 Agosto 2021. [En línea]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12394/9882. [Último acceso: 15 Noviembre 2022].

[2] J. M. Carbonell Bastidas, «Repositorio Digital USFQ,» 21 Diciembre 2017. [En línea]. Available: http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6953. [Último acceso: 16 Noviembre 2022].

[3] J. Wu, «Equipo de procesamiento de masa,» ETW International Inc, [En línea]. Available: http://machinery-bakery.com.ar/1-1-dough-divider.html. [Último acceso: 4 Mayo 2024].

[4] D. A. Tamayo Perez y J. J. Pérez Quevedo, «Mejora de diseño para un cortador divisor neumático para masa de harina de trigo,» 22 Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7162. [Último acceso: 12 Noviembre 2022].

[5] E. García Ramírez, L. D. Alcaya Acosta, Y. E. Reyes Martínez y J. J. Maldonado García, «DISEÑO DE UNA MÁQUINA BOLEADORA PARA INDUSTRIA PANIFICADORA (DESIGN OF A BOLLING MACHINE FOR THE BAKING INDUSTRY),» *PISTAS EDUCATIVAS,* vol. 43, nº 139, pp. 334-342, 2021.

[6] S. G. Torres, M. O. Nieto López, G. Sauza Salinas y G. Sauza Salinas, «Boleadora de masa (Boleatec),» *Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica,* vol. 3, nº 3, pp. 1-10, 2019.

[7] S. M. García Castro, «Reducción del sobrepeso en masas procesadas por la máquina boleadora en la línea de panadería de la empresa paniqueso,» 1 Febrero 2017. [En línea]. Available: https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/5934aea6-d32e-4186-bec0-871d2f1dc6b9. [Último acceso: 16 Noviembre 2022].

[8] V. Fedoriv, M. Stechyshyn, A. Martynyuk y V. Liukhovets, «Designing the Impact of Operational Processes of Dough Dividing Machines,» *Modern Engineering and Innovative Technologies,* vol. XXXIX, nº 2, pp. 20-31, 2025.

[9] M. H. Beheshti, M. Jafarizaveh, S. E. Samaei, S. Vosoughi, M. Borhani Jebeli y G. Zia, «Study of Biomechanical Risk Factors for Musculoskeletal Disorders in the Bakery Business Based on ART and OCRA Index,» *Archives of Occupational Health,* vol. V, nº 2, pp. 1000-1011, 2021.

[10] D. González Maestre, «Ergonomía: Conceptos y objetivos.,» de *Ergonomía y psicosociología.*, Madrid, FC Editorial, 2007, pp. 40-41.

[11] L. Duran-flores y B. Sausa-avila, «Ergonomía , concepto y aplicación,» *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior de Cd. Sahagún,* pp. 101-103, 2019.

[12] C. A. Montilla Montaña, «Sistemas de mantenimiento,» de *Mantenimiento industrial y su administración*, Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, 2019, pp. 43-52.

[13] Automatisierungstechnik, VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und, «VDI/VDE 2206: Development of Mechatronic and Cyber-Physical Systems,» Düsseldorf, 2021.

[14] L. W. Hernández González, A. M. Quesada Estrada, L. Dumitrescu y R. Pérez, «Experiencias en la selección de aceros asistida por computadoras en la carrera de ingeniería mecánica,» *Ciencias Holguín,* vol. XVI, nº 1, pp. 1-12, 2010.

[15] Verein Deutscher Ingenieure, «Konstruktionsmethodik—Technisch-wirtschaftliches Konstruieren—Technisch-wirtschaftliche Bewertung,» Düsseldorf, 1998.

[16] OpenAI, «Imágenes generadas mediante inteligencia artificial para el desarrollo de la tesis,» ChatGPT, 2026. [En línea].

[17] L. F. Cordero Rivadeneira, «Gob.ec PORTAL UNICO DE TRÁMITES CIUDADANOS,» 21 Febrero 2003. [En línea]. Available: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-

11/Documento_Reglamento-Interno-Seguridad-Ocupacional-Decreto-Ejecutivo-2393_0.pdf. [Último acceso: 22 Mayo 2024].

[18] International Organization for Standardization, «Safety of Machinery—General Principles for Design—Risk Assessment and Risk Reduction,» Geneva, 2010.

[19] International Organization for Standardization, «Safety of Machinery—Hygiene Requirements for the Design of Machinery,» Geneva, 2002.

[20] G. A. Orozco Loayza, «Desarrollo de una interfaz hombre-máquina aplicado a un sistema de detección de fallos en una planta intercambiador de calor,» Agosto 2013. [En línea]. Available: https://tesis.pucp.edu.pe/items/9098f418-44f5-4383-a174-e846513b6b53. [Último acceso: 10 Junio 2024].

[21] Import Aceros, «ACERO INOXIDABLE 304 DESCRIPCIÓN,» 2021. [En línea]. Available: https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/importaceros-acero-inoxidable-304.pdf. [Último acceso: 17 abril 2026].

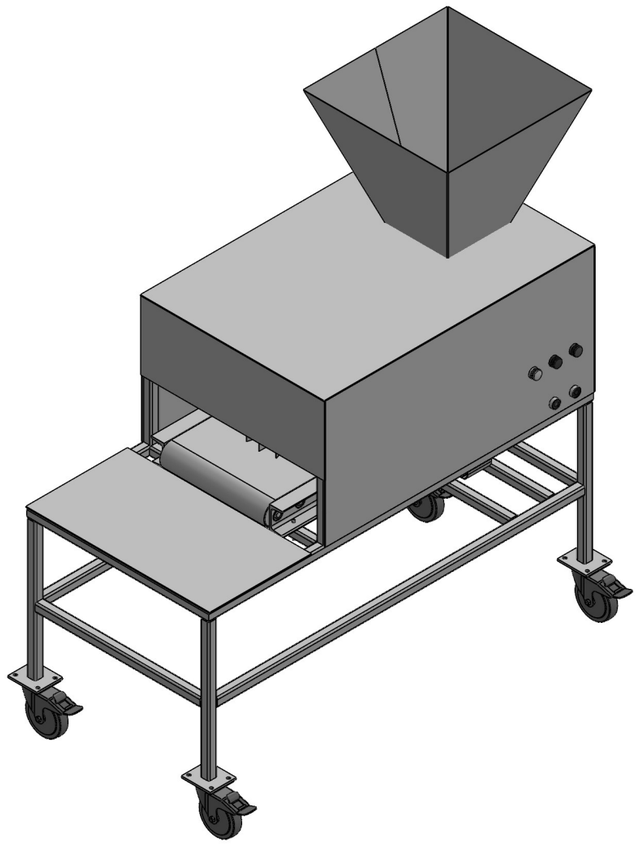
[22] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, «Fallas por fatiga debidas a cargas variables,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGraw Hill, 2012, pp. 253-341.

[23] R. L. Mott, «Diseño de una transmisión mecanica,» de *Diseño De Elementos De Maquinas*, México, Pearson Educación, 2006, pp. 261-277.

[24] SKF, «Selección del tamaño basada en la carga estática,» AB SKF, [En línea]. Available: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf. [Último acceso: 20 Junio 2024].

[25] D. L. Logan, A First Course in the Finite Element Method, 6 ed., Boston, Massachusetts: Cengage Learning, 2016.

ANEXOS

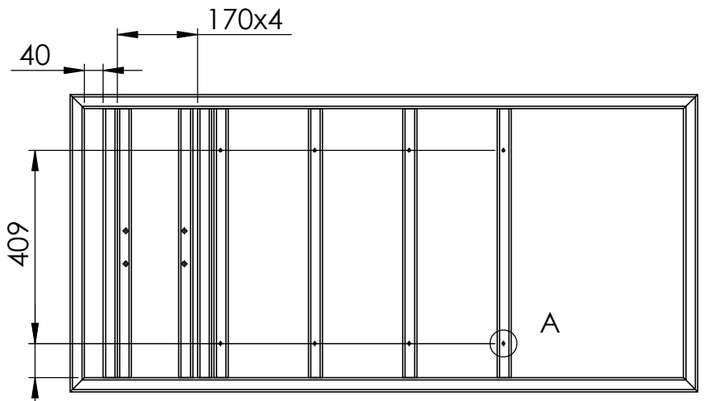


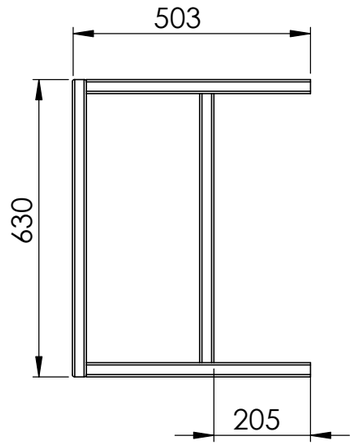
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Mesa	MC-01-00	1
2	Banda	MC-02-00	1
3	Cuchilla corte	MC-03-00	1
4	Cuchilla divisora	MC-04-00	2
5	Eje cuchilla	MC-05-00	2
6	Tolva	MC-06-00	1
7	Caja corte	MC-07-00	1
8	Soporte CajaC	MC-08-00	1
9	Rampa	MC-09-00	1
10	Planchatrasera	MC-10-00	1
11	Planchadelantera	MC-11-00	1
12	Planchaizquierda	MC-12-00	1
13	Planchaderecha	MC-13-00	1
14	PlanchaSuperior	MC-14-00	1
15	PlanchaMesa	MC-15-00	1
16	SoporteLeva	MC-16-00	2
17	MotorMonofasico	220V-0,75 HP-60HZ	1
18	TB-SPZ 60X1-1008	Polea trapezoidal SPZ/Z 60 mm	7
19	Soporte poleas	MC-17-00	2
20	EjePoleas	MC-18-00	1
21	TB-SPZ 200X1-2012	Polea trapezoidal SPZ/Z 200 mm	3
22	Rueda	RODILLO D125	4
23	BaseRueda	MC-19-00	4
24	SobreMesa	MC-20-00	1
25	BotonOff	Botón pulsante rojo Schneider Electric	1
26	BotonOn	Botón pulsante verde Schneider Electric	1
27	LucesPilotoR	Luz piloto led rojo 220V	1
28	LucesPilotoV	Luz piloto led verde 220V	1
29	SKF 7205 ACCBM	SKF 7205 ACCBM	8
30	LucesPilotoA	Luz piloto led amararillo 220V	1

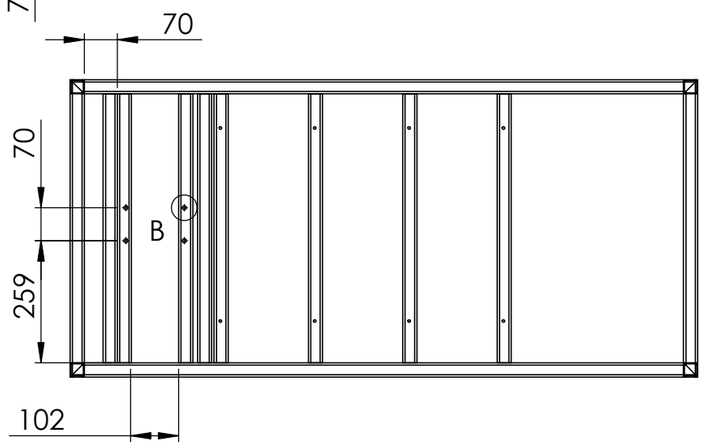
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE — UTN — IBARRA - ECUADOR

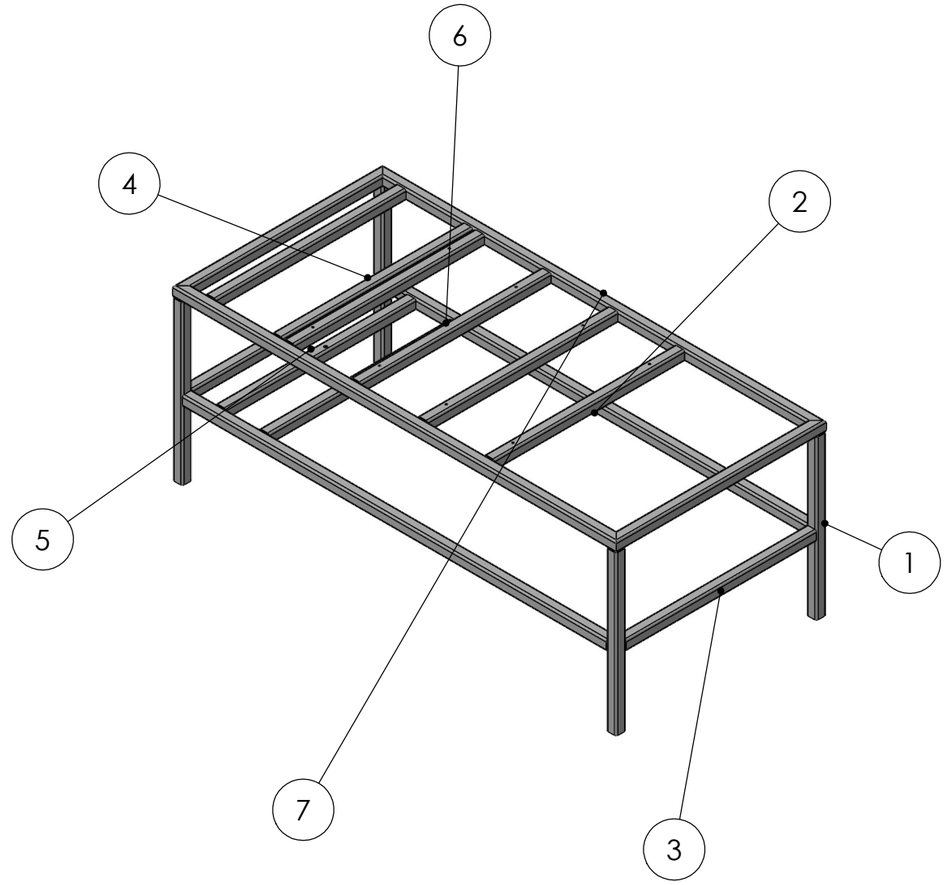
PROYECTO:	Cortadora de masa				ESCALA: 1:15	
PARTE:	Ensamble principal					
CÓDIGO:	MC-00-00				TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	Varia por componente	DISEÑÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA:	
TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	1 DE 30	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno	REVISÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:				

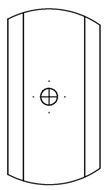
FICA **CIME**



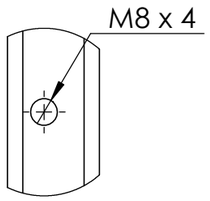








DETALLE A
ESCALA 1 : 2



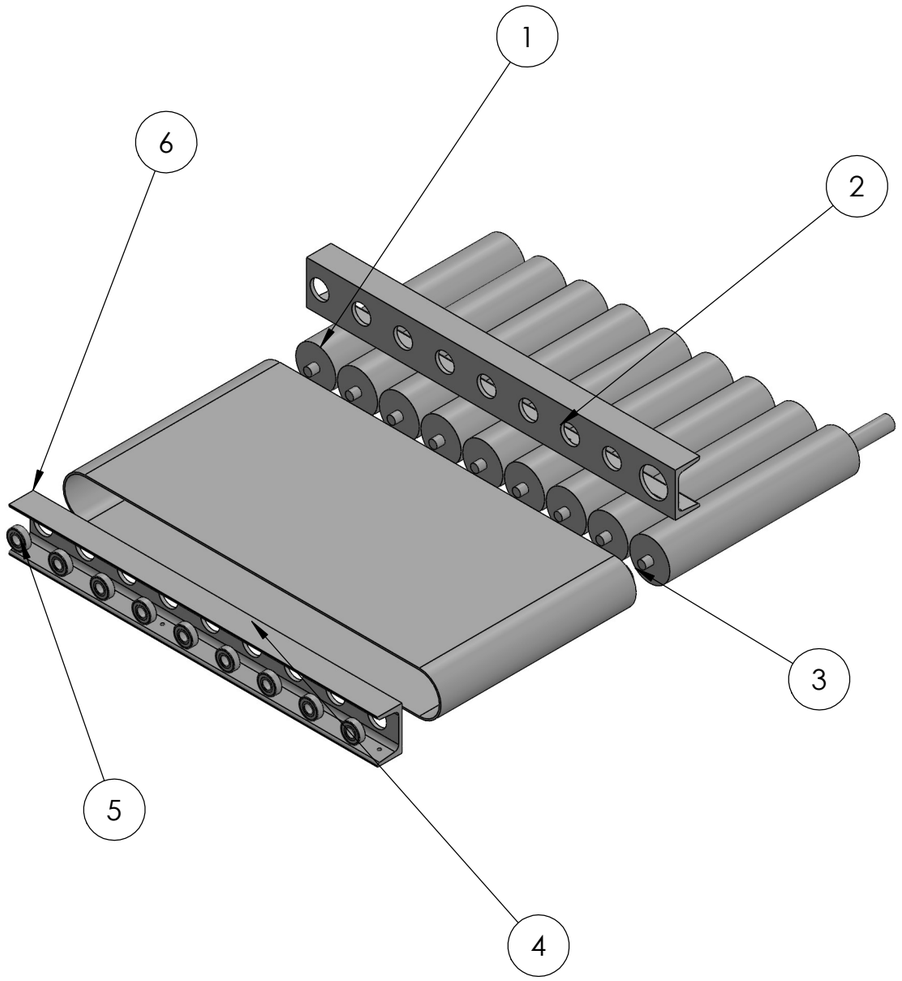
DETALLE B
ESCALA 1 : 2

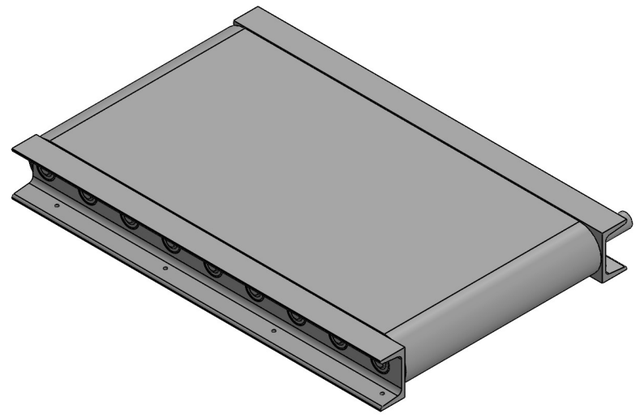
N° de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	4	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	475
2	2	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	1270
3	2	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	570
4	2	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	569.8
5	2	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	569.8
6	4	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	569.8
7	1	Tubo mecánico cuadrado galvanizado 30x30x2	3920

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

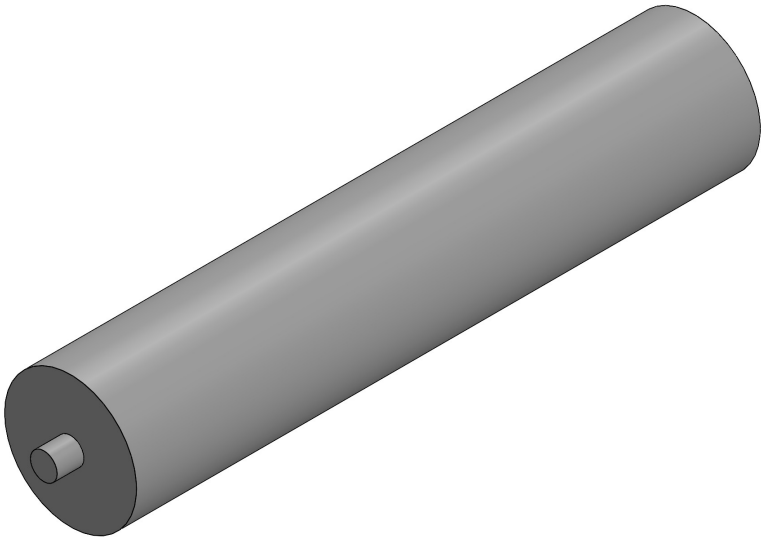
PROYECTO:	Cortadora de masa			ESCALA: 1:13	
PARTE:	Mesa				
CÓDIGO:	MC-01-00			TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	Aero galvanizado	DISEÑÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA:
TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	2 DE 30
RECUBRIMIENTO:	Ninguno	REVISÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:			

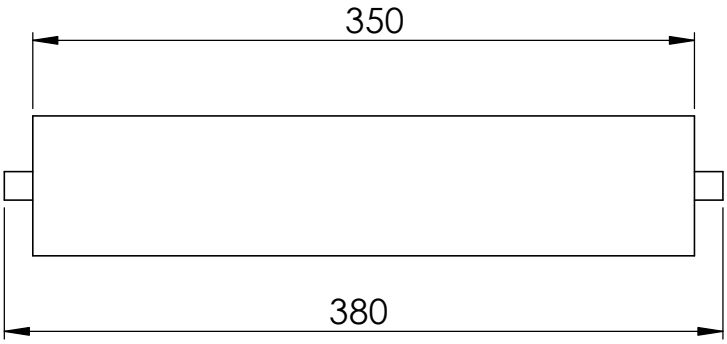


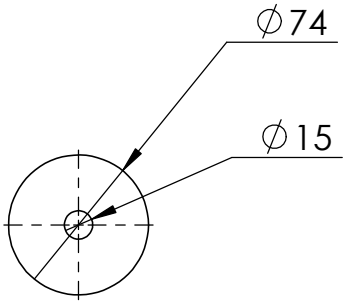


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	RodilloS	MC-02-01	8
2	BaseI	MC-02-02	1
3	RodilloP	MC-02-03	1
4	Banda	MC-02-04	1
5	SKF BALL BEARING S7202 ACD	SKF 7307 ACCBM	17
6	BaseD	MC-02-05	1
7	SKF 7205 ACCBM	SKF 7205 ACCBM	1

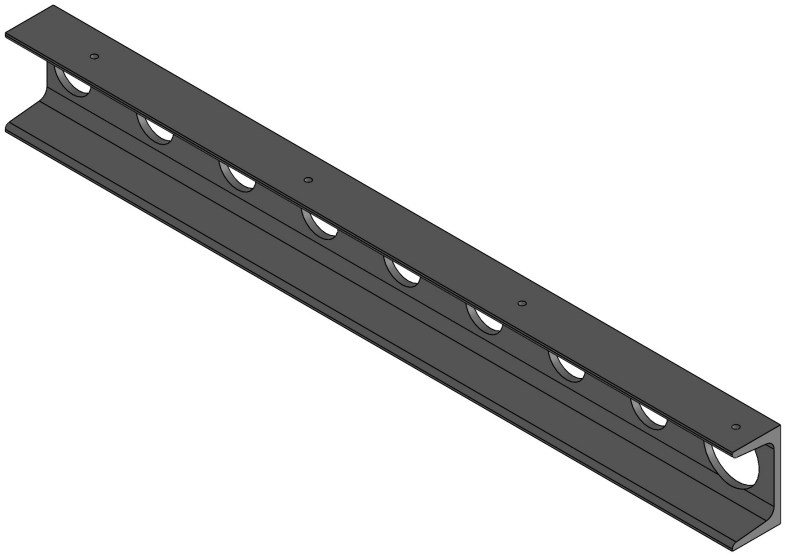
FICA	CIME	PROYECTO:	Cortadora de masa			ESCALA: 1:8	
		PARTE:	Banda transportadora				
		CÓDIGO:	MC-02-00			TOLERANCIA: 0.5mm	
		MATERIAL:	Varios	DISEÑÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA:
		TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	3 DE 30
		RECUBRIMIENTO:	Ninguno	REVISÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:			

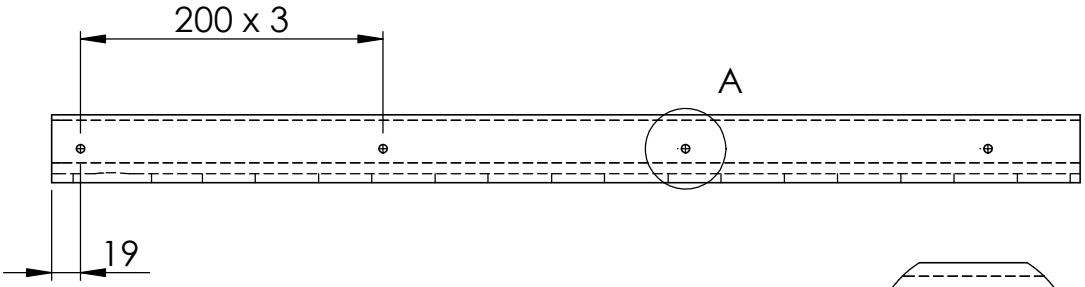


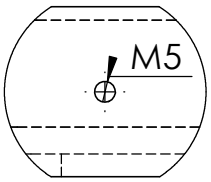




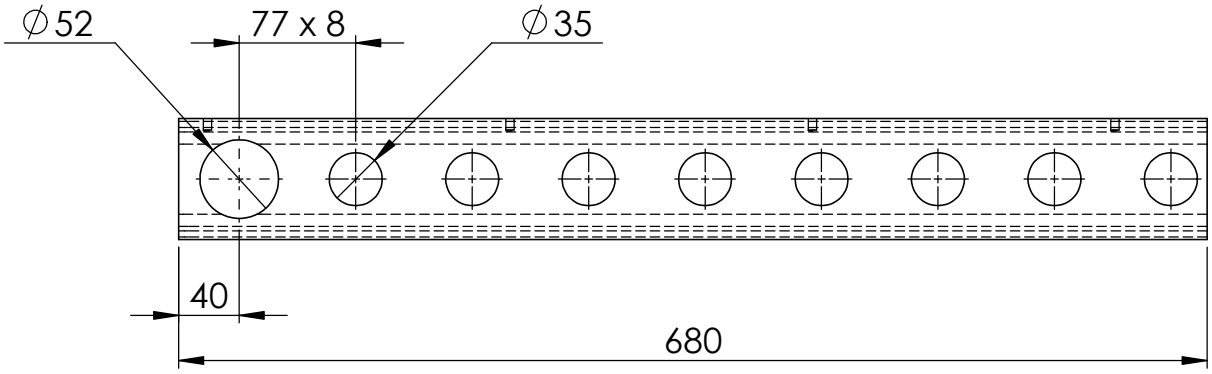
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-02-01		
	MATERIAL: Eje AISI 304	Cantidad: 8	
	DISEÑÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA
	DIBUJÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
FICA CIME	REVISÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	4 de 30
	APROBÓ		







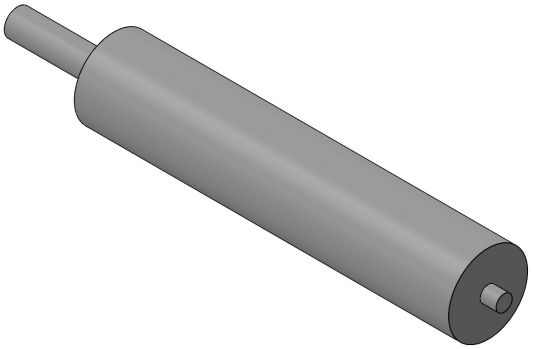
DETALLE A
ESCALA 1 : 2

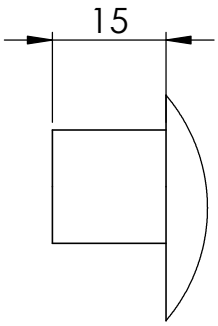


FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-02-02		
	MATERIAL: UPN 80		
	DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04
	DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04
	REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04
	APROBÓ		

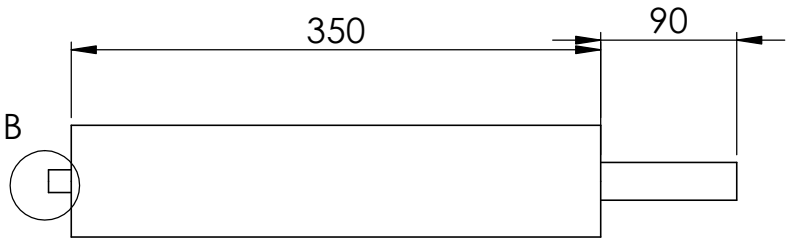
HOJA

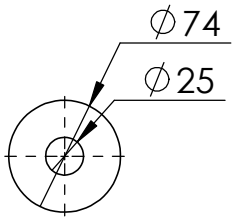
5 de 30





DETALLE B
ESCALA 1 : 1

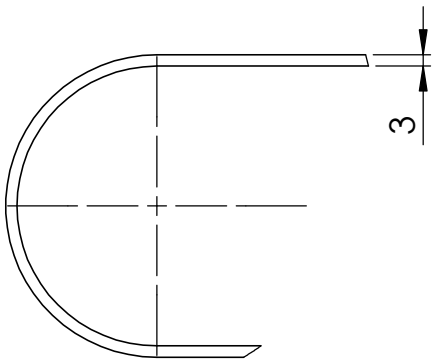




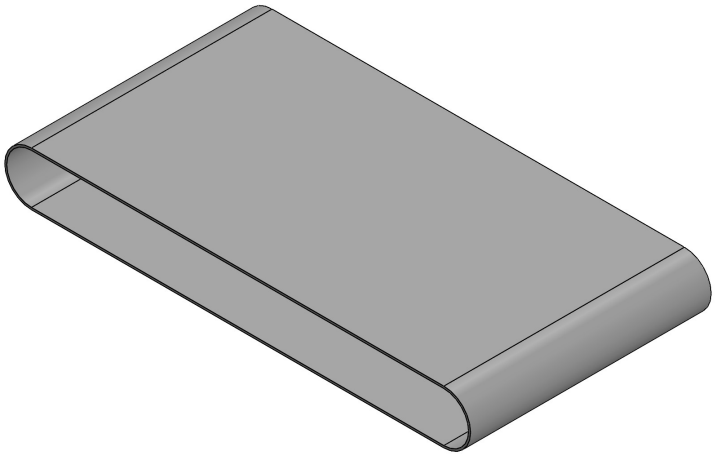
FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-02-03		
	MATERIAL: AISI 304		
	DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04
	DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04
	REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04
	APROBÓ		

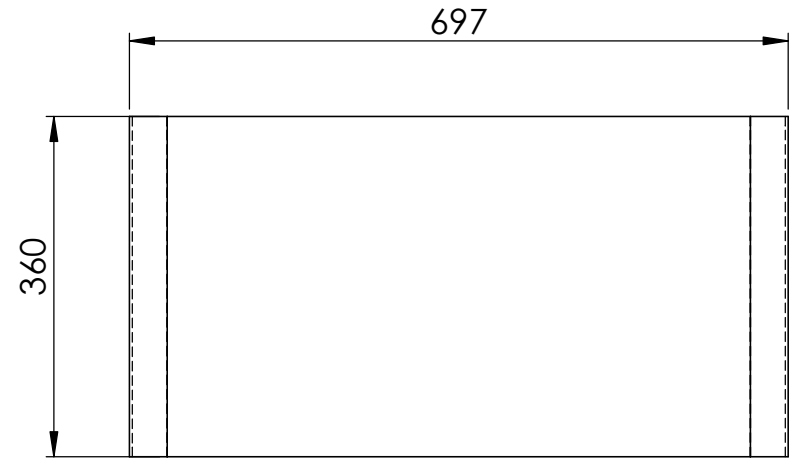
HOJA

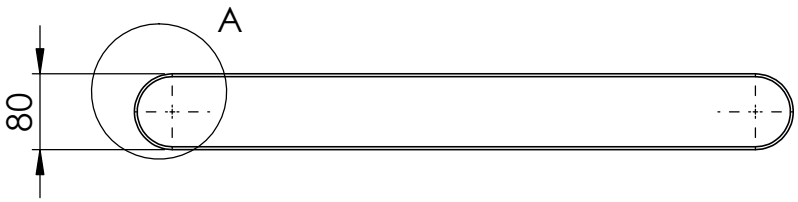
6 de 30



DETALLE A
ESCALA 1 : 2





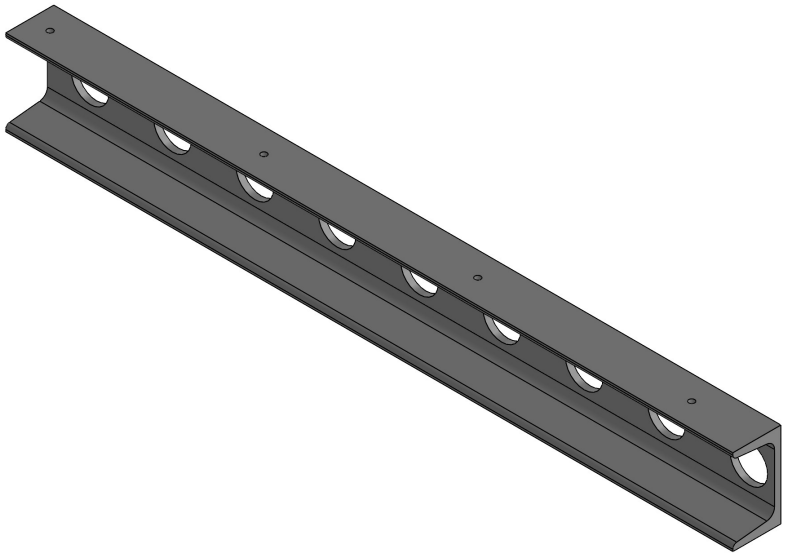


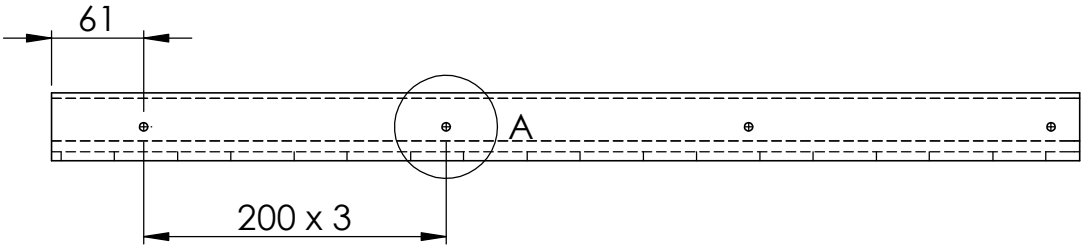
Nota: La banda del tipo sin fin tiene una longitud nominal de 1476 mm, un espesor de 3 mm y una superficie lisa.

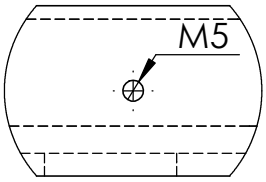
PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:10
CÓDIGO: MC-02-04			
MATERIAL: PVC grado alimenticio		CANTIDAD 1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 7 de 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE — UTN — IBARRA - ECUADOR

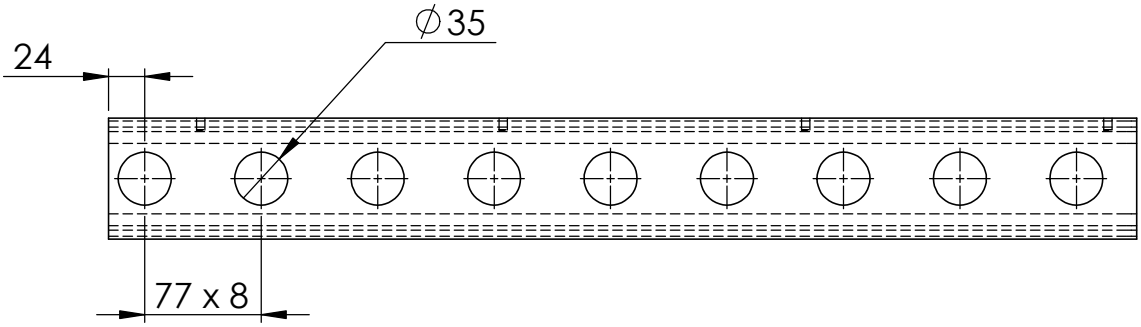
FICA | CIME







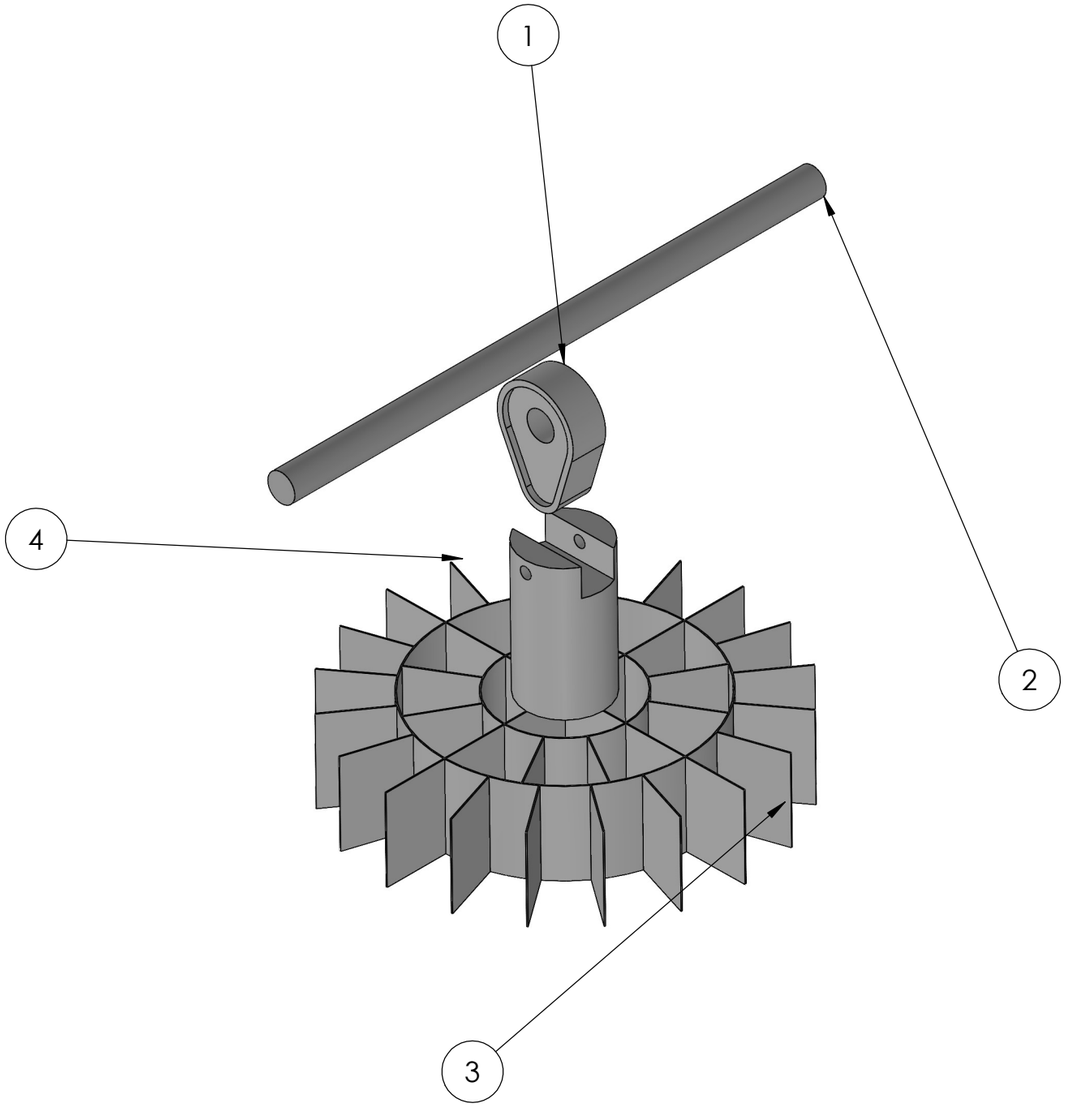
DETALLE A
ESCALA 1 : 2

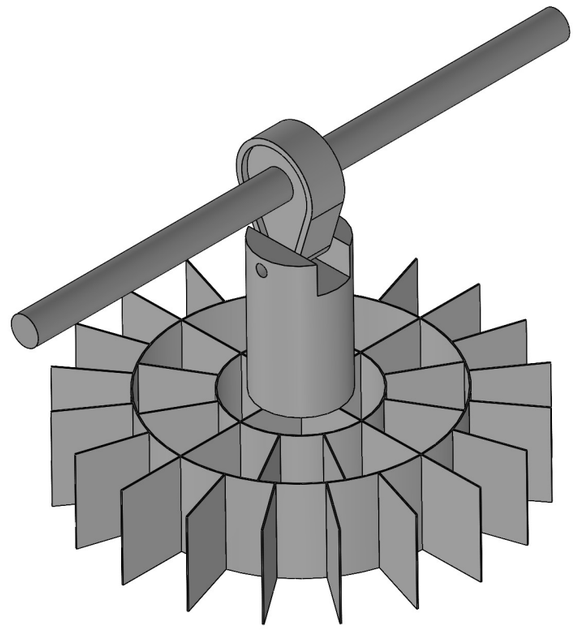


PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:5
CÓDIGO: MC-02-05			
MATERIAL: UPN 80	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 8 de 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE — UTN — IBARRA - ECUADOR

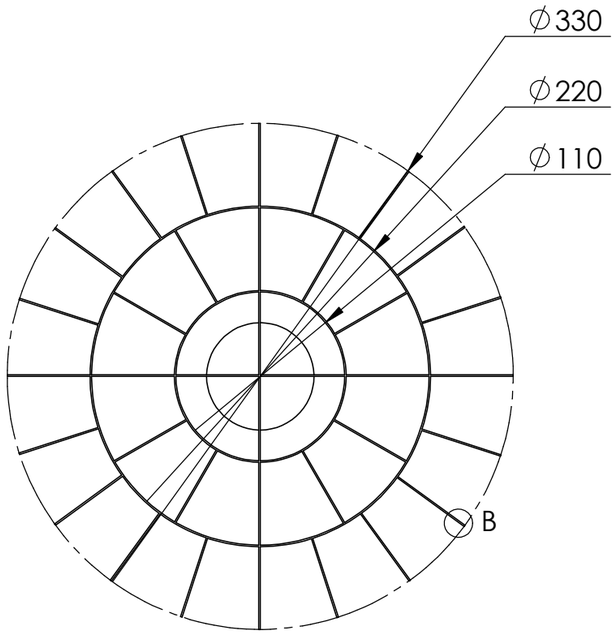
FICA | CIME

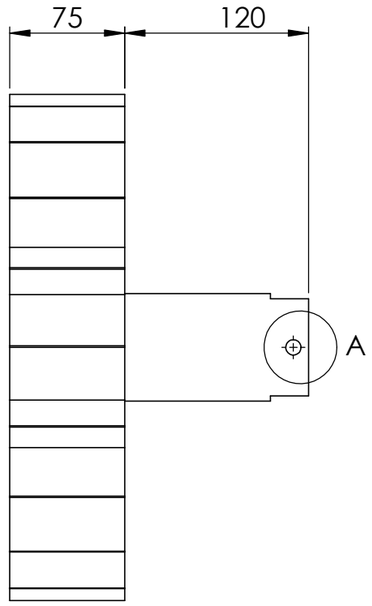


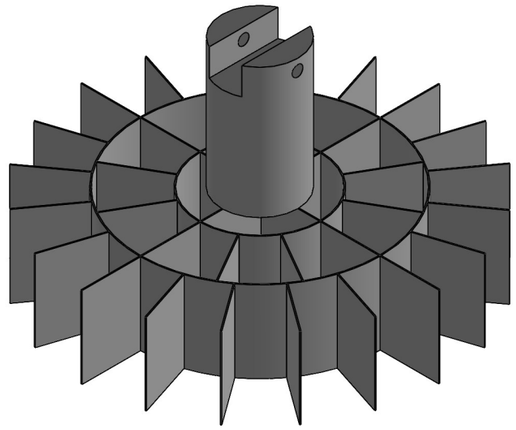


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Leva	MC-03-03	1
2	EjeLeva	MC-03-02	1
3	Cortadora	MC-03-01	1
4	Prisionero leva	MC-03-04	2

FICA	CIME	PROYECTO:	Cotadora de masa			ESCALA: 1:4	
		PARTE:	Cuchilla cortadora				
		CÓDIGO:	MC-03-00			TOLERANCIA: 0.5mm	
		MATERIAL:	Varios	DISEÑÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA:
		TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	9 DE 30
		RECUBRIMIENTO:	Ninguno	REVISÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	
		CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:			

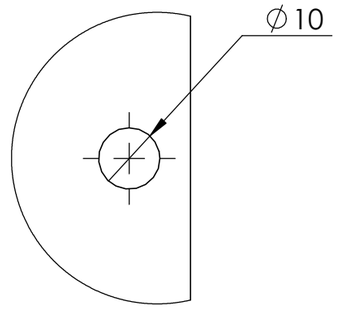




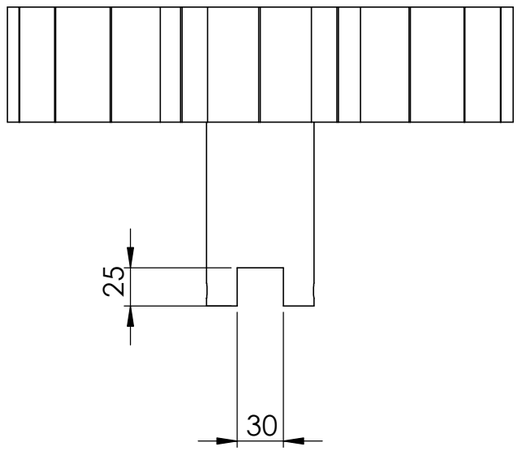




DETALLE B
ESCALA 1 : 1

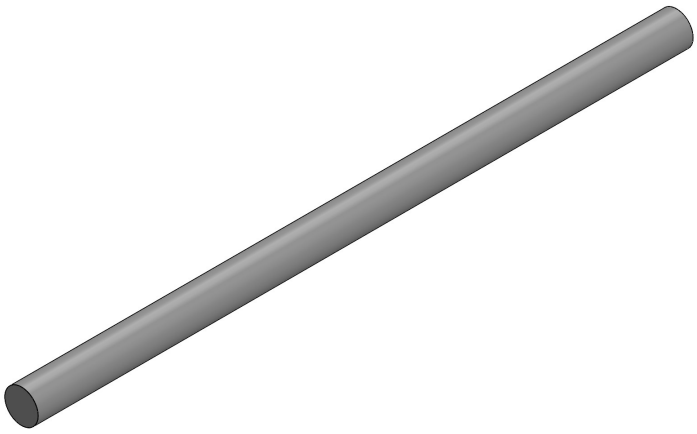


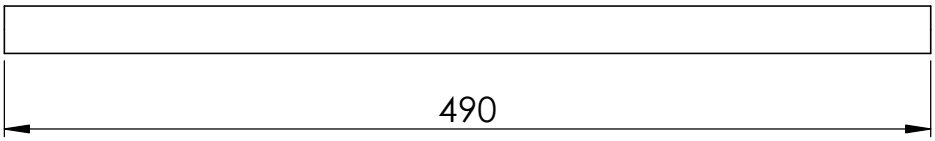
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

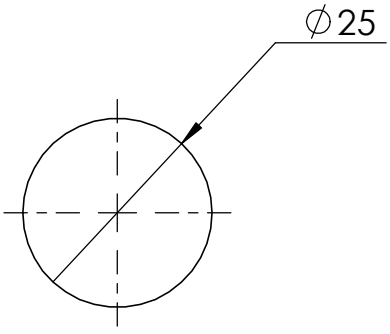


Para la cuchilla cortar 36 fragmentos y soldarlos segun la forma que se observa

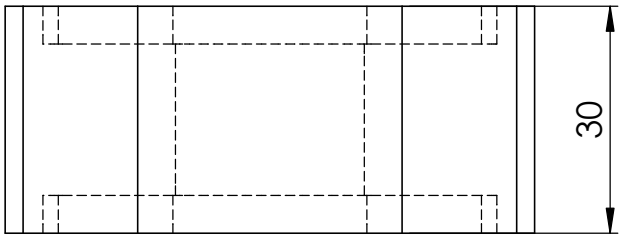
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO:	Cortadora de masa			ESCALA: 1:4	
	PARTE:	Cuchilla				
	CÓDIGO:	MC-03-01			TOLERANCIA: 0.5mm	
	MATERIAL:	AISI 304	DISEÑÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA:
	TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	10 DE 30
FICA / CIME	RECUBRIMIENTO:	Ninguno	REVISÓ:	A. Vizcaino	2026-07-04	
	CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:			

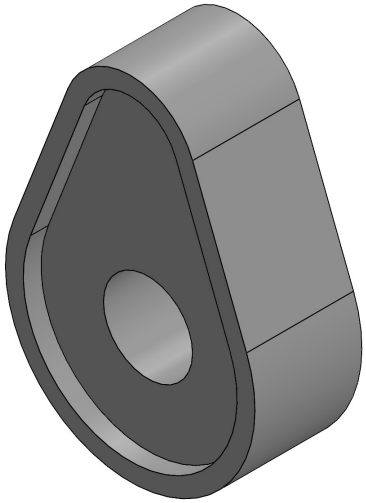


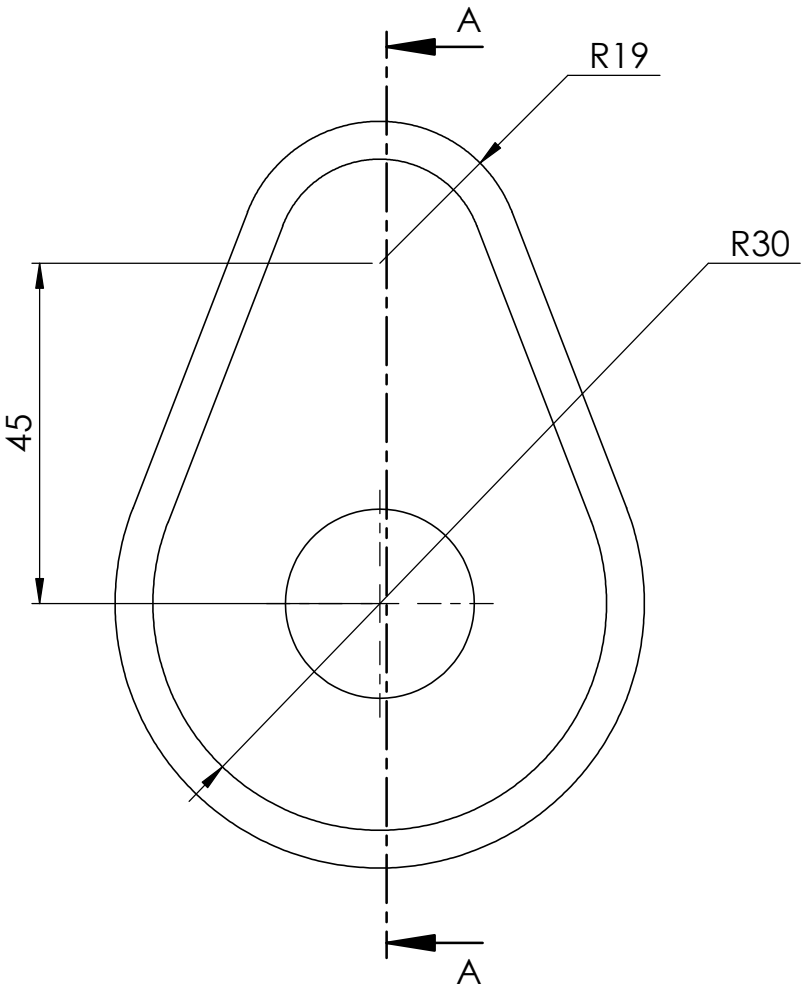


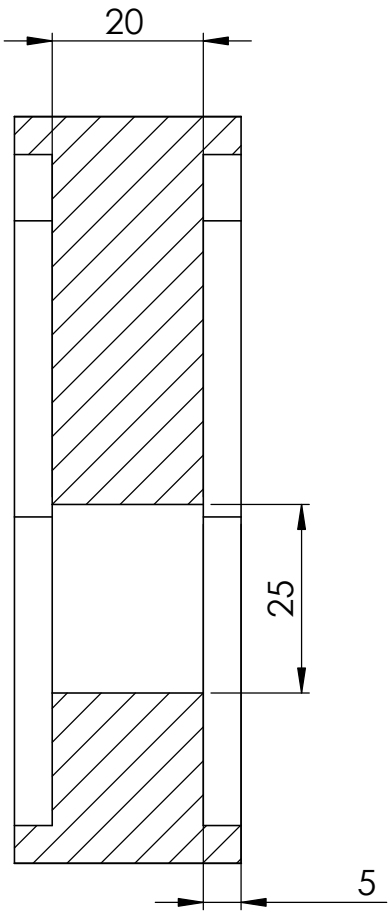


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:3
	CÓDIGO: MC-03-02		
	MATERIAL: AISI 304	CANTIDAD: 1	
	DISEÑÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA
	DIBUJÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	11 de 30
FICA CIME	REVISÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ:		



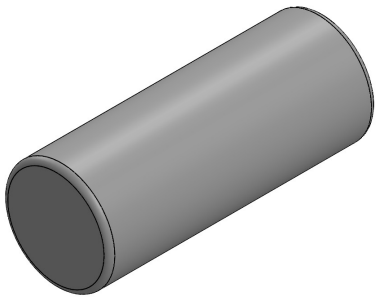


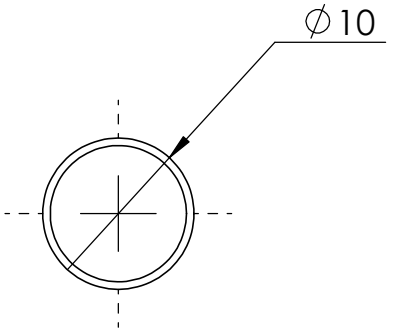


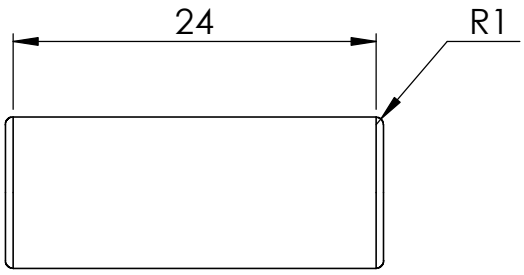


SECCIÓN A-A

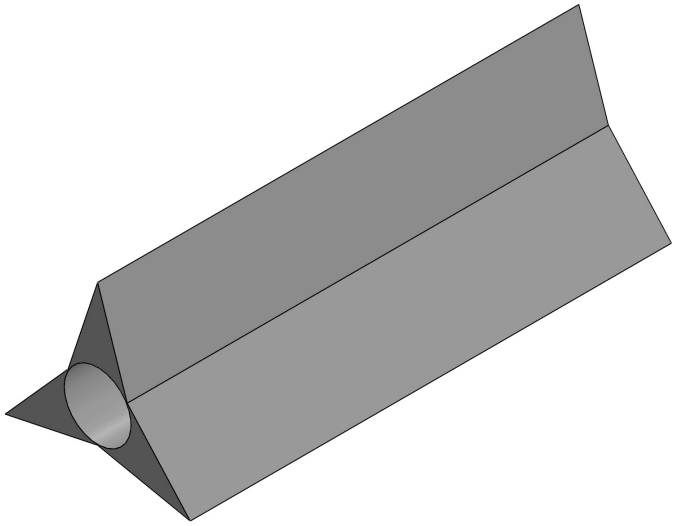
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE – UTN – IBARRA - ECUADOR	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:1
	CÓDIGO: MC-03-03		
	MATERIAL: AISI 304	CANTIDAD: 1	
	DISEÑÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 12 de 29
	DIBUJÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
FICA CIME	REVISÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ:		

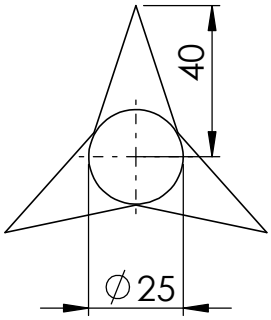


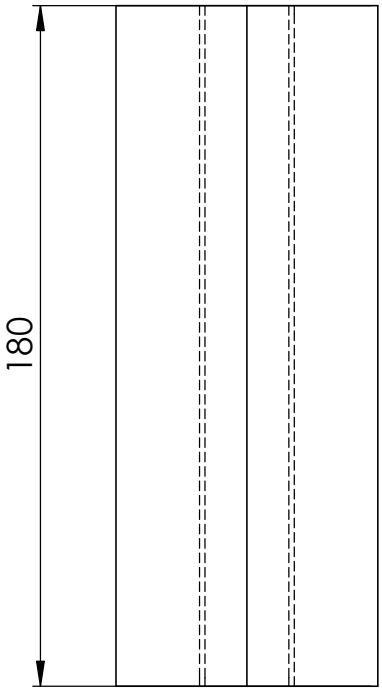




FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:1
	CÓDIGO: MC-03-04		
	MATERIAL: Eje AISI 304 1/2"	CANTIDAD 1	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 13 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		



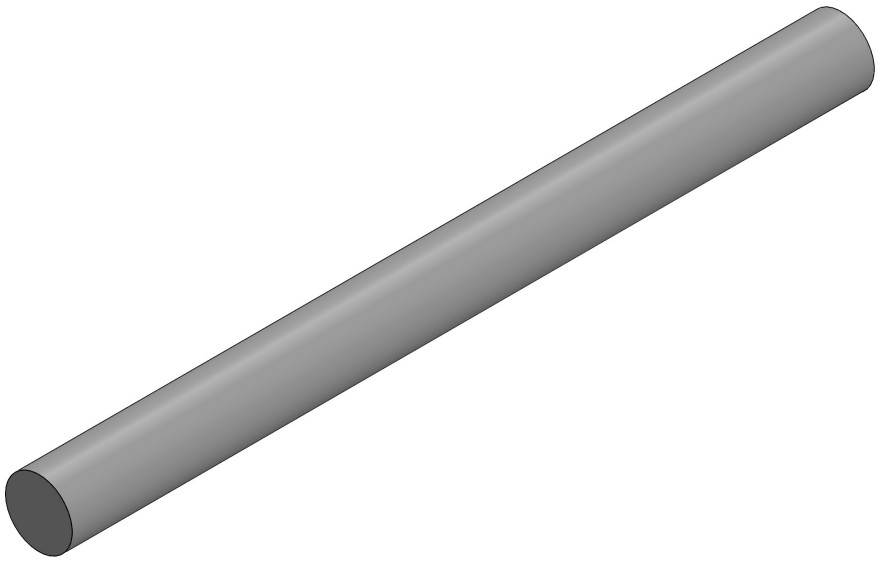


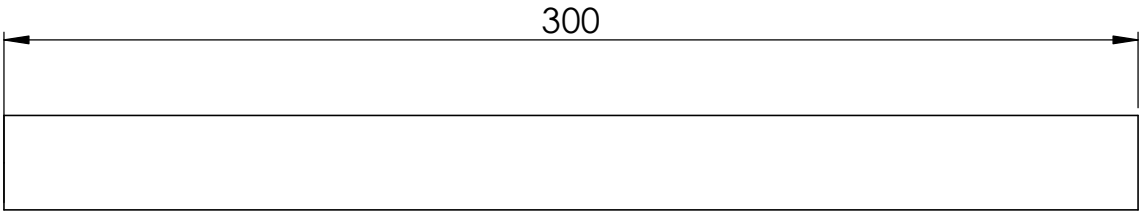


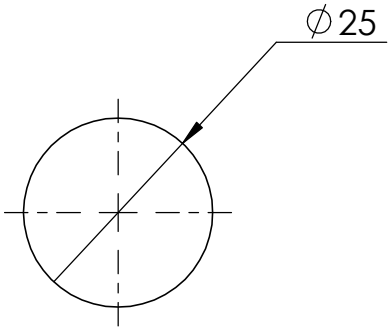
PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:2
CÓDIGO: MC-04-00			
MATERIAL: AISI 304	CANTIDAD	2	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 14 DE 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE — UTN — IBARRA - ECUADOR

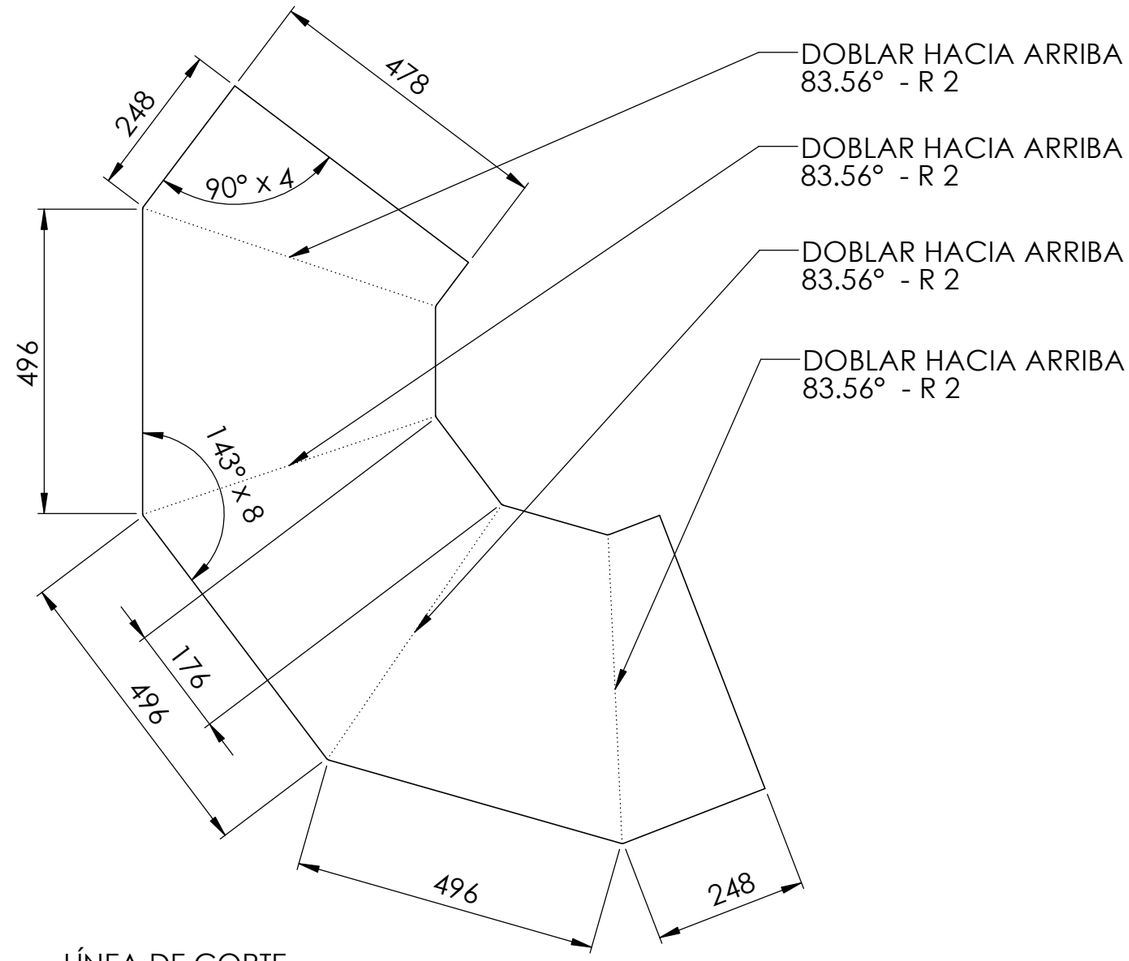
FICA | CIME

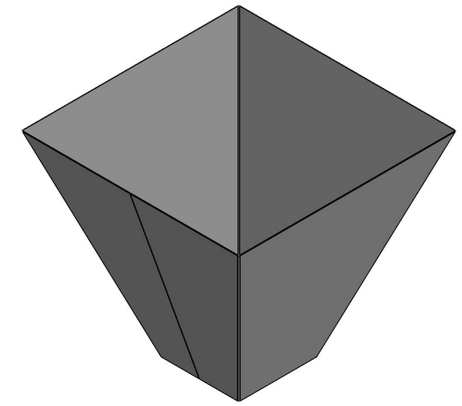


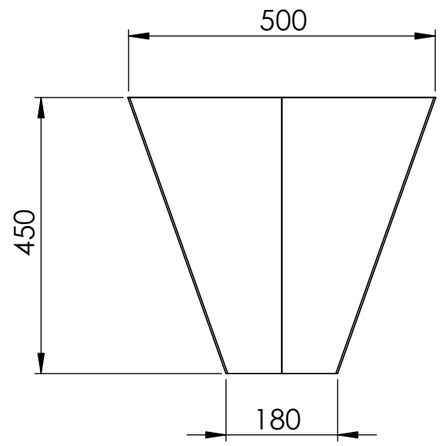




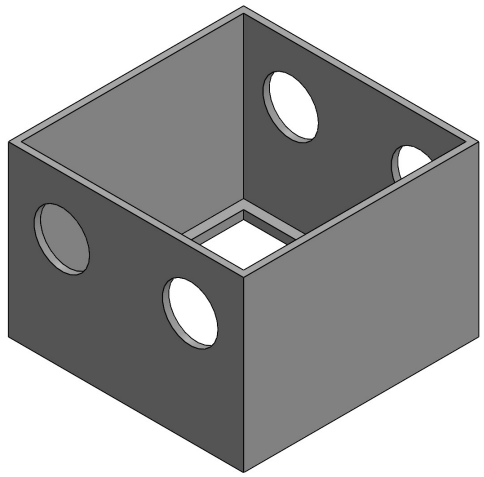
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE – UTN – IBARRA - ECUADOR	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:2
	CÓDIGO: MC-05-00		
	MATERIAL: Eje AISI 304 2"	CANTIDAD: 1	
	DISEÑÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 15 DE 30
	DIBUJÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
FICA CIME	REVISÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ:		

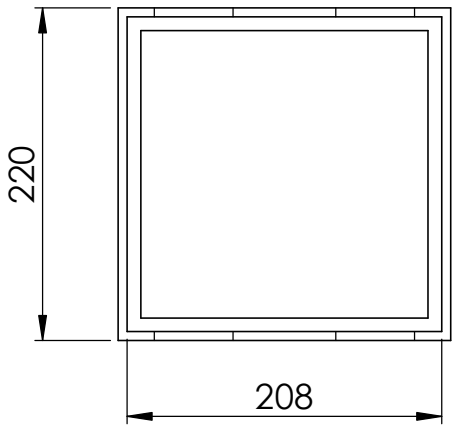


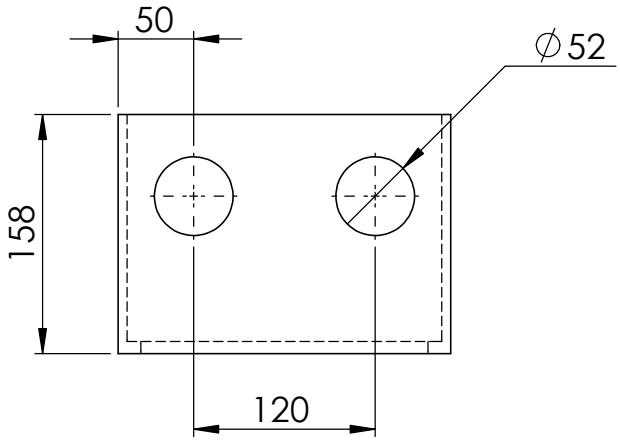


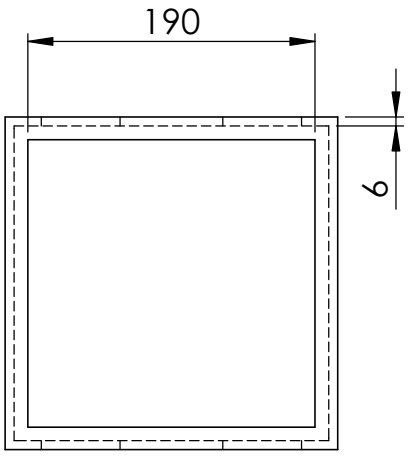


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE – IBARRA - ECUADOR		PROYECTO:	Cortadora de masa		ESCALA: 1:10	
		PARTE:	1			
		CÓDIGO:	MC-06-00		TOLERANCIA: 0.5mm	
		MATERIAL:	AISI 304	DISEÑÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA:
		ESPESOR	2 mm	DIBUJÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	16 DE 30
FICA	CIME	RECUBRIMIENTO:	Ninguno	REVISÓ: A. Vizcaino	2026-07-04	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:		

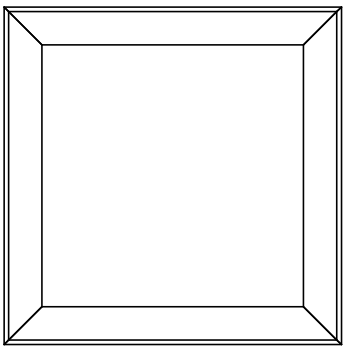


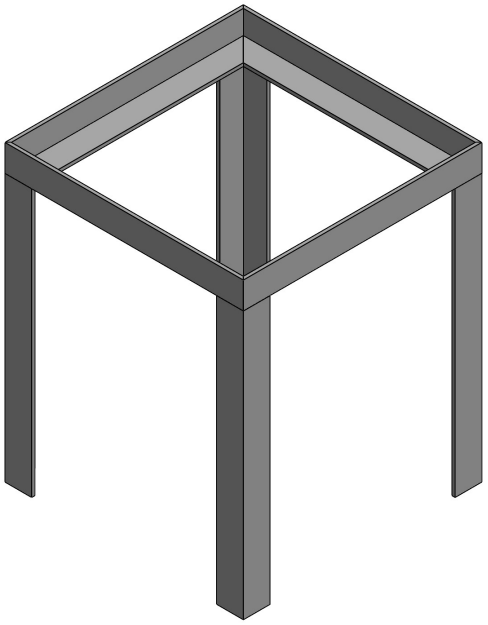


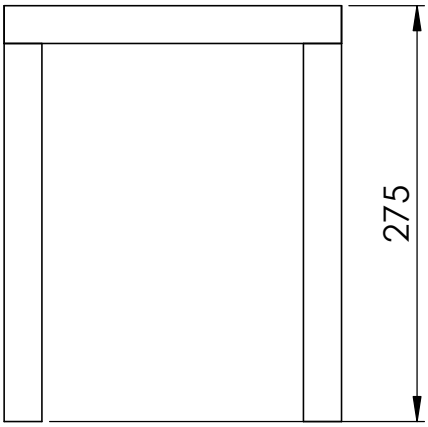




UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE – UTN – IBARRA - ECUADOR	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-07-00		
	MATERIAL: Plancha AISI 304 6mm	CANTIDAD 1	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 17 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
FICA CIME	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		



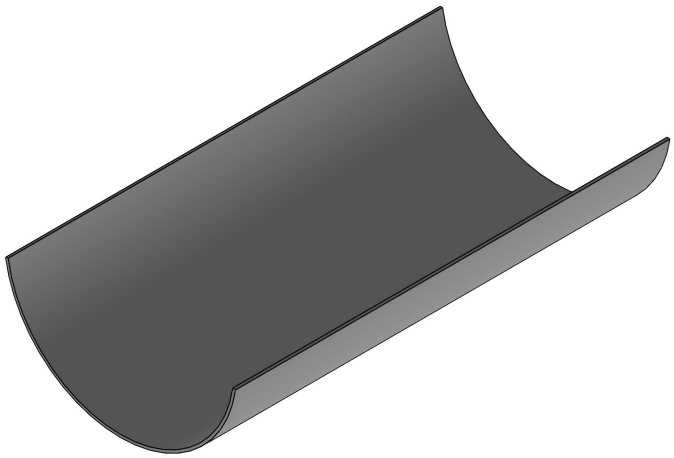


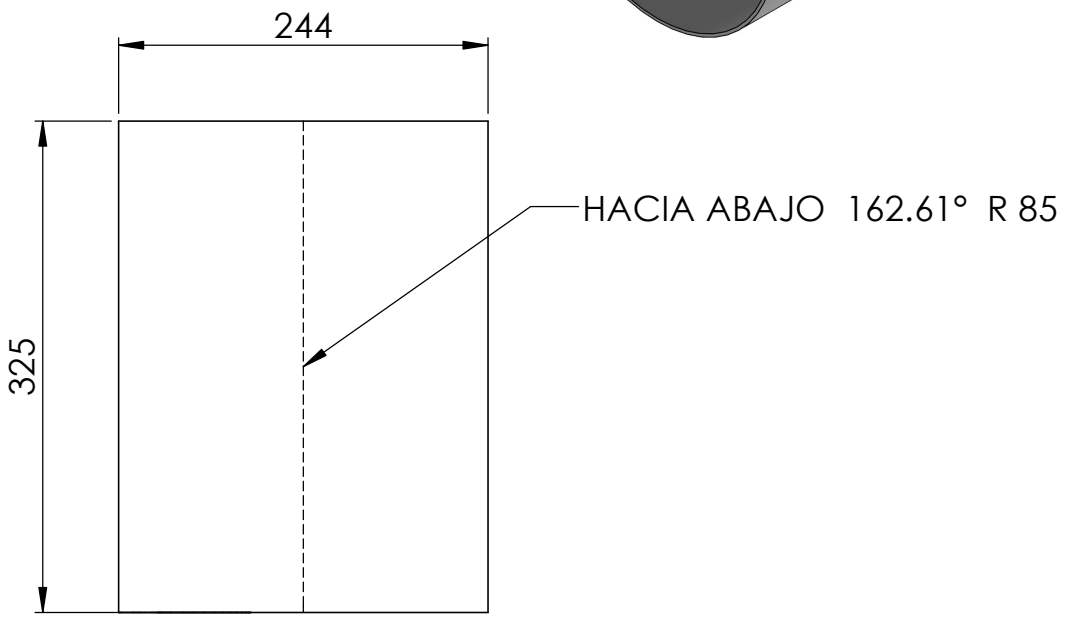


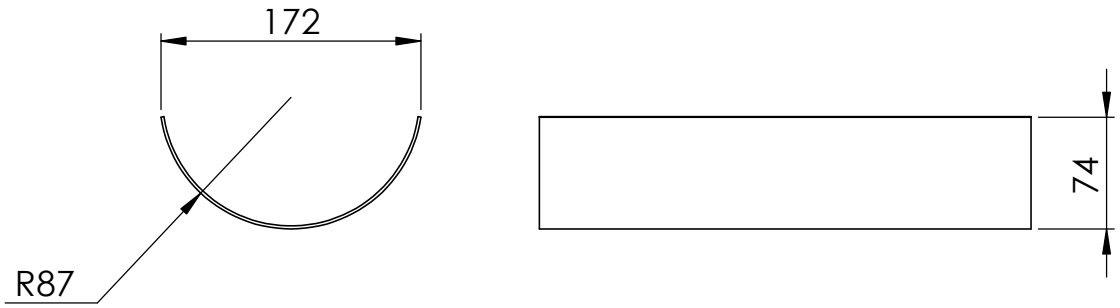
N° de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	4	Angulo AISI 304 25X25X3MM	223
2	4	Angulo AISI 304 25X25X3MM	250

PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:5
CÓDIGO: MC-08-00			
MATERIAL: Angulo AISI 304	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	18 DE 30
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

FICA CIME

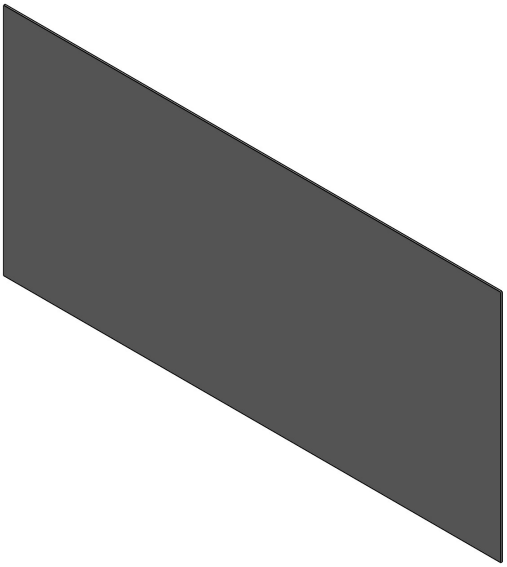


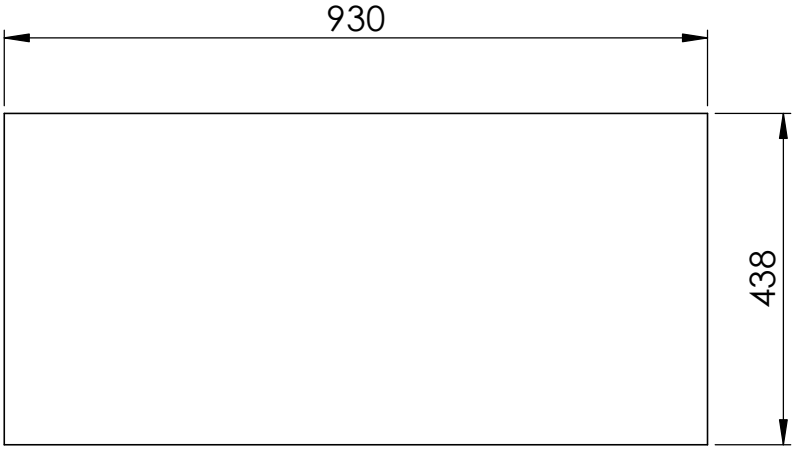




Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-09-00		
	MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD 1	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 19 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		

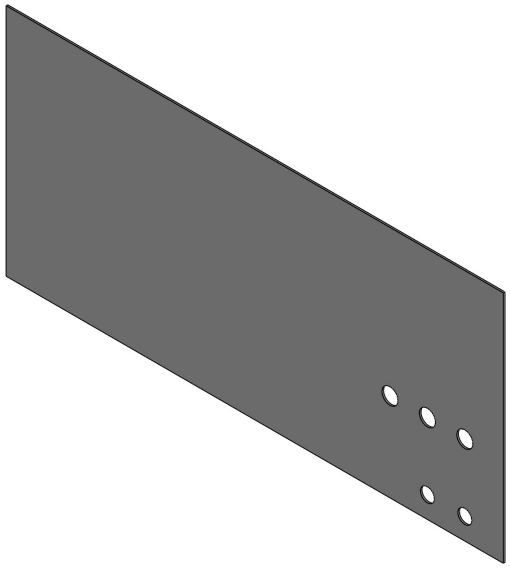


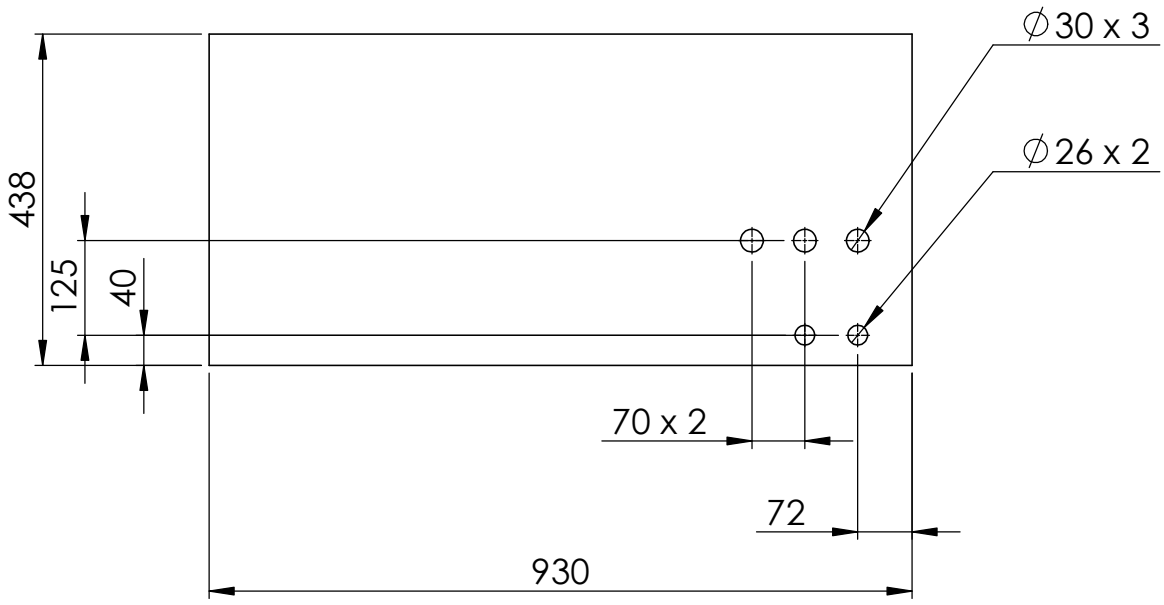


Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:10
CÓDIGO: MC-10-00			
MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 20 DE 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

FICA | CIME

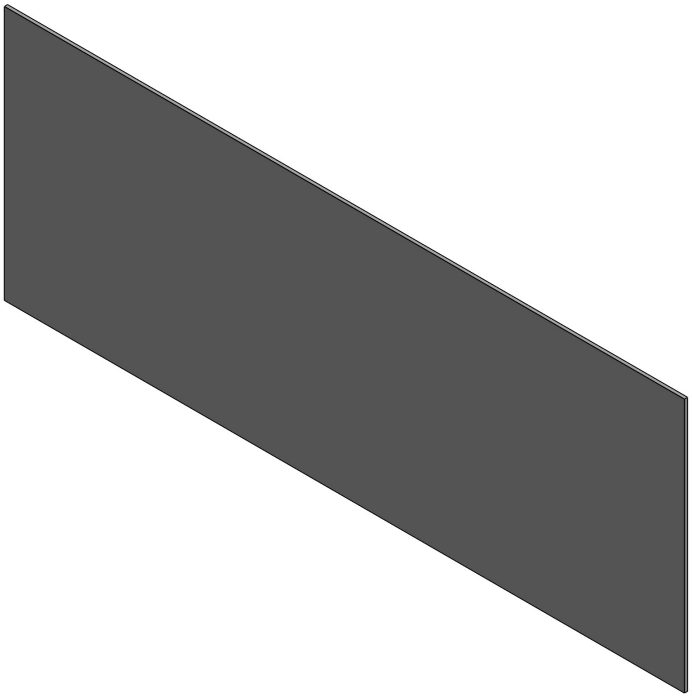


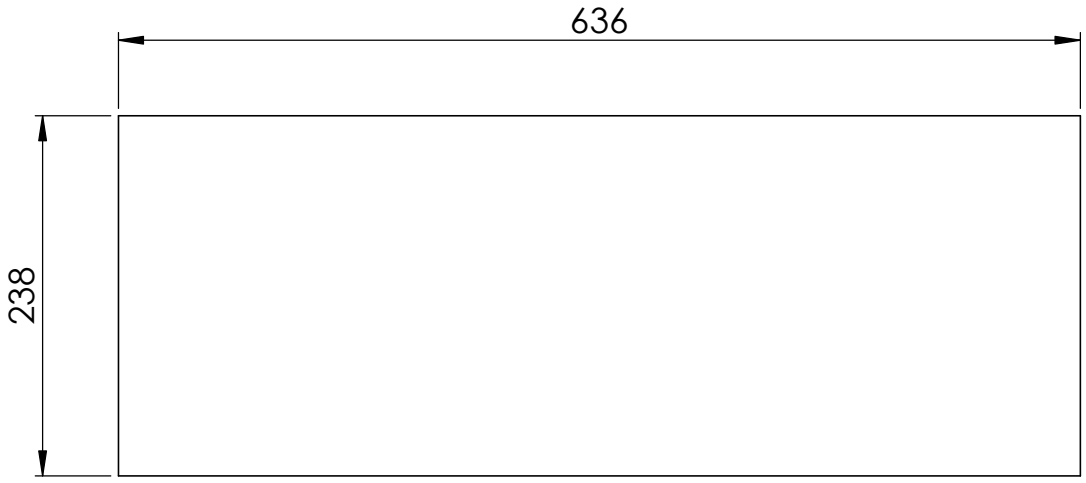


Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:5
CÓDIGO: MC-11-00			
MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 21 DE 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

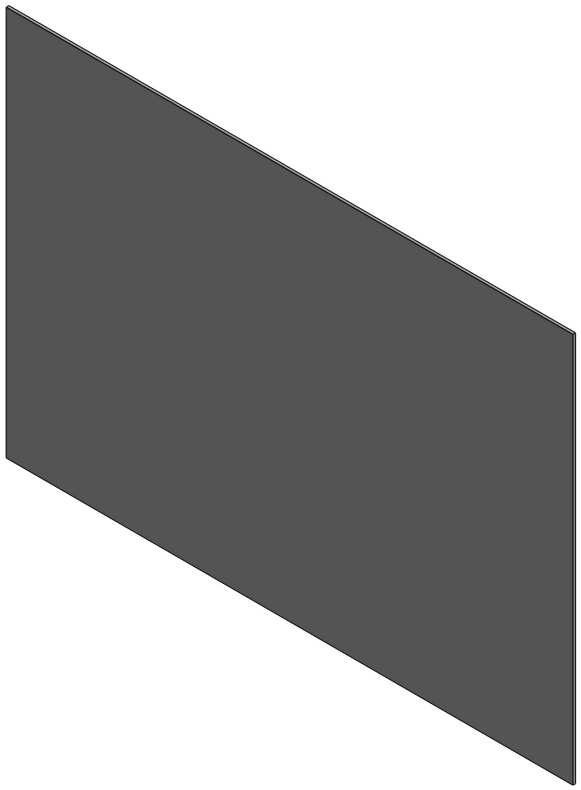
FICA | CIME

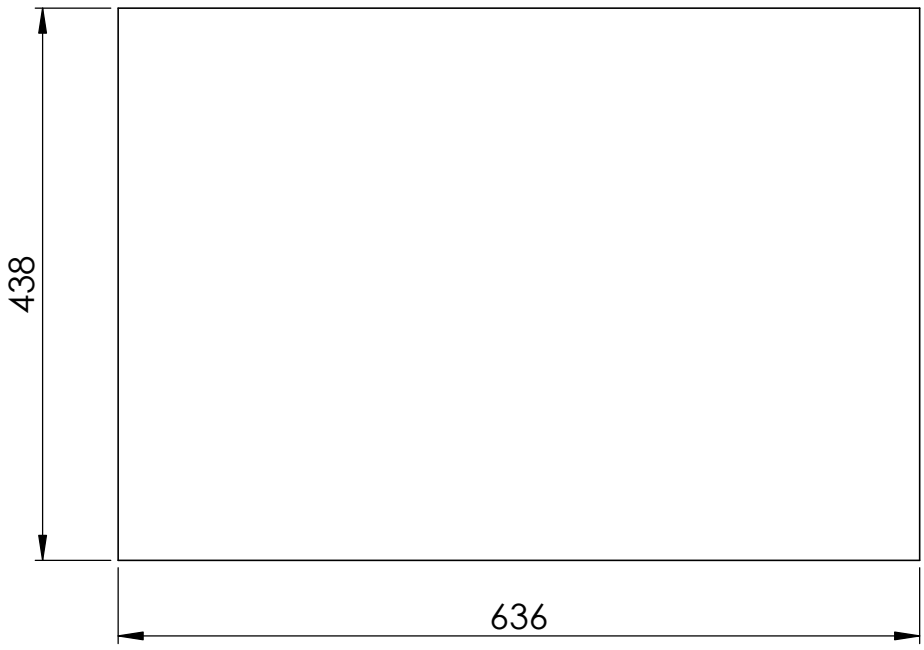




Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-12-00		
	MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD 1	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 22 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		

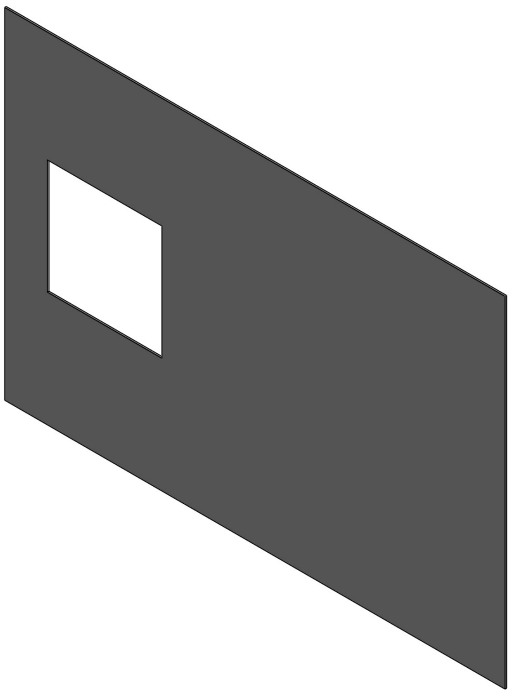


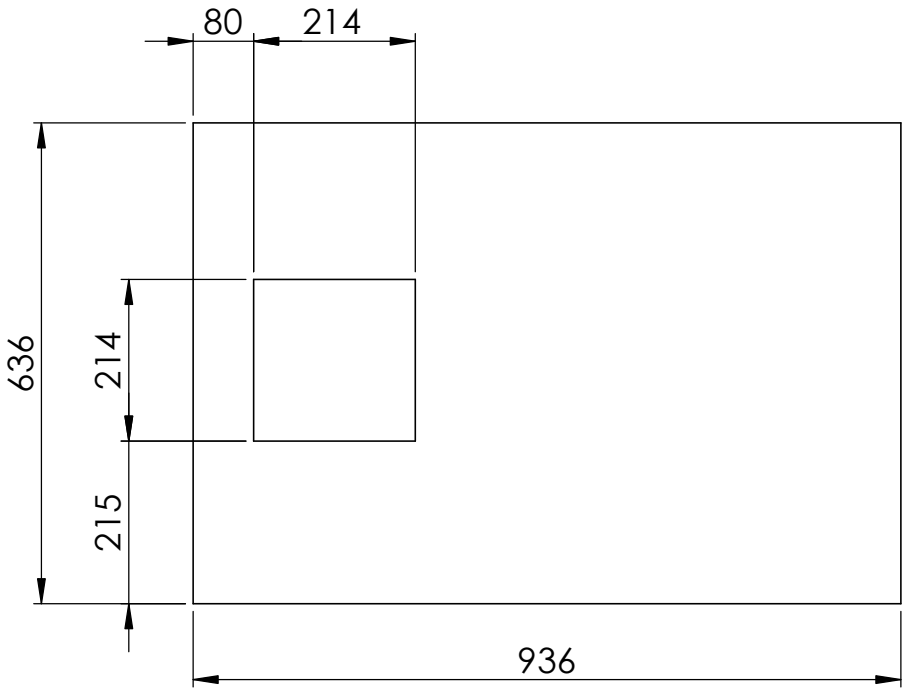


Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:6
CÓDIGO: MC-13-00			
MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 23 DE 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

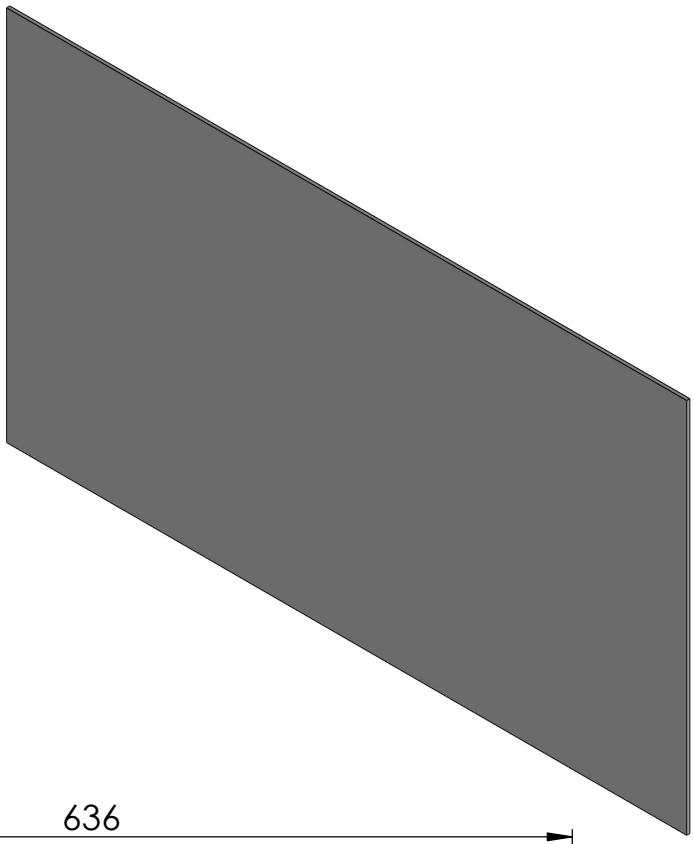
FICA | CIME





Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

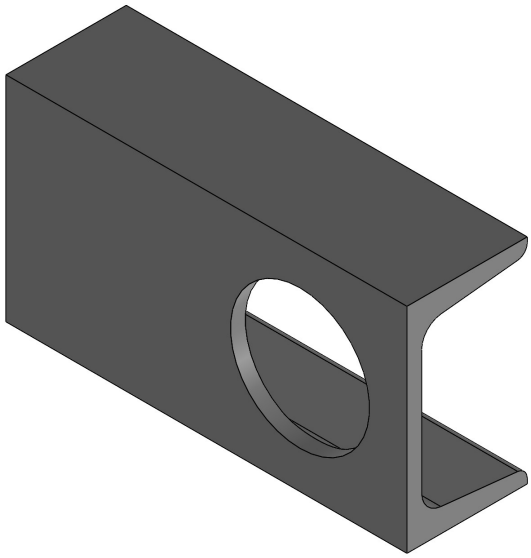
FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:10
	CÓDIGO: MC-14-00		
	MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD 1	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 24 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		

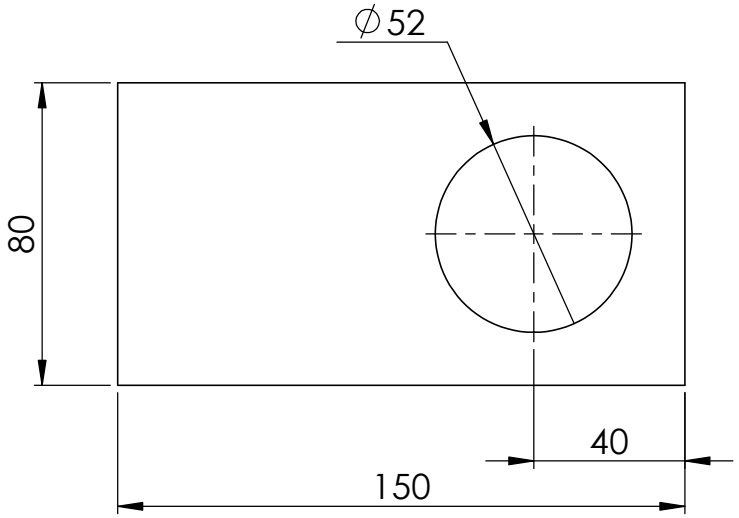




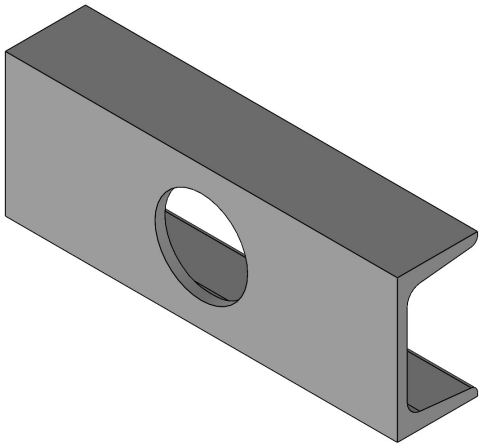
Nota: El espesor de la plancha es de 2 mm.

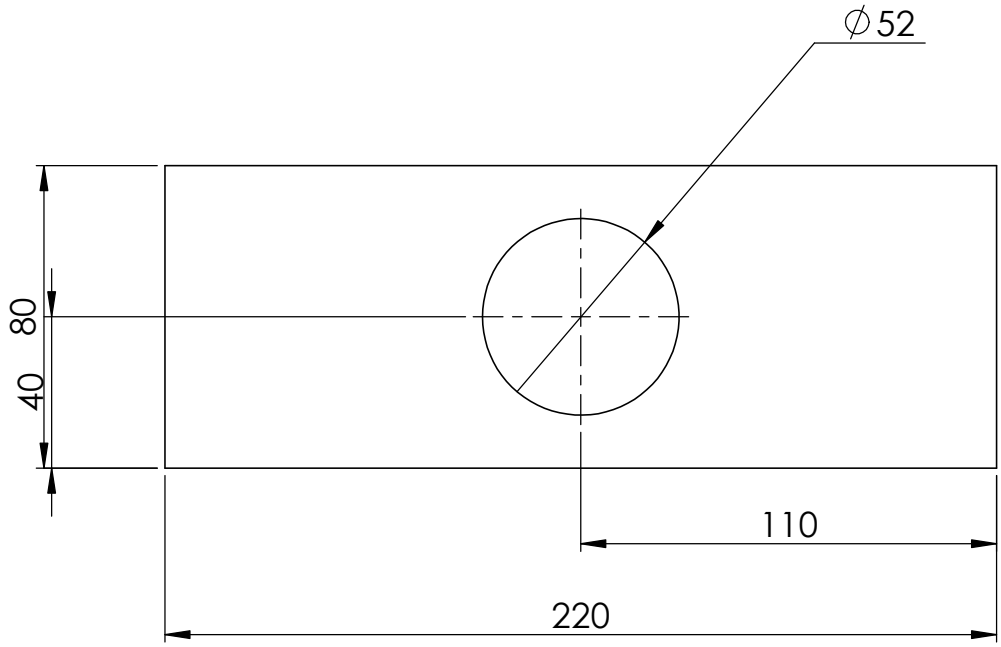
FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:5
	CÓDIGO: MC-15-00		
	MATERIAL: Plancha AISI 304	CANTIDAD 1	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 25 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		



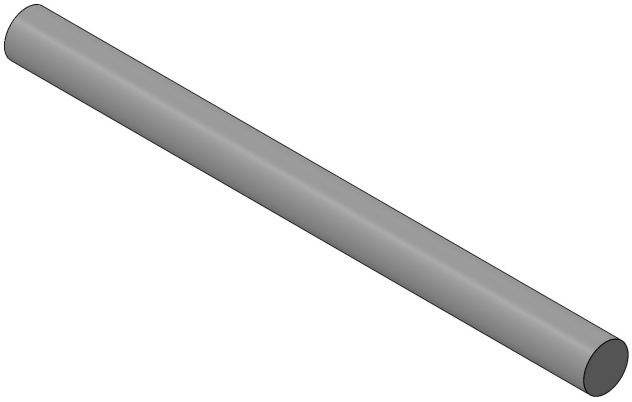


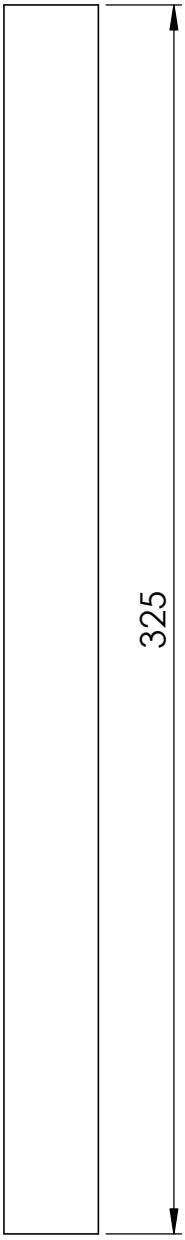
FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:2
	CÓDIGO: MC-16-00		
	MATERIAL: UPN 80	CANTIDAD 2	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 26 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		

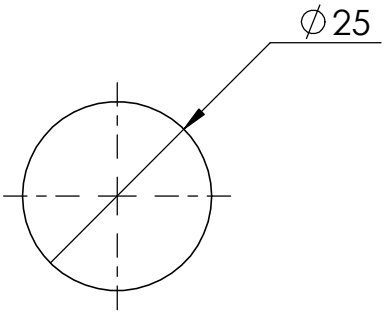




FICA CIME	PROYECTO: Cortadora de masa		ESCALA 1:2
	CÓDIGO: MC-17-00		
	MATERIAL: UPN 80	CANTIDAD 2	
	DISEÑÓ A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 27 DE 30
	DIBUJÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	REVISÓ A. Vizcaino	2026-07-04	
	APROBÓ		



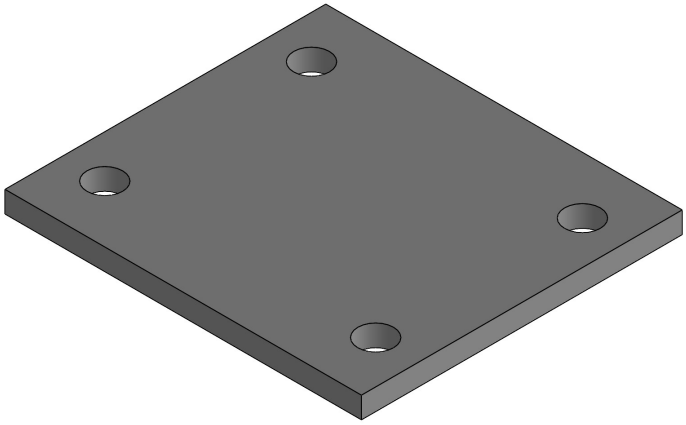


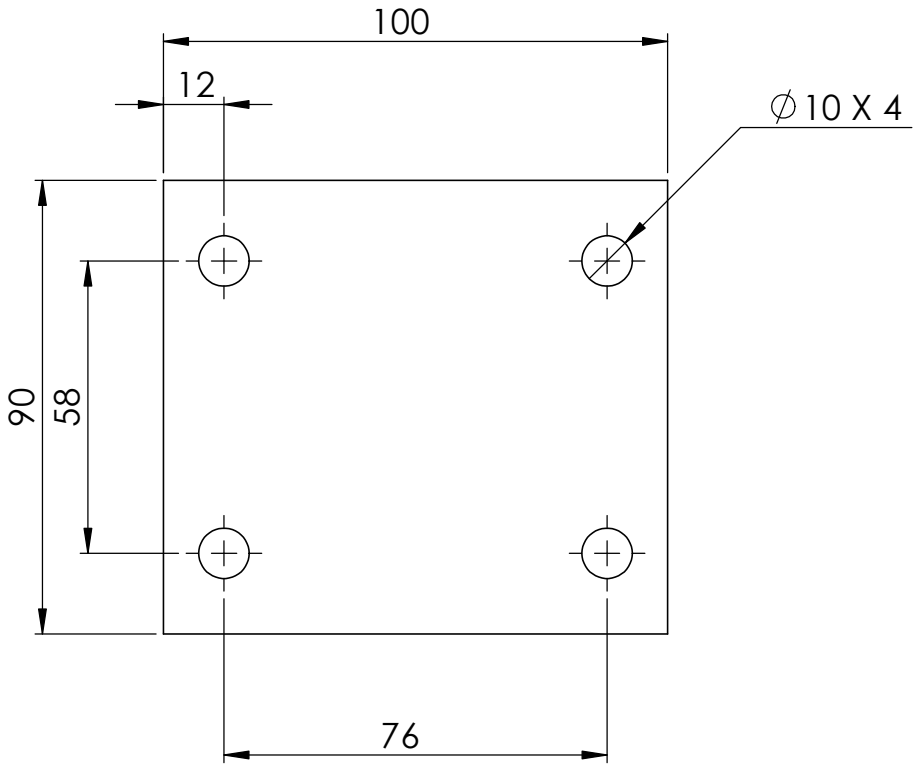


PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:2
CÓDIGO: MC-18-00			
MATERIAL: Eje AISI 304 2"		CANTIDAD 1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 28 DE 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE — UTN — IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

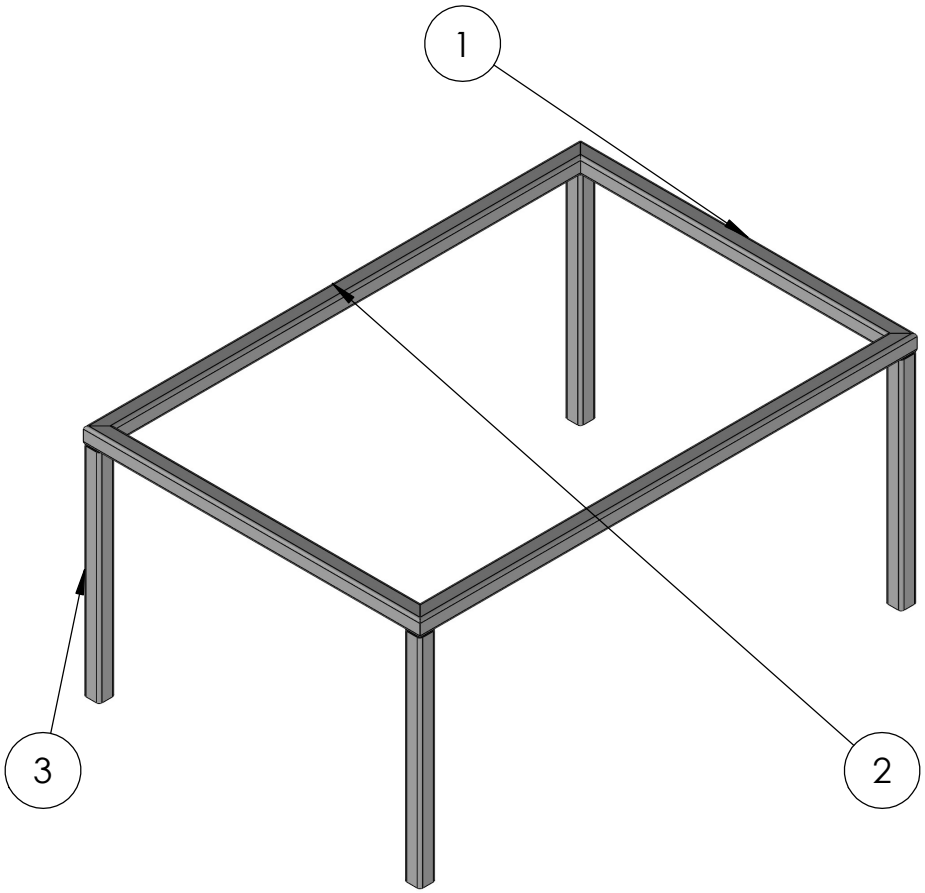




Las perforaciones deben coincidir con los huecos de sugecion de las ruedas

PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:1
CÓDIGO: MC-19-00			
MATERIAL: Plancha AISI 304 6mm	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA 29 DE 30
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2024-07-15	
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			

FICA | CIME

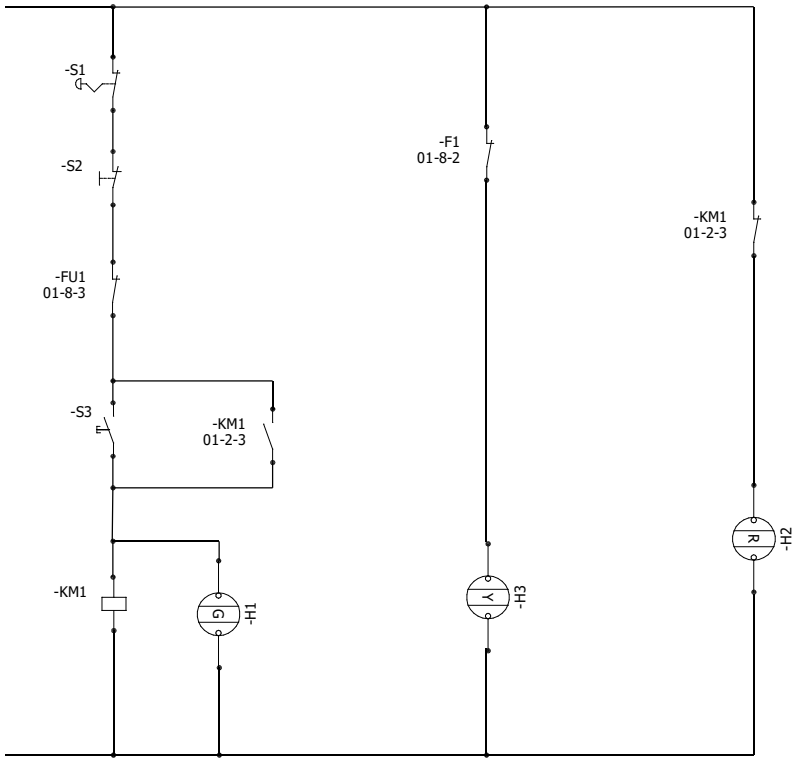


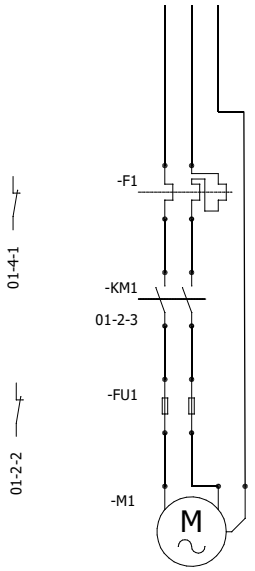
N° de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	2	Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm	629.9
2	2	Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm	929.9
3	4	Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm	406.05

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
UTN
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

PROYECTO: Cortadora de masa			ESCALA 1:10
CÓDIGO: MC-20-00			
MATERIAL: Plancha AISI 304 2mm	CANTIDAD	1	
DISEÑÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	HOJA
DIBUJÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	30 DE 30
REVISÓ	A. Vizcaino	2026-07-04	
APROBÓ			





-KM1

01-3-2

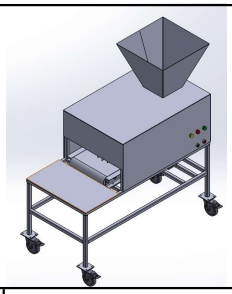
01-5-1

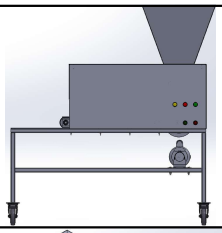
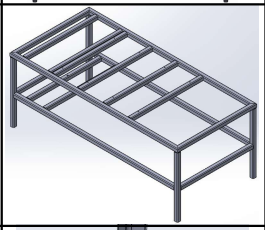
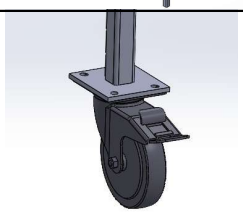
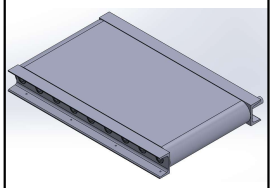
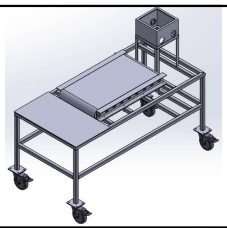
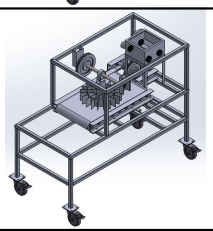
01-8-2

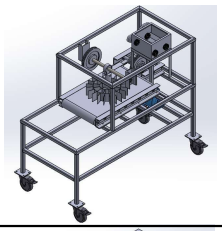
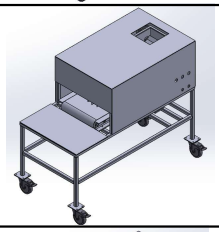
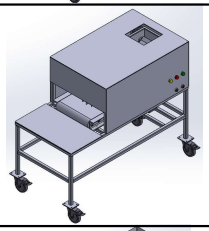
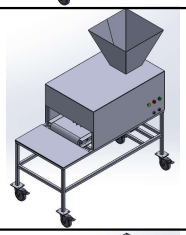
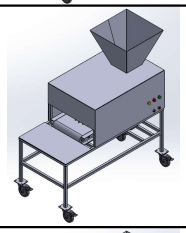
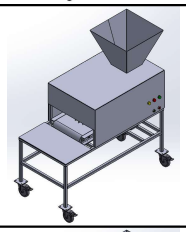
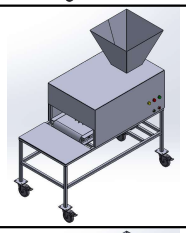
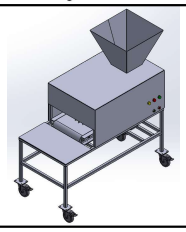
01-8-2

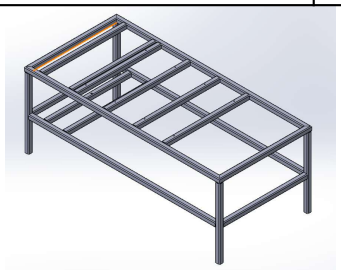
FICA	CIME	PROYECTO:	Cortadora de masa	ESCALA: S/E	
		PARTE:	Potencia, mando y señalización		
		CÓDIGO:	PE-01-00	TOLERANCIA:	0.5mm
		TENSIÓN	220 V CA	DISEÑÓ: A. Vizcaíno	2026-07-04
		FRECUENCIA	60 Hz	DIBUJÓ: A. Vizcaíno	2026-07-04
		MOTOR	Monofásico, 0,75 HP	REVISÓ:	HOJA: 1 DE 1
		CANTIDAD	1 unidad	APROBÓ:	

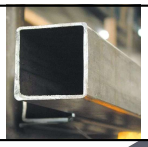
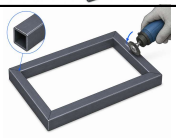
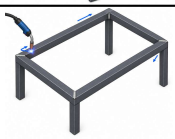
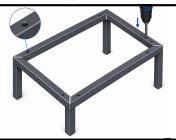
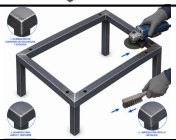
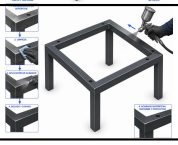
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Ensamble general de la cortadora de masa		
Código de plano	MC-00-00	**Material**	Según lista de materiales		**Dimensiones en bruto**	Según plano general
Operario	A. Vizcaino			**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



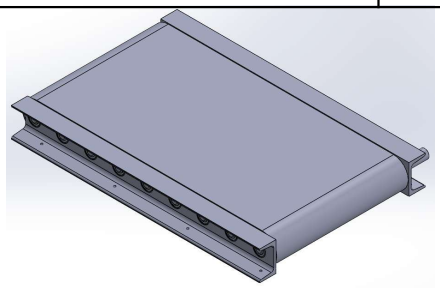
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Preparar el área de trabajo y organizar piezas fabricadas y comerciales.		Mesa de trabajo, herramientas manuales	—	Visual
1	1.2	Colocar la estructura principal en posición de montaje.		Nivel, escuadra, llaves y suelda	—	Nivelación y estabilidad
1	1.3	Instalar bases de ruedas y ruedas con seguro.		Llaves, pernos y tuercas	—	Fijación y bloqueo
2	2.1	Montar banda transportadora, rodillos y soportes laterales.		Llaves, regla de alineación	—	Giro libre y alineación
2	2.2	Fijar la caja de corte sobre la estructura.		Llaves, escuadra y suelda	—	Posición y nivelación
2	2.3	Instalar cuchillas, ejes, leva y soportes.		Llaves, prensa manual	—	Giro libre e interferencias

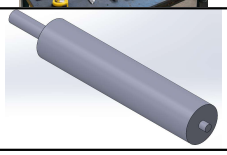
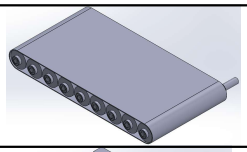
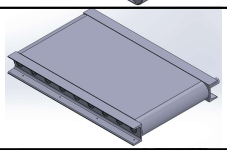
2	2.4	Instalar motor, poleas y correas.		Llaves, regla de alineación	Tensión adecuada	Alineación de poleas
3	3.1	Montar rampa, cubiertas y planchas de protección.		Destornillador, llaves	—	Protección de partes móviles
3	3.2	Instalar sistema eléctrico de mando, protección y señalización.		Multímetro, herramientas eléctricas	220 V AC	Continuidad y conexión a tierra
3	3.3	Montar la tolva sobre la caja de corte.		Llaves, pernos	—	Coincidencia con entrada de corte
4	4.1	Realizar giro manual del sistema antes del encendido.		Giro manual controlado	—	Sin bloqueos
4	4.2	Realizar prueba en vacío.		Sistema de mando	rpm según diseño	Ruido, vibración y giro
4	4.3	Realizar prueba con masa.		Tolva, cuchillas, banda	Carga controlada	Corte y transporte correcto
4	4.4	Limpiar y verificar condiciones finales de entrega.		Paño, desengrasante	—	Visual e higiénica

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Ensamble general de la cortadora de masa		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-01-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	
						

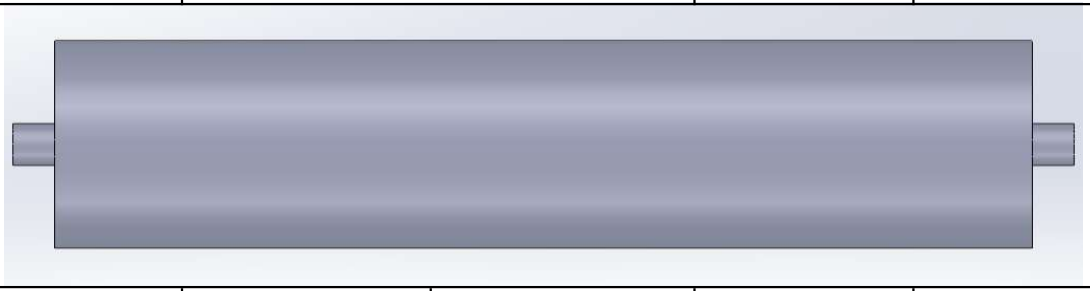
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar perfiles estructurales según plano.		Flexómetro, calibrador	—	Visual y dimensional
1	1.2	Trazar longitudes de corte en cada perfil.		Flexómetro, escuadra, marcador	—	Flexómetro
1	1.3	Cortar perfiles según dimensiones del plano.		Tronzadora o amoladora	—	Medida y perpendicularidad
1	1.4	Eliminar rebabas en extremos cortados.		Lima, esmeril	—	Visual
2	2.1	Juntar perfiles sobre mesa de trabajo.		Prensas, escuadras magnéticas	—	Escuadra y diagonales
2	2.2	Soldar la estructura principal.		Soldadora MIG/TIG/electrodo	Según material	Visual del cordón
2	2.3	Perforar puntos de fijación para soportes, motor, banda y cubiertas.		Taladro de banco, brocas	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Limpiar cordones y preparar superficie.		Esmeril, lija, cepillo metálico, moladora	—	Visual
3	3.2	Dar acabado superficial.		Moladora	—	Uniformidad del acabado

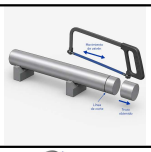
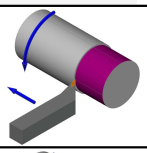
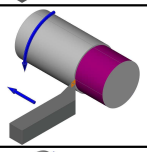
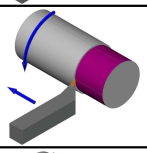
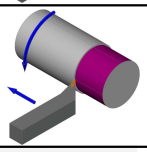
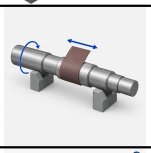
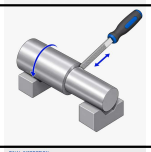
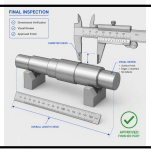
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Banda transportadora		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según componentes del subconjunto		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-02-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



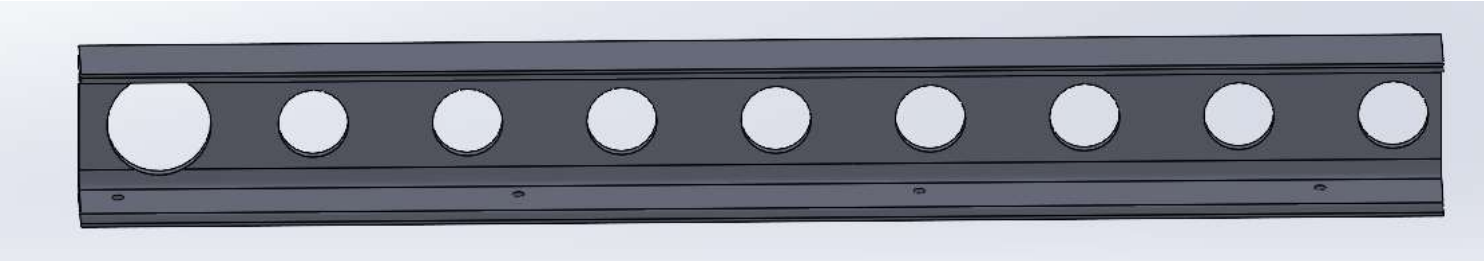
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Verificar bases laterales, rodillos y banda flexible.		Calibrador, flexómetro	—	Visual y dimensional
1	1.2	Montar rodillo principal en las bases laterales.		Llaves, pernos	—	Giro libre
1	1.3	Montar rodillos secundarios.		Llaves, soportes	—	Alineación
2	2.1	Colocar banda flexible sobre los rodillos.		Herramientas manuales	Tensión moderada	Centrado de banda
2	2.2	Ajustar separación y paralelismo de bases.		Regla, escuadra	—	Paralelismo
2	2.3	Girar manualmente el sistema.		Giro manual	—	Sin rozamientos

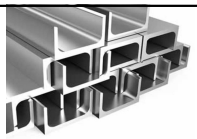
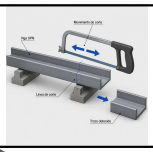
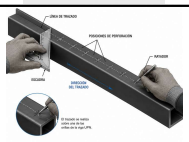
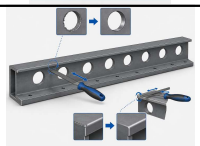
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Rodillo secundario de banda		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-02-01		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



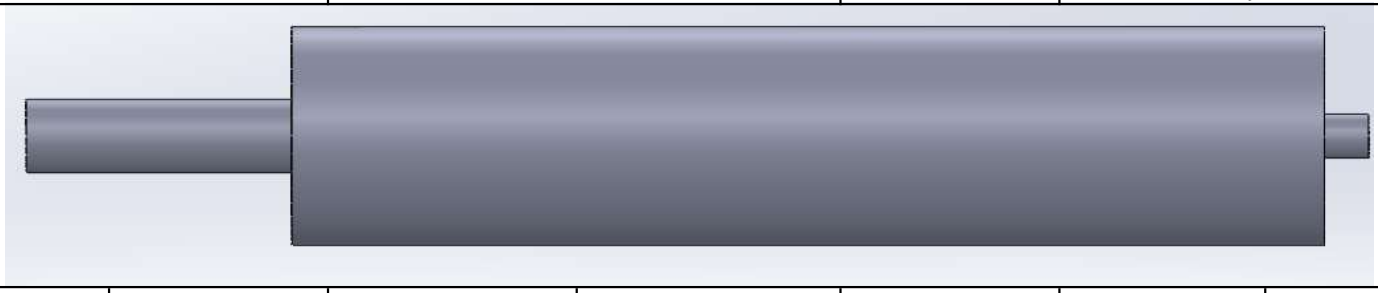
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar barra redonda para rodillo.		Calibrador, flexómetro	—	Diámetro y estado superficial
1	1.2	Cortar barra con longitud mayor a la final.		Sierra mecánica	—	Flexómetro
1	1.3	Refrentar primer extremo.		Torno paralelo	600–800 rpm	Visual y perpendicularidad
1	1.4	Refrentar segundo extremo hasta longitud final.		Torno paralelo	600–800 rpm	Calibrador
2	2.1	Cilindrar diámetro exterior del rodillo.		Torno paralelo	600–800 rpm	Micrómetro
2	2.2	Mecanizar alojamientos o extremos de apoyo si aplica.		Torno paralelo	600–800 rpm	Calibrador
3	3.1	Pulir superficie de contacto con la banda.		Lija fina, torno	—	Acabado superficial
3	3.2	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, micrómetro	—	Medidas según plano

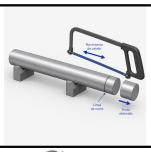
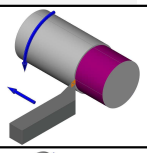
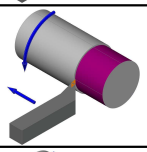
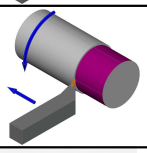
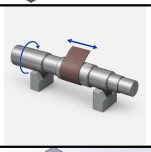
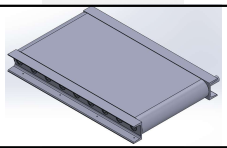
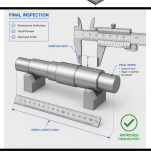
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Base izquierda de banda		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-02-02		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



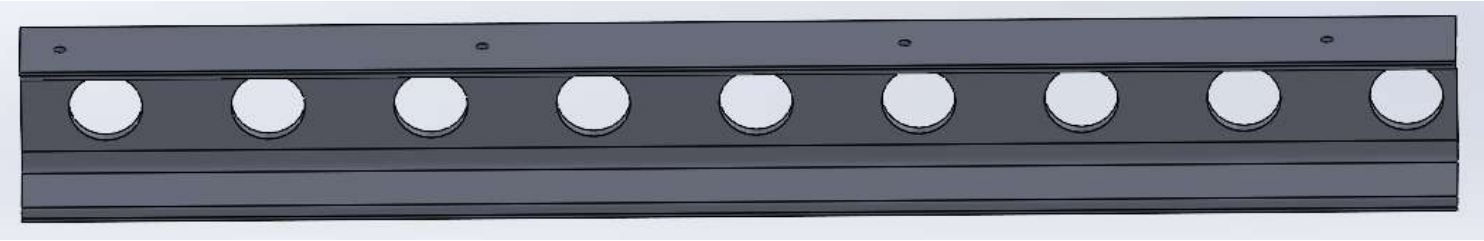
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material de base.		Flexómetro, calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Cortar pieza según geometría.		Cizalla, plasma o amoladora	—	Dimensiones
1	1.3	Trazar contorno y centros de perforación.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas según plano
2	2.1	Perforar alojamientos para rodillos y fijación.		Taladro de banco, brocas, limas	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Eliminar rebabas en bordes y agujeros.		Lima, lija, avellanador	—	Visual
3	3.2	Probar montaje con rodillos.		Llaves, pernos	—	Alineación
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, flexómetro	—	Según plano

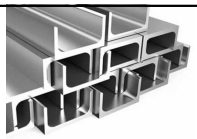
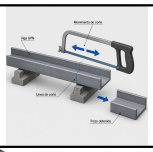
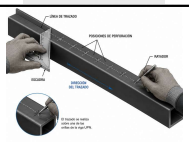
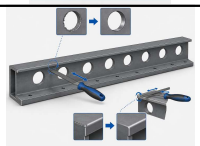
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Rodillo principal de banda		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-02-03		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



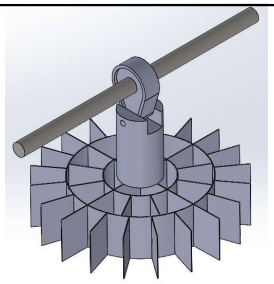
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar barra redonda para rodillo principal.		Calibrador, flexómetro	—	Diámetro
1	1.2	Cortar longitud inicial.		Sierra mecánica	—	Flexómetro
1	1.3	Refrentar ambos extremos.		Torno paralelo	600–800 rpm	Perpendicularidad
2	2.1	Cilindrar diámetro exterior.		Torno paralelo	600–800 rpm	Micrómetro
2	2.2	Mecanizar extremos de apoyo.		Torno paralelo	600–800 rpm	Calibrador
3	3.1	Pulir superficie de contacto con banda.		Lija fina, torno	—	Acabado superficial
3	3.2	Verificar montaje con bases laterales.		Llaves, prensa manual	—	Giro libre
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, micrómetro	—	Según plano

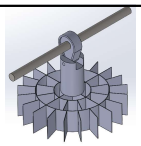
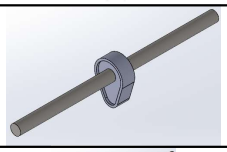
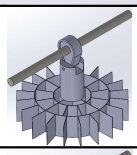
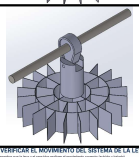
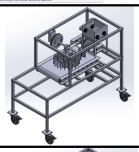
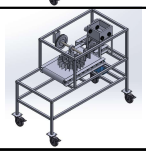
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Base derecha de banda		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-02-05		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



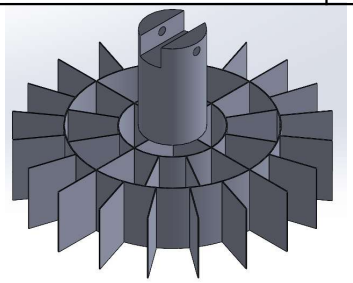
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material de base.		Flexómetro, calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Cortar pieza según geometría.		Cizalla, plasma o amoladora	—	Dimensiones
1	1.3	Trazar contorno y centros de perforación.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas según plano
2	2.1	Perforar alojamientos para rodillos y fijación.		Taladro de banco, brocas	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija, avellanador	—	Visual
3	3.2	Probar montaje con rodillos.		Llaves, pernos	—	Alineación
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, flexómetro	—	Según plano

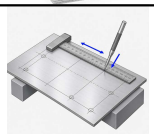
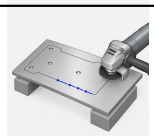
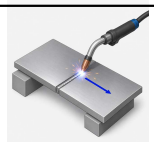
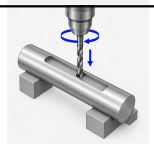
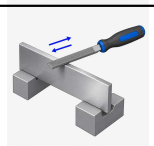
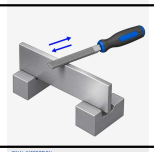
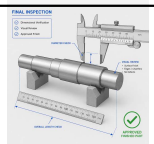
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Sistema de cuchilla de corte		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según componentes del subconjunto		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-03-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Verificar cuchilla, eje de leva, leva y prisioneros.		Calibrador, inspección visual	—	Dimensiones y acabado
1	1.2	Montar leva sobre el eje correspondiente.		Llaves, prensa manual	—	Ajuste y posición
1	1.3	Montar cuchilla de corte en su soporte.		Llaves, pernos	—	Alineación
2	2.1	Instalar prisioneros de fijación.		Llave Allen	Torque manual firme	Fijación
2	2.2	Verificar desplazamiento del mecanismo.		Giro manual	—	Movimiento sin bloqueo
3	3.1	Instalar subconjunto en caja de corte.		Llaves, escuadra	—	Posición final
3	3.2	Inspección final del sistema de corte.		Visual, calibrador	—	Sin interferencias

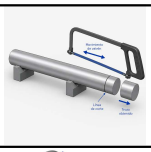
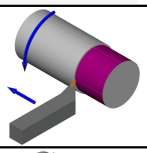
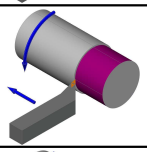
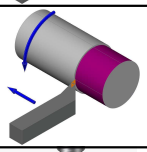
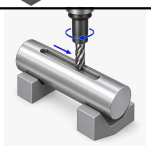
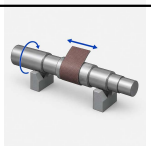
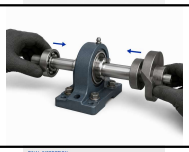
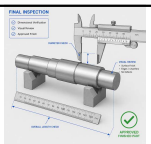
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Cuchilla de corte		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-03-01		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



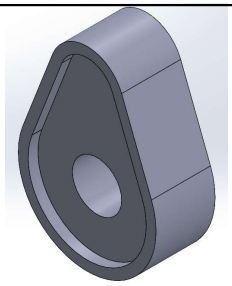
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha de acero inoxidable AISI 304.		Calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Trazar geometría de la cuchilla y perforaciones.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas según plano
1	1.3	Cortar la cuchilla según contorno.		Cizalla, plasma, láser o amoladora	—	Dimensiones
2	2.1	Mecanizar borde funcional de corte.		Esmeril, fresadora o lima fina	—	Uniformidad del filo
1	2.2	Soldadura de piezas cortadas para formar la cuchilla		Suelda	—	Visual y calibrador
2	2.3	Realizar perforaciones de montaje.		Taladro de banco, brocas	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Eliminar rebabas en bordes y agujeros.		Lima, lija, avellanador	—	Visual
3	3.2	Pulir superficie de contacto con masa.		Pulidora, lija fina	—	Acabado liso
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

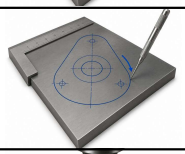
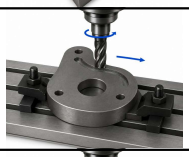
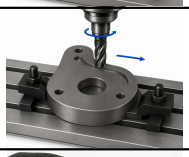
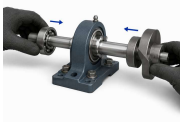
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Eje de leva		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-03-02		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



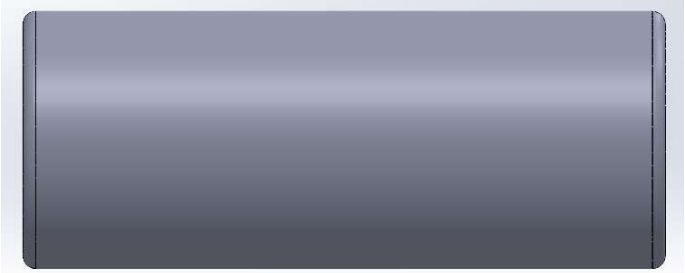
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar barra redonda de acero inoxidable.		Calibrador, flexómetro	—	Diámetro y rectitud
1	1.2	Cortar barra con sobremedida.		Sierra mecánica o tronzadora	—	Longitud inicial
1	1.3	Refrentar primer extremo.		Torno paralelo	600–800 rpm	Visual
1	1.4	Refrentar segundo extremo hasta longitud final.		Torno paralelo	600–800 rpm	Calibrador
2	2.1	Cilindrar diámetro del eje.		Torno paralelo	600–800 rpm	Micrómetro
2	2.2	Realizar chavetero, ranura o agujero de fijación.		Fresadora o taladro	Según herramienta	Calibrador
3	3.1	Pulir zonas de apoyo.		Lija fina, torno	—	Acabado superficial
3	3.2	Probar montaje con leva, rodamiento o polea.		Prensa manual, llaves	—	Ajuste y giro libre
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, micrómetro	—	Según plano

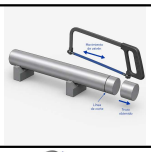
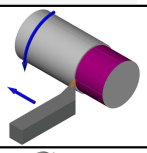
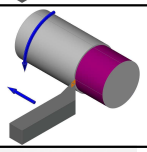
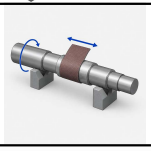
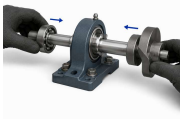
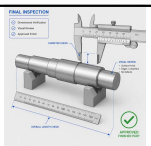
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Leva		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-03-03		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



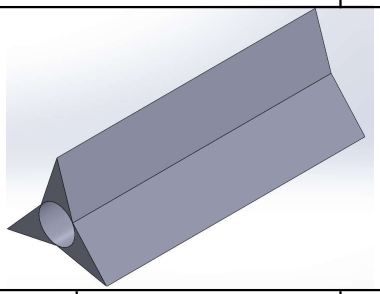
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material para leva.		Calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Trazar perfil exterior, centro y agujeros.		Regla, compás, marcador	—	Medidas según plano
1	1.3	Cortar perfil aproximado de la leva.		Fresadora	—	Contorno
2	2.1	Mecanizar agujero central.		Fresadora	500–900 rpm	Diámetro
2	2.2	Mecanizar perfil funcional de la leva.		Fresadora	Según herramienta	Forma y suavidad
3	3.1	Eliminar rebabas y suavizar aristas.		Lima, lija fina	—	Visual
3	3.2	Probar montaje sobre eje.		Llaves, prensa manual	—	Ajuste sin juego excesivo
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

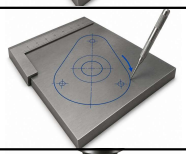
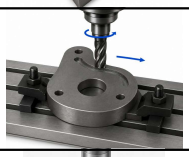
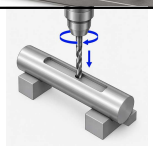
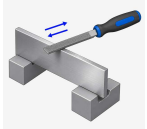
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Prisionero de leva		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-03-04		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



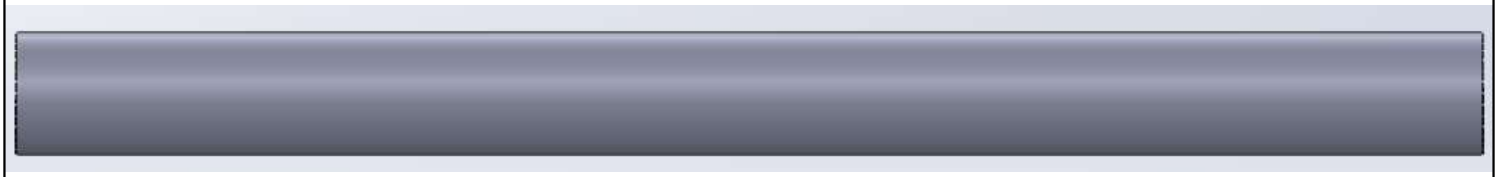
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar barra redonda para prisionero.		Calibrador	—	Diámetro
1	1.2	Cortar longitud inicial.		Sierra mecánica	—	Longitud
1	1.3	Refrentar extremos.		Torno paralelo	600–900 rpm	Visual
2	2.1	Tornear diámetro final.		Torno paralelo	600–900 rpm	Micrómetro
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Probar fijación en la cuchilla.		Llave Allen o llave fija	—	Fijación correcta
3	3.3	Inspección final.		Calibrador	—	Según plano

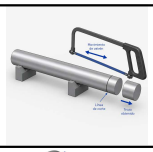
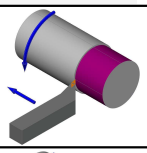
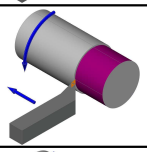
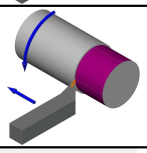
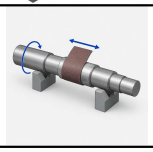
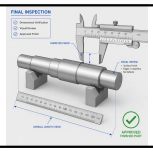
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Cuchilla divisora		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-04-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



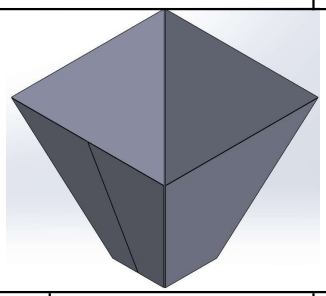
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar marerial en bruto		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar geometría de la cuchilla divisora.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar contorno de la pieza.		Cizalla	—	Dimensiones
2	2.1	Mecanizar borde funcional.		Fresadora, lima fina	—	Uniformidad
2	2.2	Realizar perforaciones o ranuras de montaje si aplica.		Taladro de banco, brocas	700–1000 rpm	Posición y diámetro
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Pulir superficie de contacto con masa.		Pulidora, lija fina	—	Acabado liso
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

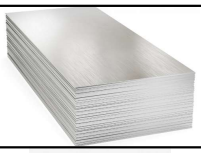
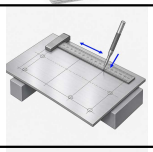
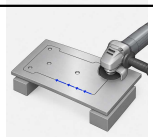
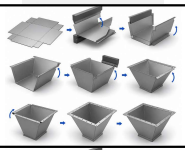
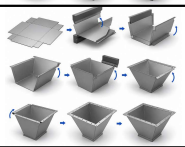
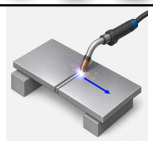
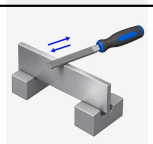
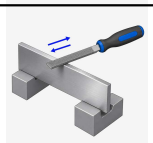
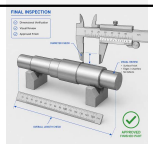
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Eje de cuchilla		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-05-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



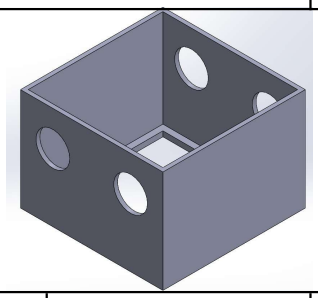
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar barra redonda.		Calibrador, flexómetro	—	Diámetro y rectitud
1	1.2	Cortar barra con sobremedida.		Sierra mecánica	—	Longitud
1	1.3	Refrentar extremos.		Torno paralelo	600–800 rpm	Perpendicularidad
2	2.1	Cilindrar diámetro final.		Torno paralelo	600–800 rpm	Micrómetro
2	2.2	Mecanizar zonas de apoyo o fijación.		Torno paralelo	600–800 rpm	Calibrador
3	3.1	Pulir superficie.		Lija fina, torno	—	Acabado
3	3.2	Probar montaje con cuchilla.		Llaves, pernos	—	Alineación
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, micrómetro	—	Según plano

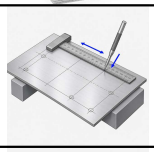
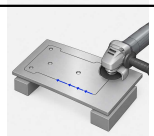
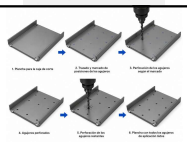
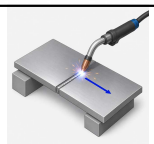
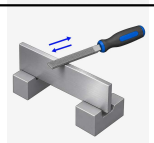
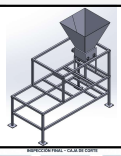
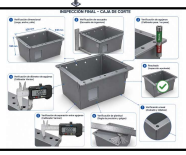
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Tolva		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-06-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



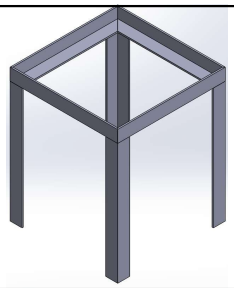
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha de acero inoxidable.		Calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Trazar desarrollo de la tolva.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas y diagonales
1	1.3	Cortar desarrollo según plano.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Doblar caras de la tolva.		Dobladora de plancha	Ángulo según plano	Escuadra
2	2.2	Verificar coincidencia.		Prensas, escuadra	—	Simetría y cierre
2	2.3	Soldar o unir las caras.		Soldadora TIG	Según espesor	Cordón continuo
3	3.1	Pulir juntas y bordes internos.		Pulidora, lija fina	—	Superficie lisa
3	3.2	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.3	Limpieza final e inspección.		Paño, desengrasante, calibrador	—	Medidas e higiene

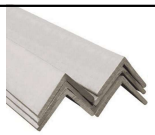
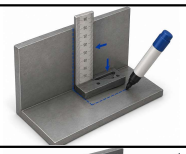
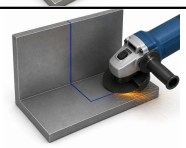
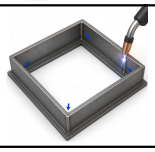
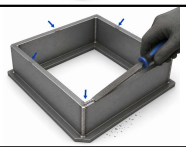
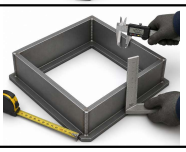
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Caja de corte		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-07-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



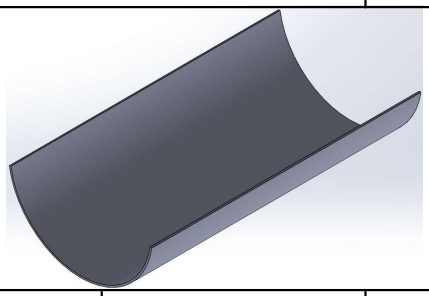
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material en bruto.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar caras, aberturas y perforaciones.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas según plano
1	1.3	Cortar piezas de la caja.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar puntos de fijación.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y posición
2	2.2	Armar y soldar la caja.		Soldadora TIG, prensas	Según espesor	Cordón y escuadra
3	3.1	Pulir bordes internos y externos.		Pulidora, lima, lija	—	Superficie lisa
3	3.2	Probar ajuste con tolva, cuchillas y soporte.		Llaves, escuadra	—	Alineación
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

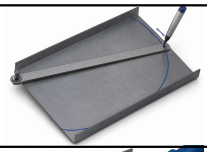
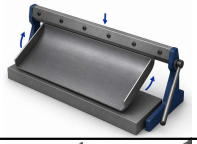
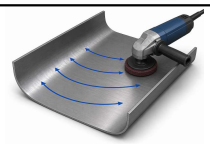
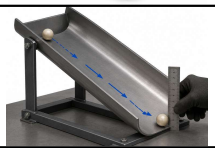
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Soporte de caja de corte		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-08-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material del soporte.		Calibrador, flexómetro	—	Espesor o sección
1	1.2	Trazar de contornos según el plano		Regla, escuadra, tiza	—	Medidas
1	1.3	Cortar pieza según plano.		Sierra, moladora	—	Dimensiones
2	2.	Soldar Piezas.		soldadora	Según plano	Escuadra
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, escuadra, metro	—	Según plano

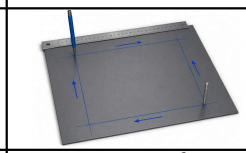
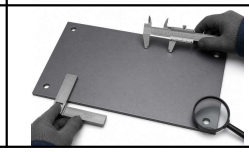
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Rampa		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-09-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha inoxidable.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar desarrollo de la rampa.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas según plano
1	1.3	Cortar la plancha.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Doblar o curvar la rampa según geometría.		Dobladora o roladora	Radio según plano	Plantilla / flexómetro
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Pulir superficie de contacto con masa.		Pulidora, lija fina	—	Acabado liso
3	3.3	Probar montaje en la estructura.		Llaves, pernos	—	Posición y pendiente
3	3.4	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

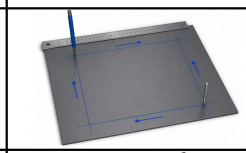
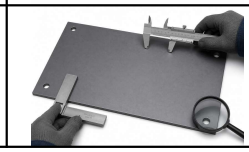
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Plancha trasera		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-10-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



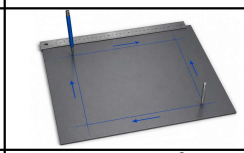
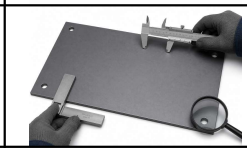
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar contorno.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar la plancha.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar agujeros de montaje.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Plancha delantera		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-11-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



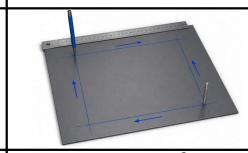
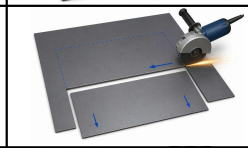
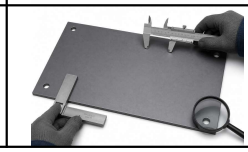
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha.		Calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Trazar contorno y aberturas.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar geometría exterior.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Realizar perforaciones para elementos de mando.		Taladro, sacabocados o plasma	Según abertura	Posición
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Plancha izquierda		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-12-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	
						

Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar contorno y agujeros.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar la pieza.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar agujeros de montaje.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y ubicación
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

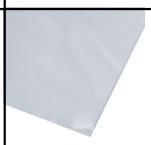
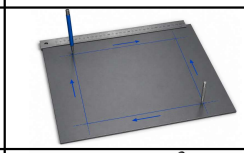
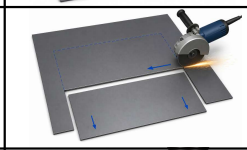
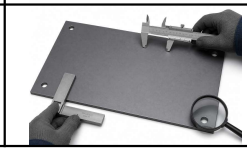
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Plancha derecha		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-13-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar contorno y agujeros.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar la pieza.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar agujeros de montaje.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y ubicación
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

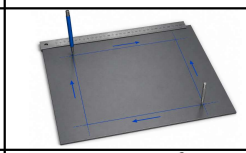
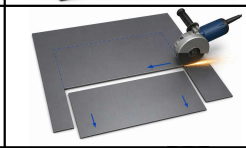
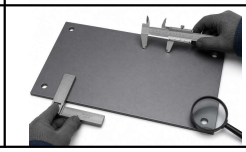
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Plancha superior		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-14-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



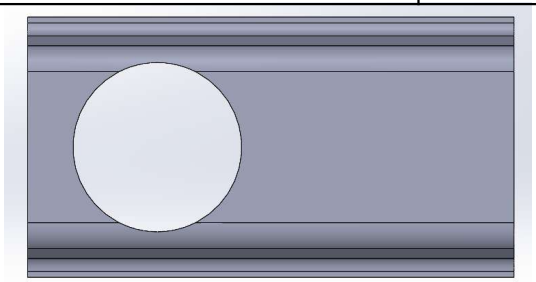
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar contornos.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar la plancha.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar puntos de fijación.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Plancha de mesa		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-15-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



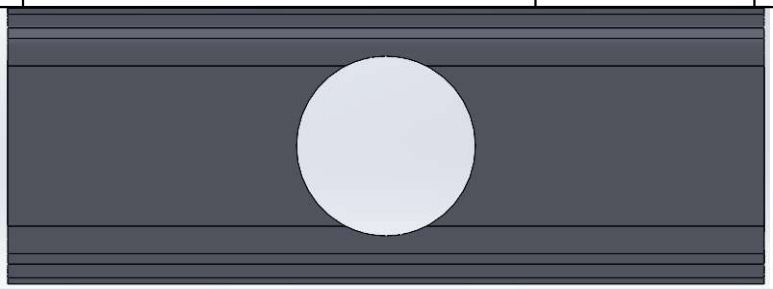
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha para superficie de mesa.		Calibrador	—	Espesor y superficie
1	1.2	Trazar contorno.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar la plancha.		Cizalla, plasma o láser	—	Dimensiones
2	2.1	Realizar perforaciones de montaje.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Pulir superficie superior.		Pulidora, lija fina	—	Acabado uniforme
3	3.2	Inspección final.		Calibrador, nivel	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Soporte de leva		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-16-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



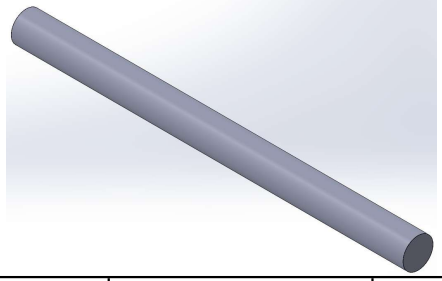
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material del soporte.		Calibrador, flexómetro	—	Espesor o sección
1	1.2	Trazar geometría y centros de perforación.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar pieza según plano.		Sierra, cizalla o plasma	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar agujeros para rodamientos.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Probar montaje con eje de leva.		Llaves, eje patrón	—	Alineación
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, escuadra	—	Según plano

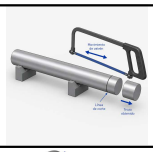
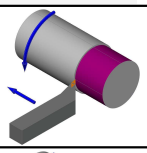
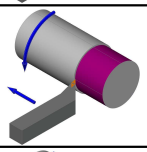
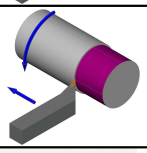
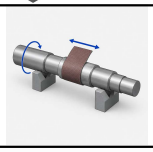
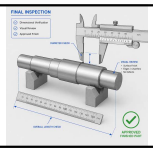
Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Soporte de poleas		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-17-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	

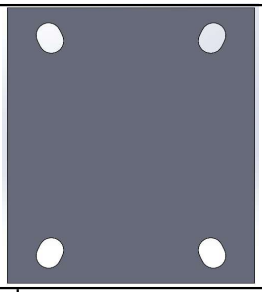


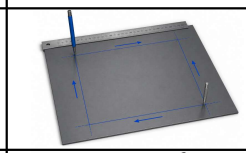
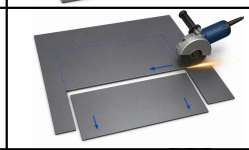
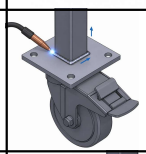
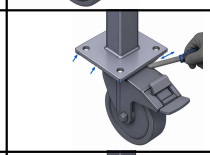
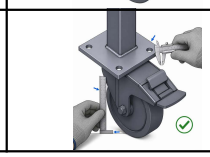
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material del soporte.		Flexómetro, calibrador	—	Sección y espesor
1	1.2	Trazar geometría y centros de perforación.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar soporte según plano.		Sierra, tronzadora o plasma	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar agujeros para rodamientos.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.2	Probar montaje con eje de poleas.		Llaves, eje patrón	—	Alineación
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, escuadra	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Eje de poleas		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-18-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	

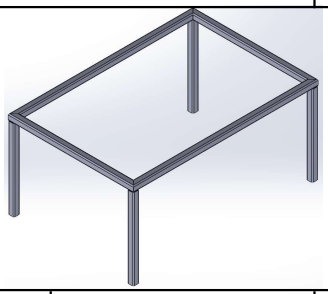


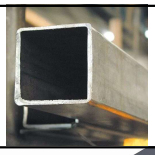
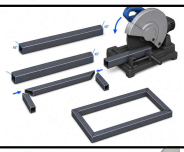
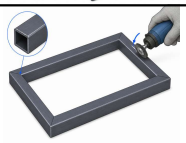
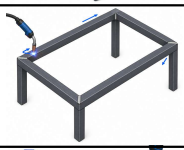
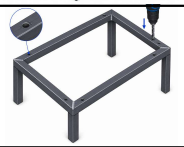
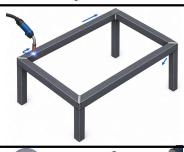
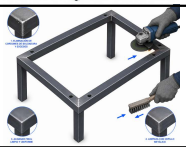
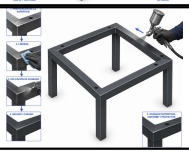
Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar material del eje.		Calibrador, flexómetro	—	Diámetro y rectitud
1	1.2	Cortar barra con sobremedida.		Sierra mecánica	—	Longitud
1	1.3	Refrentar ambos extremos.		Torno paralelo	600–800 rpm	Perpendicularidad
2	2.1	Tornear diámetro principal.		Torno paralelo	600–800 rpm	Micrómetro
2	2.2	Mecanizar asientos de poleas y rodamientos.		Torno paralelo	600–800 rpm	Calibrador
3	3.1	Pulir zonas de apoyo.		Lija fina, torno	—	Acabado
3	3.2	Probar montaje con poleas.		Llaves, polea patrón	—	Ajuste
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, micrómetro	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Base de rueda		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-19-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	
						

Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar plancha para base.		Calibrador	—	Espesor
1	1.2	Trazar contorno y perforaciones.		Regla, escuadra, marcador	—	Medidas
1	1.3	Cortar base según plano.		Cizalla, plasma o amoladora	—	Dimensiones
2	2.1	Perforar agujeros de fijación para rueda y estructura.		Taladro de banco	700–1000 rpm	Diámetro y posición
2	2.2	Soldar base a la estructura.		Soldadora o llaves	Según unión	Firmeza
3	3.1	Eliminar rebabas.		Lima, lija	—	Visual
3	3.3	Inspección final.		Calibrador, visual	—	Según plano

Hoja de procesos						
Empresa		**Departamento**		**Conjunto**		
Universidad Técnica del Norte		Mecatrónica		Sobremesa		
Operario	A. Vizcaino	**Material**	Según plano		**Dimensiones en bruto**	Según plano
Código de plano		MC-20-00		**Fecha**	sábado, 4 de julio de 2026	



Fase	Subfase	Operación	Croquis	Equipo / herramienta	Parámetro	Verificación
1	1.1	Seleccionar perfiles estructurales según plano.		Flexómetro, calibrador	—	Visual y dimensional
1	1.2	Trazar longitudes de corte en cada perfil.		Flexómetro, escuadra, marcador	—	Flexómetro
1	1.3	Cortar perfiles según dimensiones del plano.		Tronzadora o amoladora	—	Medida y perpendicularidad
1	1.4	Eliminar rebabas en extremos cortados.		Lima, esmeril	—	Visual
2	2.1	Juntar perfiles sobre mesa de trabajo.		Prensas, escuadras magnéticas	—	Escuadra y diagonales
2	2.2	Soldar la estructura.		Soldadora MIG/TIG/electrodo	Según material	Visual del cordón
2	2.3	Perforar puntos de fijación para soportes, motor, banda y cubiertas.		Taladro de banco, brocas	700–1000 rpm	Diámetro y posición
3	3.1	Soldar sobre la estructura principal.		Moladora	—	Uniformidad del acabado
3	3.2	Limpiar cordones y preparar superficie.		Esmeril, lija, cepillo metálico, moladora	—	Visual
3	3.3	Dar acabado superficial.		Moladora	—	Uniformidad del acabado