



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CÁSCARA DE
LA NUEZ DE MACADAMIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: ANDY DAVID GUASCO PASPUEL

DAMIAN JOSUE VIZCAINO TORO

TUTOR: FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA

QUITO – ECUADOR

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros Damian Josue Vizcaino Toro con documento de identificación N° 1752826626 y Andy David Guasco Paspuel con documento de identificación N° 1752644391 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

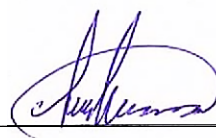
Quito, 01 de julio del 2024

Atentamente,



Damian Josue Vizcaino Toro

1752826626



Andy David Guasco Paspuel

1752644391

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

Nosotros Damian Josue Vizcaino Toro con documento de identificación N° 1752826626 y Andy David Guasco Paspuel con documento de identificación N° 1752644391 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo Tecnológico: “Diseño y construcción de una máquina trituradora de cáscara de la nuez de macadamia” , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

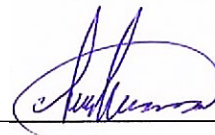
Quito, 01 de junio del 2024

Atentamente,



Damian Josue Vizcaino Toro

1752826626



Andy David Guasco Paspuel

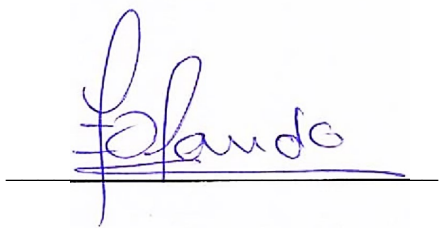
1752644391

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera con documento de identificación N° 1707982169, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CÁSCARA DE LA NUEZ DE MACADAMIA, realizado por Damian Josue Vizcaino Toro con documento de identificación N° 1752826626 y Andy David Guasco Paspuel con documento de identificación N° 1752644391, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de junio del 2024

Atentamente,



Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, MSc

1707982169

DEDICATORIA

DEDICATORIA AUTOR 1

A mis padres, cuyo esfuerzo constante y trabajo diario han allanado el camino para mi educación universitaria. A mis queridos hermanos, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome apoyo incondicional en cada situación. Su amor y sacrificio son la fuerza que impulsa este logro. A todos ustedes, mi profunda gratitud y amor eterno. Esta tesis es un tributo a su dedicación y cariño.

Damian Josue Vizcaino Toro

DEDICATORIA AUTOR 2

Dedico esta tesis a mi familia, ya que vi en ellos mantener esa esperanza la cual es y sigue siendo esencial para mi crecimiento personal, dándome un recordatorio de que, sin importar las dificultades, siempre hay un camino a seguir incluso cuando las circunstancias parecen desalentadoras.

Con todo mi corazón a ustedes les debo todo lo que soy y todo lo que llegaré a ser.

Andy David Guasco Paspuel

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTO AUTOR 1

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a Dios por otorgarme la fuerza y el conocimiento necesarios para llevar a cabo este trabajo. Su guía ha sido fundamental en cada paso de este proceso. A mis padres, por su incansable esfuerzo y sacrificio, que han allanado el camino para mi educación universitaria. A mis abuelos, tíos y hermanos, les agradezco de todo corazón por su constante apoyo y por brindarme el espacio necesario para culminar mis estudios universitarios. Su amor y aliento han sido un pilar fundamental en este viaje. Este logro no habría sido posible sin su inquebrantable respaldo y amor incondicional.

Damian Josue Vizcaino Toro

AGRADECIMIENTO AUTOR 2

Quiero comenzar expresando mi profundo agradecimiento a Dios por infundir fe y conocimiento en mi vida, y deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas maravillosas que han sido parte tanto de mi desarrollo personal, como profesional: mi familia, amigos e incluso mis maestros. Cada encuentro, por breve que haya sido, siempre será recordado con gratitud y cariño. Estaré eternamente agradecido por el apoyo y la bondad de cada una de las buenas personas que han pasado en mi camino.

Gracias.

Andy David Guasco Paspuel

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
JUSTIFICACIÓN.....	17
OBJETIVOS.....	18
Capítulo I	19
Marco Teórico	19
1.1. Nuez de Macadamia	19
1.1.1. Aspectos Nutricionales	19
1.1.2. Composición	20
1.2. Aspectos botánicos del árbol de macadamia.....	20
1.3. Aspectos botánicos de la nuez de macadamia.....	21
1.4. Análisis de la Exportación Mundial y el Potencial de Ecuador	22
1.5. Manejo de plantación del árbol de macadamia	23
1.6. Recubrimiento de la nuez	23
1.7. Acondicionamiento de la nuez de macadamia	24
Capítulo II	25
Análisis De Alternativas	25
2.1. Análisis multicriterio	25

2.2. Determinación y selección de la alternativa.....	26
2.2.1. Descripción de la alternativa 1	26
2.2.2. Descripción de la Alternativa 2	30
2.2.3. Descripción de la alternativa 3	31
Capítulo III.....	32
Diseño e implementación.....	32
3.1. Análisis de requerimientos	33
3.1.1. Requerimientos técnicos y operativos	33
3.1.2. Selección de materiales y componentes	33
3.1.3. Diseño conceptual.....	35
3.1.4. Impacto en las Partes del Cuerpo	35
3.1.5. Capacidad de producción.....	35
3.1.6. Cálculo de la fuerza necesaria para romper la cáscara de las nueces de macadamia ..	36
3.1.7. Área de la sección Transversal	39
3.2. Gráficas y Análisis	40
3.2.1. Scatter plot: Diámetro vs Fuerza	40
3.2.2. Scatter plot: Espesor de la cáscara vs Fuerza	40
3.2.3. Histograma: Fuerza.....	41
3.2.4. Boxplot	41
3.2.5. Mecanismo de funcionamiento.....	41
3.2.6. Selección del Motor.....	42
3.2.7. Cálculo del Torque Necesario.....	44
3.2.7. Cálculo del reductor coaxial	45
3.2.8. Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A653.....	46
3.2.9. Selección de la Varilla Roscada para el mecanismo de manivela	46
3.2.10. Características de los Aceros de Grado ASTM A36.....	48
3.3. Control.....	49
3.3.1. Diagrama de flujo	49
3.3.2. Diagrama de Control	50
3.3.3. Componentes de la Conexión Eléctrica.....	51
3.3.4. Diagrama de Fuerza.....	52
3.3.5. Componentes de Conexión.....	53
3.3.5. Sistema de Protección y Consumo de Amperaje	53
Capítulo IV.....	55
Análisis de Resultados y de Costos	55
4.1. Análisis	55
4.1.1. Diagrama de cuerpo libre de fuerza aplicada (mm)	55
4.1.2. Momento máximo.....	56
4.2. Deformación y factor de seguridad	56
4.2.1. Análisis de Deformaciones	57

4.2.2. Análisis del Factor de Seguridad	57
4.2.3. Factor de Seguridad	58
4.2.4. Selección del Perfil en la Tabla	58
4.2.5. Cálculo del Esfuerzo Permisible.....	59
4.2.6. Determinación del Factor de Seguridad	60
4.2.7. Análisis del Eje	60
4.2.8. Factor de seguridad del eje.	60
4.2.9. Deformaciones	61
4.2.10. Factor de Seguridad	61
4.3. Análisis de costos	62
4.3.1. Costos de perfiles metálicos para estructura.....	62
4.3.2. Costos de elementos electromecánicos.....	63
4.3.3. Juntas	63
4.3.4. Costos de manufactura.....	64
4.3.5. Costo de construcción.....	64
4.4. Cálculo de VAN y TIR	65
4.4.1. Valor Actual Neto (VAN).....	65
4.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	66
4.4. Periodo de Recuperación de la Inversión.....	67
4.5. Resultados	67
4.5.1. Valor Actual Neto (VAN).....	68
4.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	68
4.5.3. Periodo de Recuperación	68
4.6. Análisis de Sensibilidad	68
4.7. Eficiencia.....	69
4.7.1. Análisis del Producto:	69
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS.....	78
Normativa INEN Aplicable a la Nuez de Macadamia	83
Requisitos del Producto:	83
Procedimientos de Control	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nuez de Macadamia, [7].	19
Figura 2. Aspectos botánicos del árbol de macadamia.[3].	21
Figura 3. Flor del árbol de macadamia.[3].	21
Figura 4. Morfología de la nuez de macadamia.[1].	22
Figura 5. Principales países exportadores de macadamia a nivel mundial.[4].	22
Figura 6. Eliminación de la cáscara externa.[13].	24
Figura 7. Módulo HX711[8].	27
Figura 8. Sensor HC-SR04 [9].	28
Figura 9. Botón paro de emergencia tipo hongo para estación de control.	28
Figura 10. Módulo DS18B20.	29
Figura 11. Motorreductor.	30
Figura 12. Selección del perfil.	34
Figura 13. Selección de los materiales y pruebas de componentes a usar en la máquina.	34
Figura 14. Selección de macadamias.	37
Figura 15. Ejemplo módulo [21].	37
Figura 16. Prensa hidráulica actuando en la nuez de macadamia.	37
Figura 18. Mecanismo	41
Figura 19. Motor 1HP ROSSI.	43
Figura 20. Motor 1HP HOULE.	44
Figura 21. Reductor coaxial.	45
Figura 22. Valores técnicos.[20].	46
Figura 23. Valores técnicos de la varilla roscada.	46
Figura 24. Valores técnicos. [18].	48
Figura 26. Diagrama de control realizado en CADeSimu	50
Figura 27. Diagrama realizado en CADeSimu	52
Figura 28. Estructurade la base realizada en Solidworks	55
Figura 29. Diagrama de fuerza generado por MDSolids	56
Figura 29. Diagramas Generados por MDSolids	56
Figura 30. Análisis Generado por SolidWorks.	57

Figura 31. Análisis Generado por SolidWorks.....	57
Figura 32. Análisis Generado por SolidWorks.....	59
Figura 33. Análisis Generados por SolidWorks.....	60
Figura 34. Análisis Generados por SolidWorks.....	61
Figura 35. Ejecución de las Pruebas	69
Figura 36. Almendras dañadas	71
Figura 37. Almendras de macadamia separadas	71
Figura 38. Almendra de la nuez de macadamia.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aspectos alternativos para la construcción de la máquina.....	25
Tabla 2. Puntuación de criterios.....	26
Tabla 3. Materiales y componentes.....	32
Tabla 4. Requerimientos.....	33
Tabla 5. Análisis de fuerza necesaria aplicada en la nuez de macadamia.....	38
Tabla 7. Costo de ejes	62
Tabla 8. Costo de perfiles.....	62
Tabla 9. Costo de elementos electromecánicos.....	63
Tabla 10. Costo de juntas	63
Tabla 11. Costo de manufactura.....	64
Tabla 12. Costo de construcción	64
Tabla 13: Parámetros Fundamentales del Proyecto	65
Tabla 14. Cálculo Detallado del VAN.....	66
Tabla 15: Flujos de Efectivo Acumulados	67
Tabla 16. Resumen de Resultados del Análisis Financiero.....	68
Tabla 17. Análisis de Sensibilidad del VAN	69
Tabla 18. Toma de tiempos	70
Tabla 19. Datos recopilados	70

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta el desarrollo de una máquina especializada en el procesamiento de cáscaras de nuez de macadamia. Se inicia con un análisis exhaustivo de los principios mecánicos básicos, recopilando información de diversas fuentes, como estudios académicos, literatura especializada y discusiones en comunidades técnicas.

El proceso de selección de los componentes se lleva a cabo mediante un enfoque detallado, considerando aspectos como la viabilidad económica, la disponibilidad de materiales y la sostenibilidad. Este enfoque garantiza la elección de los elementos más adecuados para la construcción de la máquina.

A continuación, se procede a la etapa de diseño, utilizando herramientas avanzadas de modelado para visualizar y perfeccionar el concepto. Posteriormente, se avanza en la fabricación y montaje del prototipo, siguiendo estrictamente los planos y especificaciones desarrollados durante la fase de diseño.

Una vez completada la construcción, se realizan pruebas exhaustivas para evaluar el rendimiento y la eficacia de la máquina. Confirmada su capacidad para procesar cáscaras de nuez de macadamia de manera eficiente, la máquina se pondrá a disposición de los microempresarios locales interesados en mejorar sus operaciones, proporcionándoles una herramienta que aumente su productividad y reduzca la dependencia de mano de obra.

Palabras clave: nuez de macadamia, procesamiento de cáscara, automatización, industria

ABSTRACT

This degree work presents the development of a machine specialized in the processing of macadamia nut shells. It starts with an exhaustive analysis of the basic mechanical principles, gathering information from various sources, such as academic studies, specialized literature and discussions in technical communities.

The component selection process is carried out using a detailed approach, considering aspects such as economic feasibility, material availability and sustainability. This approach ensures that the most suitable elements are chosen for the construction of the machine.

This is followed by the design stage, using advanced modeling tools to visualize and refine the concept. Subsequently, the manufacturing and assembly of the prototype proceeds, strictly following the drawings and specifications developed during the design phase.

Once construction is complete, extensive testing is conducted to evaluate the machine's performance and efficiency. Confirmed its ability to process macadamia nut shells efficiently, the machine will be made available to local micro-entrepreneurs interested in improving their operations by providing them with a tool that will increase their productivity and reduce labor dependence.

Keywords: macadamia nut, in-shell processing, automation, industry

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la producción de nuez de macadamia ha ido en aumento significativo debido a la creciente demanda de este fruto seco a nivel nacional e internacional. Además de sus beneficios nutricionales, la nuez de macadamia es muy versátil en la industria alimentaria y cosmética, lo que la convierte en un producto muypreciado entre los consumidores. No obstante, su dura cáscara supone un importante desafío para el proceso de obtención de la almendra, ya que en el ámbito local suele realizarse de forma manual y no solo es menos eficiente, sino también peligroso al trabajar repetitivamente con herramientas no aptas para su obtención.

La falta de maquinaria apropiada para el procesamiento de nueces de macadamia limita significativamente a los productores locales, el aplicar un proceso automatizado reducirá tanto el esfuerzo físico y manual mejorando la calidad y consistencia del producto final, aumentando así la rentabilidad de un cultivo de nueces de macadamia. El diseño y construcción de este dispositivo pretende automatizar la obtención de dicho producto.

Este sistema combinará mecanismos para la trituración precisa con control automático para asegurar la máxima eficiencia y funcionamiento seguro. La metodología desarrollada incluirá el análisis de todas las necesidades técnico-operativas, la elección de materiales y componentes y, por último, la creación de un modelo y pruebas. Utilizando datos de prototipos viables, se desarrolló un sistema de construcción y pruebas del prototipo implementado para evaluar su rendimiento y eficacia. Esta tesis tiene como objetivo mejorar la producción y la calidad de la nuez de macadamia, al mismo tiempo contribuye al avance tecnológico en la frontera agraria y apoya el cultivo local. Además, busca promover la rentabilidad y la sostenibilidad de la tecnología en el sector agrícola del Ecuador.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desafío en la producción de nueces de macadamia en Ecuador es la falta de maquinaria automatizada que funcione de manera eficiente y económica. La cáscara de la nuez de macadamia es muy dura y resistente, lo que dificulta su procesamiento y comercialización. Una microempresa produce y exporta nueces de macadamia, pero para su proceso requiere de una mano de obra experimentada y de condiciones climáticas favorables para mantener la calidad de este fruto. Sin embargo, no se menciona el tipo de maquinaria que se utiliza para extraer la nuez de la cáscara, ni los costos o beneficios que implica.

Por otro lado, el precio de la nuez de macadamia en el mercado internacional es de aproximadamente 10 dólares los 300 g, lo que la convierte en una alternativa rentable para los productores ecuatorianos. Sin embargo, también señala que la comercialización de la macadamia en Ecuador no es tan relevante, y que los grandes mercados consumidores son Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas. Esto podría deberse a las dificultades para procesar y distribuir este producto.

JUSTIFICACIÓN

La nuez de macadamia es considerada un fruto seco apetecible y nutritivo que se ha ganado un lugar destacado en la cocina y la alimentación debido a su delicioso sabor y su perfil nutricional excepcional tomando en cuenta su valor comercial en el mercado nacional e internacional. En la industria de la nuez de macadamia, el desperdicio de nueces debido a daños en el proceso de trituración es un problema común. Se minimizará estos desperdicios al utilizar un sistema de trituración preciso. Al separar las cáscaras de manera eficiente sin dañar las nueces, se reducirá la cantidad de nueces descartadas y, por lo tanto, los costos asociados con el desperdicio de producto. La trituración manual de las cáscaras de nuez de macadamia puede llevar a cierto grado de inconsistencia en el proceso. Al automatizar esta tarea con esta máquina trituradora, se podrá obtener una mayor uniformidad en el producto final. Esto es especialmente importante en la industria alimentaria, donde la calidad y el aspecto del producto son factores clave para los consumidores.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una máquina innovadora y eficiente que triture cáscaras de nuez de macadamia, con el propósito de mejorar los procesos de procesamiento y aprovechamiento de este recurso agrícola de manera sostenible.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Analizar el proceso artesanal de trituración en la cáscara de nuez de macadamia mediante experimentación para la obtención de variables del proceso.
- 2 Diseñar los elementos mecatrónicos de la máquina mediante cálculos y simulaciones con software de ingeniería para el logro de un diseño eficiente y robusto.
- 3 Validar el funcionamiento de la máquina a través de pruebas de campo para la evaluación de su capacidad de procesamiento en condiciones de operación real.

Capítulo I

Marco Teórico

1.1. Nuez de Macadamia

La Macadamia engloba cuatro tipos de especies nativas de Australia, respectivas del estado de Nueva Gales del Sur y Queensland, donde se cultivan principalmente las nueces del tipo, *Macadamia tetraphylla*, *Macadamia integrifolia*, *Macadamia jansonii*, *Macadamia ternifolia*. Los tipos *M. jansonii* y *M. ternifolia* no son aptos para el consumo humano, dentro del uso comercial las especies de importancia se atribuyen a las del tipo *M. tetraphylla* y *M. integrifolia* como se observa en la figura 1, siendo aplicadas en la industria alimentaria y cosmética [5]. La Nuez de Macadamia se considera un fruto seco altamente apreciado en el mercado actual por su calidad sensorial y su perfil nutricional.



Figura 1. Nuez de Macadamia, [7].

1.1.1. Aspectos Nutricionales

La nuez posee nutrientes indispensables, proporcionando una variedad de vitaminas, entre las que destaca el B6. Además, aporta minerales esenciales como el manganeso, el hierro y el magnesio [5], también es una excelente fuente de carbohidratos y fibra dietética.

Los ácidos grasos que conforman la nuez son un 75 % de monoinsaturados junto con el ácido palmitoleico Omega-7 [5].

Estos ácidos son fundamentales para mantener un buen funcionamiento del organismo y apoyar un estilo de vida activo y sano con su consumo moderado en la dieta.

El ácido palmitoleico también desempeña un papel crucial en la señalización celular y la regulación metabólica. Este ácido graso puede tener efectos positivos en la salud cardiovascular al ayudar a reducir el colesterol LDL (colesterol “malo”), puede contribuir a la disminución del riesgo de enfermedades cardíacas.

1.1.2. Composición

Manganeso (Mn): El manganeso es un cofactor para varias enzimas implicadas en procesos metabólicos, incluida la síntesis de huesos y la formación de tejido conectivo.

Hierro (Fe): El hierro es crucial para la formación de hemoglobina, la proteína que transporta oxígeno en la sangre, y mioglobina, una proteína que almacena oxígeno en los músculos. También desempeña un papel en la producción de energía y la función inmune.

Magnesio (Mg): El magnesio es necesario para la síntesis de proteínas, la contracción muscular y la función nerviosa. También desempeña un papel en la regulación del ritmo cardíaco y la presión arterial.

1.2. Aspectos botánicos del árbol de macadamia.

El árbol de macadamia es de tipo perennifolio como se aprecia en la figura 2, llega a medir desde los 7 m en un ambiente controlado pueden llegar hasta los 15 m en su biósfera [1]. La atención que se le brinde al árbol, incluyendo el riego adecuado, la fertilización y la poda, influye significativamente en la calidad de las nueces de macadamia. La preparación del suelo para el árbol de macadamia debe ser de al menos un año, ya que necesita un suelo ligeramente ácido con un pH correcto para su desarrollo ideal. El pH debe estar ubicado entre los 5.5 y 6.2 para aprovechar los macro y micronutrientes [1].



Figura 2. Aspectos botánicos del árbol de macadamia.[3]

La flor de la macadamia es considerada perfecta. Su principal método de reproducción es la polinización cruzada, en la cual las abejas desempeñan un papel crucial como polinizadores. Para aumentar la polinización, se recomienda introducir al menos dos variedades de macadamia en una huerta, ya que esto aprovecha los diferentes tiempos de madurez de los órganos de las flores como se observa en la figura 3.



Figura 3. Flor del árbol de macadamia.[3]

1.3. Aspectos botánicos de la nuez de macadamia

Este fruto exhibe una morfología redondeada y un tamaño que oscila entre 2,5 y 3,5 cm de diámetro [6]. Su semilla se halla alojada en un pericarpio resistente, como se observa en la figura 4, de textura suave y coloración café, el cual está envuelto por una cáscara verde que se torna suave al madurar la fruta. La almendra en sí presenta un tono blanco cremoso.

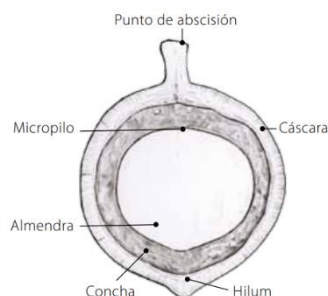


Figura 4. Morfología de la nuez de macadamia.[1]

1.4. Análisis de la Exportación Mundial y el Potencial de Ecuador

Según datos del OEC (Observatorio de Complejidad Económica) acoplados en la figura 5 en el 2022 Sudáfrica se posicionó como el mayor país exportador de esta nuez, con un comercio total de \$865M en el mundo [4].

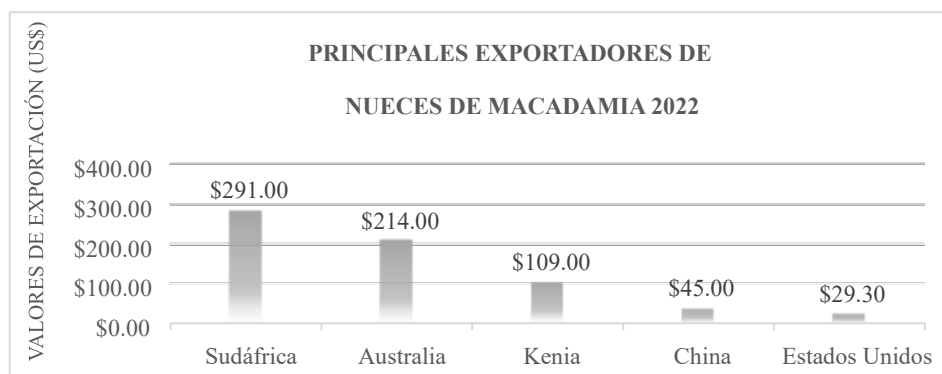


Figura 5. Principales países exportadores de macadamia a nivel mundial.[4]

Según datos del OEC (Observatorio de Complejidad Económica) en uno de los mercados más importantes de importación de la macadamia es China (\$264M) que se posicionó como el mayor país importador de esta nuez, para su uso comercial [4].

En Ecuador, el cultivo de macadamia fue introducido en 1976 emergiendo, así como un cultivo de interés gradual en dentro del país, creciendo hasta alcanzar alrededor de 2000 hectáreas plantadas. Efectuando su primera importación en 1988 a nivel global [2].

Las principales zonas productoras en el país se encuentran en las provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas [2]. Además, debido a las condiciones geográficas y climáticas

favorables de Ecuador, este cultivo presenta un potencial significativo para la expansión y podría convertirse en una alternativa viable dentro de los cultivos agrícolas del país en posteriores años.

1.5. Manejo de plantación del árbol de macadamia

Es importante elegir la variedad adecuada según las condiciones del lugar a plantar.

Se recomienda tener ambas especies de macadamia en la plantación, ya que se debe generar en un nivel variable para garantizar una alta polinización. Las abejas son los principales polinizadores, por lo que 1-2 colmenas por hectárea darán mayores resultados respecto a la polinización.

La densidad de árboles por hectárea depende del tipo de plantación y manejo. Ya que en promedio se pueden considerar 400 árboles por hectárea. La poda se debe realizar durante los primeros dos años después de la siembra, seguida de una poda profunda cada año.

Se recomienda un análisis anual del suelo y de las hojas para determinar correctamente qué fertilizantes aplicar cada 2 o 3 años. El uso de materia orgánica y oligoelementos como hierro, magnesio y zinc puede resultar beneficioso [1].

Como zona de cosecha, es importante mantener las copas de los árboles libres de malas hierbas.

Es susceptible a las heladas y al fuerte viento. Recomendando a si colocar una barrera rompe vientos alrededor de la plantación [5].

1.6. Recubrimiento de la nuez

La eliminación del recubrimiento es el proceso principal dentro la cadena de producción y postcosecha de nueces. Consiste en la eliminación de la capa fibrosa que recubren las nueces, conocida como carozo, véase en la figura 6 la composición de esta. Este proceso es fundamental porque permite acceder al fruto interno. La separación de estas tiende a ser manual con las técnicas disponibles en el lugar de producción. En el sector rural, se realiza de forma manual donde se utilizan un conjunto de martillo y una base de madera o piedra para romper este recubrimiento

Sin embargo, en entornos industriales, se utilizan maquinaria que agilizan el proceso y garantizan una mayor eficiencia.



Figura 6. Eliminación de la cáscara externa.[13].

1.7.Acondicionamiento de la nuez de macadamia

Secado: Después de la eliminación del recubrimiento de las nueces de macadamia, es fundamental eliminar la humedad residual para prevenir la aparición de hongos y moho, así como para evitar la rancidez de las almendras. El secado se lleva a cabo utilizando equipos especializados que controlan la temperatura y la humedad del aire circulante, garantizando que las almendras se sequen de manera uniforme sin sobrecalentarse.

Clasificación: Una vez secas, las almendras de macadamia pueden ser clasificadas según su tamaño, color y calidad. Esto se realiza para separar las almendras de alta calidad de aquellas que presentan defectos visibles o imperfecciones. La clasificación puede llevarse a cabo de forma manual o con la ayuda de equipos de clasificación automática [1].

Almacenamiento: Las almendras de macadamia acondicionadas se almacenan en condiciones adecuadas para preservar su frescura y calidad. Se utilizan contenedores herméticos o bolsas selladas para proteger las almendras del aire, la luz y la humedad, que pueden provocar la pérdida de sabor y la aparición de deterioro. Además, es importante mantener las almendras almacenadas en un lugar fresco y seco para prolongar su vida útil.

Envasado: Antes de su distribución y comercialización, las almendras de macadamia acondicionadas pueden ser envasadas en bolsas o recipientes adecuados para su protección y presentación bajo el tipo de normativa presente en su país. Se pueden utilizar envases al vacío para garantizar que las almendras se mantengan frescas por más tiempo y se preserven sus propiedades organolépticas [1].

Capítulo II

Análisis De Alternativas

A continuación, se presenta una evaluación de opciones con el fin de seleccionar el diseño final del proyecto en función de los objetivos establecidos en la tabla 1.

2.1. Análisis multicriterio

Velocidad de obtención de la almendra de hasta 30 kg por hora.

Tabla 1. Aspectos alternativos para la construcción de la máquina.

Aspecto	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sistema de Alimentación Automatizado	Carga de 100kg (cantidad de nueces).	Sistema de visión artificial Por medio de cámara TP-Link Tapo C100 V1 de 2MP visión nocturna incluida para detectar el flujo de nueces.	Control de flujo basado en el sensor de ultrasonido a distancia Jsn-sr04t (A prueba de agua).
Control de Velocidad y Fuerza	Motor reductor de 1 Hp.	Servomotores para controlar la fuerza de trituración.	Sistema de control PID para ajuste automático de la velocidad y fuerza.
Sistema de Seguridad	Sistemas de parada de emergencia. Sensor de proximidad por ultrasonido.	Sensor de seguridad de detección de manos Guardmaster™ SC300 de Allen-Bradley.	Cámaras de visión para detección de objetos extraños.
Monitoreo y Diagnóstico Remotos	Sensores IoT para monitoreo remoto de condiciones operativas.	Sistemas de telemetría para diagnóstico a distancia.	Integración de sistemas SCADA para monitoreo y control.
Optimización del Diseño Mecánico	Sistema manual para ajustar la entrada según el tamaño de la nuez.	Simulaciones en tiempo real.	Diseño modular para facilitar la mantenibilidad.
Interfaz de Usuario Intuitiva	Mando operativo para el encendido/apagado y paro de emergencia.	Interfaz gráfica de usuario con navegación por menús en HMI.	Panel de control táctil con iconos intuitivos.
Proceso de Extracción	Sistema manual de bandejas.	Transportador automatizado hacia una bandeja.	Sistema de succión neumática para extracción continua.

La evaluación de criterios se dividirá en la tabla 2 con un total apto para cada alternativa.

Tabla 2. Puntuación de criterios.

Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Disponibilidad de materiales	10	07	08
Inversión económica	10	05	08
Simplicidad de operación	09	06	09
Mantenimiento	09	05	05
Integración	08	06	07
Seguridad	09	10	09
TOTAL	55	39	46

2.2. Determinación y selección de la alternativa

La Alternativa 1 emerge como la opción preeminente en el análisis multicriterio por numerosas razones fundamentadas en la evaluación de los criterios estipulados. Primero, con una puntuación acumulativa de 55 puntos, supera a los demás criterios establecidos.

Además, destaca en la disponibilidad de materiales necesarios para su ejecución, lo que facilita su implementación.

En términos de inversión económica, su alta puntuación denota una óptima relación costo-beneficio. La simplicidad en la operación y mantenimiento implica una reducción en costos y tiempo, lo que añade a su viabilidad. Aunque no lidera en integración, su competitividad en este criterio indica una adecuada compatibilidad con sistemas o procesos ya existentes. Finalmente, su alta calificación en seguridad, aunque no la máxima, asegura que se han considerado adecuadamente aspectos cruciales en su diseño y funcionamiento.

En conjunto, estos factores posicionan a la alternativa 1 como la opción más propicia para ser seleccionada.

2.2.1. Descripción de la alternativa 1

La alternativa 1 propuesta se enfoca en la implementación de un sistema de control de peso utilizando un sensor de peso basado en una celda de carga y un microcontrolador Arduino. Este

sistema se diseñará y desarrollará con el objetivo de mejorar la eficiencia y precisión del proceso de descascarillado de nueces de macadamia en una máquina específica.

Sensor de peso (celda de carga con módulo HX711):

Sensor: Celda de carga con un módulo de amplificación y conversión analógico-digital como el HX711 como se observa en la figura 7, conectado a un microcontrolador.

Ventajas:

- Relativamente económico y fácil de encontrar.
- Integración sencilla con microcontroladores para procesamiento de datos.

Desventajas:

- Puede requerir calibración para obtener mediciones precisas.
- La precisión puede verse afectada por factores ambientales.

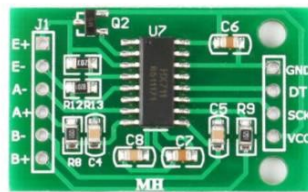


Figura 7. Módulo HX711[8]

Sensor de proximidad por ultrasonido (HC-SR04):

Sensor: Sensor de proximidad por ultrasonido HC-SR04 para detectar la presencia de nueces en la máquina como se observa en la figura 8.

Ventajas:

- Económico y fácil de usar.
- Alta precisión en la detección de objetos dentro de su rango.

Desventajas:

- Limitado en su capacidad para detectar objetos transparentes o pequeños.

- Puede ser sensible a condiciones ambientales como el polvo o la humedad.



Figura 8. Sensor HC-SR04 [9]

Mecanismo de seguridad de parada de emergencia (botón de parada de emergencia con microcontrolador):

Mecanismo: Botón de parada de emergencia conectado a un pin de entrada de un microcontrolador, que interrumpe la alimentación del motor al ser presionado como se observa en la figura 9.

Ventajas:

- Proporciona una forma rápida y efectiva de detener la máquina en situaciones de emergencia.
- Fácil de implementar y mantener.

Desventajas:

- Puede causar interrupciones en la producción si se activa accidentalmente.
- Requiere reinicio manual después de activarse.



Figura 9. Botón paro de emergencia tipo hongo para estación de control

Sensor de temperatura (sensor de temperatura DS18B20):

Sensor: Sensor de temperatura DS18B20 para monitorear la temperatura del motor u otros componentes críticos como se observa en la figura 10.

Ventajas:

- Bajo costo y fácil integración con Arduino.
- Alta precisión y resolución en la medición de la temperatura.

Desventajas:

- Requiere calibración para garantizar mediciones precisas.
- Puede ser necesario proteger el sensor del entorno de trabajo para evitar daños.



Figura 10. Módulo DS18B20

Motorreductor

Ventajas:

Alto Torque para Descascarillado Eficiente:

- El motorreductor proporciona un alto torque, lo que es crucial para el proceso de descascarillado de nueces. Esta característica permite aplicar la fuerza necesaria para romper las cáscaras sin comprometer la eficiencia del proceso.

Control de Velocidad Preciso:

- Con un motor reductor, se puede ajustar la velocidad de la máquina de manera precisa y controlada. Esto permite adaptar la velocidad de operación según las necesidades específicas del proceso y el tipo de nuez a descascarillar.

Desventajas:

Limitación de Velocidad Máxima:

- Aunque los motorreductores son ideales para aplicaciones que requieren alto torque, suelen tener limitaciones en cuanto a la velocidad máxima que pueden alcanzar. Esto podría ser una desventaja si se requiere una alta velocidad de operación para maximizar la producción.

Costo Inicial y Mantenimiento:

- Los motorreductores suelen tener un costo inicial más alto que otros tipos de motores debido a su complejidad mecánica como se observa en la figura 11. Además, pueden requerir un mantenimiento periódico para garantizar un funcionamiento óptimo, lo que podría aumentar los costos operativos a largo plazo.



Figura 11. Motorreductor

2.2.2. Descripción de la Alternativa 2

La alternativa 2 para la extracción de nueces de macadamia se centra en integrar servomotores para controlar la fuerza de trituración y un sistema de visión artificial con una cámara TP-Link Tapo C100 V1 de 2MP. Esta combinación permite ajustar la fuerza de manera precisa y adaptativa, mientras se supervisa el flujo de nueces en tiempo real. Aunque pueda requerir una inversión

económica inicial y mantenimiento adicional, ofrece simplicidad de operación y mejora la seguridad del proceso de extracción.

2.2.3. Descripción de la alternativa 3

La alternativa 3 ofrece un enfoque integral y avanzado. Incluye sistemas automatizados de alimentación y control de velocidad, así como seguridad integrada. Destaca por su capacidad de monitoreo remoto, optimización del diseño mecánico y una interfaz de usuario intuitiva. Además, cuenta con un control preciso del flujo mediante un sensor de ultrasonido y un sistema de control PID. La integración de sistemas SCADA y un diseño modular facilitan la gestión y mantenimiento del sistema. Esta alternativa obtuvo una puntuación sólida, especialmente en disponibilidad de materiales, inversión económica, simplicidad de operación, integración y seguridad.

Capítulo III

Diseño e implementación

La elección de los materiales es fundamental para la durabilidad y eficiencia de la máquina. Los materiales utilizados en la construcción en vista a la alternativa 1 de la máquina trituradora de macadamia incluye:

Tabla 3. Materiales y componentes

Material	Especificación	Detalle
Plancha de acero INOX. AISI304	Utilizada en el cilindro y la cubierta de la tolva	Alta resistencia a la corrosión, ideal para ambientes expuestos a la humedad
Acero estructural	Utilizado en la construcción de la estructura principal de la máquina	Ofrece la resistencia requerida para soportar la trituración
Acero de transmisión	Utilizado en el eje triturador	Posee la capacidad de resistir altas cargas y esfuerzos mecánicos
Aleación de acero	Utilizado en los resortes	Proporciona la elasticidad y resistencia necesarias para las fuerzas aplicadas durante la operación
Varilla roscada galvanizada	Utilizada para el ajuste manual dependiendo del tamaño de la macadamia.	Proporciona resistencia a la corrosión.
Chumacera	1/2 pulgada	Permite el movimiento del cilindro, junto con el eje.
Motorreductor	Motor de 1 HP	Proporciona la potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina.

3.1. Análisis de requerimientos

3.1.1. Requerimientos técnicos y operativos

La capacidad de procesamiento de la máquina es uno de los aspectos más críticos, con una capacidad de obtención de almendra de 30 kg por hora. Además, el consumo energético debe ser optimizado utilizando un motor apto a la rotura de la nuez.

Para garantizar el correcto funcionamiento y la eficiencia de la máquina trituradora de cáscaras de nuez de macadamia, es esencial definir claramente los requerimientos técnicos y operativos. Estos requerimientos aseguran el rendimiento óptimo del equipo, y también minimizan los costos de operación y mantenimiento, y maximizan la seguridad y la facilidad de uso.

Tabla 4. Requerimientos.

Requerimiento Operativo	Detalle
Capacidad de procesamiento	Capacidad de obtención de almendra de 30 kg por hora
Espacio requerido	Dimensiones de la máquina: 40 cm x 80 cm x 120 cm
Condiciones de operación	Temperatura de operación entre 10 °C y 35°C, humedad relativa del 30% al 80%
Mano de obra necesaria	Un operador para supervisión y carga de nueces.
Costo de mantenimiento	Revisar manual de mantenimiento en anexos.
Frecuencia de mantenimiento	Revisar manual de mantenimiento en anexos.
Seguridad operativa	Sistemas de parada de emergencia.

3.1.2. Selección de materiales y componentes

La selección de materiales y componentes para la máquina se ha realizado con un enfoque en la durabilidad y eficiencia. El proceso de selección comenzó con la creación de bocetos para visualizar el concepto. Posteriormente, se realizaron en el software SolidWorks para validar la eficacia del diseño y hacer ajustes necesarios. Estos diseños permitieron identificar y corregir posibles fallos antes de la fabricación del prototipo.



Figura 12. Selección del perfil.

Se usó acero estructural de 3 mm para la construcción de la estructura de la base como se observa en la figura 12, debido a su alta resistencia y capacidad para soportar las cargas mecánicas durante la operación. El acero 304 es una elección adecuada para la parte superior de la estructura, ya que no existe una exposición significativa a agentes corrosivos agresivos. Este tipo de acero se utiliza ampliamente en la mayoría de las aplicaciones de máquinas que están en contacto con alimentos es el más económico.

Además, el eje triturador está fabricado y mecanizado en acero de transmisión como se observa en la figura 13, capaz de resistir elevadas cargas y esfuerzos mecánicos de cada macadamia. Para los resortes, se ha elegido una aleación de acero que ofrece la elasticidad y resistencia necesarias para las fuerzas aplicadas durante la operación. La elección de estos materiales asegura la robustez del equipo eficiencia operativa.



Figura 13. Selección de los materiales y pruebas de componentes a usar en la máquina.

3.1.3. Diseño conceptual

La producción de nuez de macadamia dentro del ámbito rural es una problemática debido a la dureza del endocarpio y las tareas manuales de procesamiento de la cáscara. Un diseño automatizado de la máquina de trituración abordaría ambos problemas, mejorando la eficiencia y la facilidad de uso del proceso. El estudio de la función neuromuscular mediante electromiografía de superficie multicanal (sEMG) ha demostrado la fatiga muscular durante tareas repetitivas. Por medio de un método no invasivo del estudio se permitió analizar los patrones de activación y fatiga muscular, proporcionando información valiosa para la prevención y tratamiento de lesiones por esfuerzo repetitivo. En particular, se ha observado que los músculos extensores del antebrazo, como el Extensor Carpi Radialis (ECR), el Extensor Carpi Ulnaris (ECU), y los flexores, como el Flexor Palmaris Longus (FPL) [17], se benefician significativamente de la reducción del esfuerzo físico proporcionada por maquinaria automatizada.

3.1.4. Impacto en las Partes del Cuerpo

La manufactura de una máquina trituradora automatizada puede reducir significativamente el riesgo de lesiones en las siguientes partes del cuerpo:

Antebrazos: La electromiografía de superficie ha demostrado que los músculos del antebrazo, como el ECR y el ECU, pueden dar una reducción en la fatiga muscular al contar con un mecanismo diseñado, evitando el esfuerzo repetitivo y prolongado [17].

Muñecas: Las tareas manuales de trituración implican un esfuerzo constante en las muñecas, lo que puede llevar a problemas como el síndrome del túnel carpiano. Logrando reducir el esfuerzo en las muñecas en y disminuyendo la incidencia de estas afecciones [17].

3.1.5. Capacidad de producción

Para determinar la capacidad de producción de la máquina trituradora según los valores proporcionados, se emplea la ecuación [14]:

$$\text{Capacidad de producción} = \frac{(\text{Cantidad de producto por ciclo})}{(\text{Ciclos por unidad de tiempo})} \quad (1)$$

Dado que la capacidad de la obtención de la almendra por ciclo es de 30 kg y también se realiza 1 ciclo por hora, se obtiene:

$$\text{Capacidad de obtención de almendra} = \frac{(30 \text{ kg/ciclo})}{(1 \text{ ciclo/hora})} = 30 \text{ kg/h.}$$

Por tanto, la capacidad de obtención de almendra es de 30 kg por hora.

Para calcular la eficiencia de la máquina, se utiliza la siguiente ecuación [15]:

$$\text{Eficiencia de la máquina} = \frac{(\text{Producción real})}{(\text{Producción teórica})} * 100 \quad (2)$$

Dado que la producción real de la obtención de almendra es de 27 kg/h (según la tabla de pruebas y producción) y las producciones teóricas son de 30 kg/h respectivamente [16], se calcula:

$$\text{Eficiencia de la máquina de obtención de almendra} = \frac{(27 \text{ kg/h})}{(30 \text{ kg/h})} * 100 = 96.67\%$$

Por lo tanto, la eficiencia de la máquina trituradora para el descascarillado y la obtención de almendra es del 96.67%. Esto indica que está operando muy cerca de su capacidad máxima teórica, lo cual es un resultado positivo para la producción en masa.

3.1.6. Cálculo de la fuerza necesaria para romper la cáscara de las nueces de macadamia

Se registraron los datos de medición de 50 ejemplares de *Macadamia integrifolia* para determinar cuál es la fuerza necesaria para quebrar el endocarpio de estas.

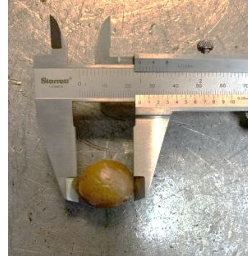


Figura 14. Selección de macadamias.

Las mediciones se realizaron utilizando una prensa hidráulica acoplada a un sistema de medición en tiempo real, compuesto por un sensor de peso (módulo HX711), un microcontrolador y una celda de carga.

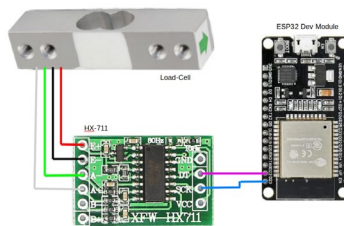


Figura 15. Ejemplo módulo [21]

El proceso de medición consistió en aplicar presión incrementalmente hasta que la cáscara se rompiera. El peso aplicado en el momento de la rotura se registró a través de la consola del sistema donde se imprimen los gramos convertidos a kilonewton por medio de la programación, lo que permitió calcular la fuerza máxima requerida para romper cada cáscara.



Figura 16. Prensa hidráulica actuando en la nuez de macadamia.

A continuación, se presenta la tabla 5 con los datos tomados y algunas observaciones basadas en las pruebas de las nueces.

Tabla 5. Análisis de fuerza necesaria aplicada en la nuez de macadamia.

Diámetro (mm)	Espesor de la Cáscara (mm)	Área de la Sección Transversal (mm²)	Fuerza Necesaria (kN)	Observaciones
23.04	2.56	164.71	5.04	Cáscara particularmente gruesa.
22.1	2.96	177.99	5.54	-
25.4	2.91	205.6	4.67	-
23.96	2.56	172.11	4.78	-
21.63	2.85	168.15	4.67	Nuez con forma irregular.
23.09	2.05	135.5	4.58	Nuez con forma irregular.
23.24	2.15	142.45	5.53	-.
22.24	2.25	141.3	4.79	Problemas con el sensor.
25.69	2.76	198.82	5	Fuerza aplicada fue constante.
24.94	2.16	154.58	5.08	Cáscara ligeramente dañada.
20.42	2.24	127.94	4.22	Nuez con forma regular.
22.86	2.57	163.82	5.44	Cáscara particularmente gruesa.
25.41	2.93	206.93	4.67	Cáscara particularmente gruesa.
23.06	2.77	176.57	4.63	Nuez con forma irregular.
21.62	2.26	137.46	5.17	Ninguna anomalía detectada.
25.38	2.65	189.23	4.11	Problemas con el sensor.
24.53	2.81	191.74	4.84	Cáscara particularmente gruesa.
25.04	2.6	183.29	5.18	Cáscara con grietas previas.
25.25	2.58	183.75	5.14	-
21.91	2.79	167.59	4.8	Fuerza aplicada fue constante.
24.82	2.18	155.05	4.33	Cáscara particularmente gruesa.
25.63	2.81	201.45	4.95	-
20.61	2.2	127.24	4.32	Problemas con la alineación en la prensa.
23.52	2.85	185.07	4.84	-
23.74	2.7	178.47	5.43	Cáscara particularmente gruesa.
24.88	2.4	169.5	6.11	-
20.77	2.85	160.45	4.21	Problemas con la alineación en la prensa.

21.95	2.5	152.76	5.4	Nuez con forma irregular.
22.13	2.26	141.08	5.41	-
21.93	2.33	143.47	5.09	Cáscara especialmente dura.
21.22	2.35	139.31	4.73	-
21.09	2.07	123.69	4.05	Nuez con forma irregular.
22.66	2.48	157.23	4.66	-
25.37	2.07	151.52	4.71	Ninguna anomalía detectada.
25.54	2.02	149.26	5.26	Problemas con la alineación en la prensa.
25.42	2.42	174.86	5.06	Cáscara ligeramente dañada antes de la prueba.
23.41	2.9	186.86	4.36	-
24.69	2.77	190.75	6.09	Problemas con la alineación en la prensa.
24.11	2.35	160.65	5.27	Cáscara particularmente gruesa.
22.2	2.7	165.4	5.09	Problemas con la alineación en la prensa.
24.3	2.73	185	5.44	Cáscara particularmente gruesa.
20.93	2.98	168.05	5.28	Ninguna anomalía detectada.
23.76	2.57	171.09	4.57	Cáscara con grietas previas.
23.6	2.91	189.15	4.56	Cáscara ligeramente dañada antes de la prueba.
22.42	2.71	167.81	4.6	-
25.8	2	149.54	4.21	Problemas con el sensor.
25.1	2.95	205.28	4.97	-
25.29	2.63	187.23	4.42	Cáscara ligeramente dañada antes de la prueba.
21.6	2.78	164.37	5.02	-
24.17	2.95	196.66	5.15	Cáscara particularmente gruesa.

3.1.7. Área de la sección Transversal

El área de la sección transversal de la cáscara usada en la tabla 5 es calculada con la fórmula:

$$A = \pi \left(\left(\frac{d}{2} \right)^2 - \left(\frac{d - 2t}{2} \right)^2 \right) \quad (3)$$

Donde:

- d : es el diámetro de la nuez
- t : es el espesor de la cáscara

3.2. Gráficas y Análisis

Se crearon diferentes gráficas con los datos obtenidos los cuales muestran cómo el tamaño de la nuez (el diámetro) y su cáscara (el espesor) influyen en la cantidad de fuerza necesaria para romper las nueces de Macadamia

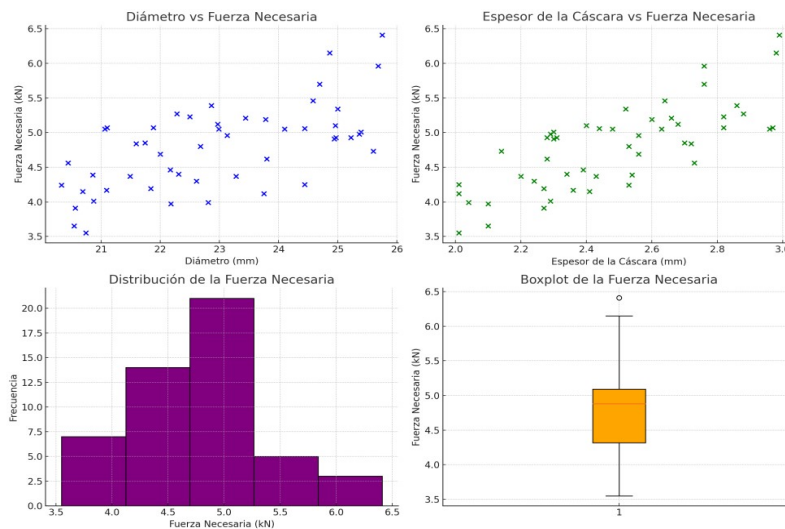


Figura 17. Gráficos realizados en el software Python

3.2.1. Scatter plot: Diámetro vs Fuerza

Las nueces de Macadamia no muestran ningún tipo de correlación clara entre su diámetro y la fuerza necesaria para romperlas. Algunos datos excepcionales podrían ser considerados de la figura 17. Por lo tanto, no tiene sentido seguir centrando el análisis en el diámetro.

3.2.2. Scatter plot: Espesor de la cáscara vs Fuerza

La figura 17 muestra una relación lineal directa entre las nueces, el espesor de su cáscara y la fuerza necesaria para romperlo. Por lo tanto, el tamaño de la cáscara es la variable principal que analizar.

3.2.3. Histograma: Fuerza

El histograma representa la fuerza necesaria de dispersión. La figura 17 muestra un pico en aproximadamente 5 kN, es decir el valor medio de la fuerza. Los datos de la gráfica muestran las dos nueces que se alejan mucho del resto de las muestras, que se ubican por arriba de los 6 kN, un valor a tenerlo en cuenta para un margen de seguridad del equipo de ruptura.

3.2.4. Boxplot

Los resultados de la figura 17 muestran que el 50% central de las muestras necesita entre 4,5 kN y 5,5 kN de fuerza para quebrarse, con un promedio de 5 kN. Esto refleja la variabilidad natural dentro de las características de las nueces. Los valores atípicos pueden deberse a nueces con características inusuales.

3.2.5. Mecanismo de funcionamiento

Dentro de varios bocetos realizados, se decidió aplicar el mecanismo propuesto por Llarena Ana (2018) debido a su eficacia demostrada en el diseño y construcción de una máquina descascaradora de macadamia [22]. El mecanismo dentro de la máquina esta detallado en la figura 18 y sus componentes se describen a continuación:

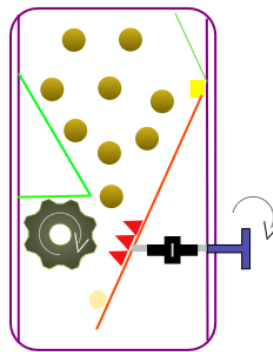


Figura 18. Mecanismo

Alimentación: Las nueces de macadamia ingresarán por la parte superior del mecanismo.

Sistema de trituración (gris oscuro): El eje central, impulsado por un motor, gira el eje (dientes). Este engranaje es el componente principal para triturar las nueces, aplicando la fuerza de 5 kN calculada.

Rampa (verde): Guía las nueces hacia la zona de trituración, asegurando un flujo constante y controlado.

Dientes (rojo): Componente crítico que realiza una presión efectiva de las nueces.

Sistema por presión (negro) y placa (naranja): El sistema por presión proporciona una fuerza de compresión ajustable. La placa, conectada al sistema por un acople de presión y la respectiva varilla sin fin calculada, proporciona resistencia entre las nueces hacia el eje en rotación.

Manivela (azul): Permite ajustar la tensión del sistema por presión, controlando así la fuerza de compresión sobre las nueces y el tamaño de entrada de estas usando una varilla roscada.

Pared (morado): Actúa como superficie de apoyo usado en el cuerpo exterior.

Bisagra (amarillo): Permite el movimiento de la rampa al ser ajustado manualmente por la manivela, facilitando la alimentación y la limpieza del mecanismo.

Varilla sin fin (gris): Elemento estructural que sostiene y maneja el movimiento de la placa, el sistema por presión y la manivela.

3.2.6. Selección del Motor

Según los datos de medición y gráficas generadas, la fuerza necesaria para romper la cáscara de nuez de macadamia está ubicada alrededor de 5 kN. Este valor se determina teniendo en cuenta la distribución de las fuerzas necesarias, observando que la mayoría de las nueces requiere una fuerza cercana a este con algunas variaciones.

La siguiente fórmula:

$$P = \frac{(F \times v)}{\eta} \quad (4)$$

La altura de la tolva es 0.16424 metros (164.24 mm) y el tiempo promedio de caída medido es de 1.64 segundos:

$$v = \frac{0.16424 \text{ m}}{1.64 \text{ s}}$$

$$v = 0.1 \text{ m/s}$$

La eficiencia adecuada del motor es:

$$\eta = 0.85$$

$$P = \frac{\left(5000 \text{ N} \times 0.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{0.85} \approx 588.24 \text{ W} \quad (5)$$

$$1 \text{ HP} \approx 745.7 \text{ W}$$

$$P \text{ (HP)} = \frac{588.24 \text{ W}}{745.7 \text{ W/HP}} \approx 0.79 \text{ HP}$$

Para un rendimiento óptimo y un margen de seguridad se seleccionaron 2 alternativas de motores a obtener que cuenten con 1 HP con sus respectivas especificaciones, como se observa en la figura 19:



Figura 19. Motor 1HP ROSSI

- Potencia: 1 HP (0.75 kW)
- RPM del Motor: 1690.5 RPM

La segunda alternativa se observa en la figura 20:



Figura 20. Motor 1HP HOULE

- Potencia: 1 HP (0.75 kW)
- RPM del Motor: 1250 RPM

3.2.7. Cálculo del Torque Necesario

$$T = F \times r \quad (6)$$

- F es la fuerza aplicada
- r es el radio del eje

Dimensiones del eje acoplado:

- Diámetro del eje: 160 mm (0.16 m)

El radio (r) es la mitad del diámetro del eje:

$$r = 0.16 \, m / 2 = 0.08 \, m \quad (7)$$

Torque:

$$T = 5000 \, N \times 0.08 \, m = 400 \, Nm \quad (8)$$

Para manejar altos niveles de torque necesitaremos diferentes tipos de reductores, como los cónicos o helicoidales, optando por los reductores coaxiales, ya que proporcionan una mejor alineación y menor espacio de instalación.

Además, brindarían alta eficiencia energética, reduciendo costos operativos a largo plazo, y menor desgaste, aumentando la vida útil de la máquina.

3.2.7. Cálculo del reductor coaxial

$$\text{Relación de Transmisión (RT)} = \text{RPM del Motor} / \text{RPM de Salida} \quad (9)$$

$$RT = 1690.5 \text{ RPM} / 49 \text{ RPM}$$

$$RT = 34.5$$

El motor y reductor coaxial adecuado debe estar compuesto de dos mecanismos como se muestra en la figura 21:

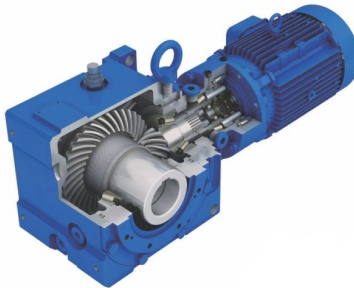


Figura 21. Reductor coaxial

Los valores adecuados del motorreductor dentro de la industria son los de la tabla 6:

Tabla 6. Motor con parámetros por buscar

TIPO	MARCA	POTENCIA HP	BRIDA/EJE	RPM (MOTOR)	TORQUE (NM)
MOTORREDUCTOR	ROSSI / HOULE	1	B5/19-200	1690.5/ 1250	400

3.2.8. Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A653.

El acero inoxidable AISI 304 usado en el cuerpo de la estructura tiene las siguientes propiedades mecánicas específicas:

- Resistencia a la tracción: 515 MPa
- Límite elástico (0.2% offset): 215 MPa

Estas propiedades lo hacen adecuado para una amplia gama de aplicaciones industriales, proporcionando una buena combinación de resistencia y durabilidad como se observa en la figura 22.

Mechanical Property Specification (Single values are minima except as noted)					
Grade	Tensile Strength (MPa) min.	Yield Strength 0.2% Proof (MPa) min.	Elongation (% in 50mm) min.	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max.	Brinell (HB) max.
304	515	205	40	92	201
304L	485	170	40	92	201
304H	515	205	40	92	201

Figura 22. Valores técnicos.[20].

3.2.9. Selección de la Varilla Roscada para el mecanismo de manivela

Partes de una varilla roscada figura 23.

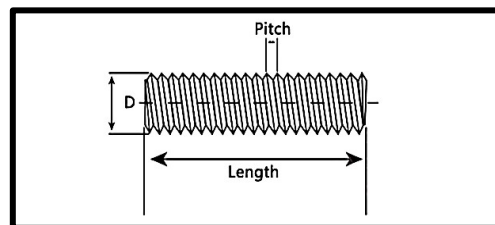


Figura 23. Paso de una varilla roscada.

- Resistencia a la tracción del acero *ASTM A653* (σ): 515 MPa ($515 \times 10^6 Pa$)

La fórmula para calcular el área de la sección transversal de una varilla es:

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \quad (10)$$

Reorganizando la fórmula para despejar el diámetro (d):

Fuerza axial (F_a): 5000 N

$$d = \sqrt{4 \frac{F_a}{\pi} \sigma} \quad (11)$$

$$d = \sqrt{4 \times \frac{5000}{\pi} \times 515 \times 10^6}$$

$$d = \sqrt{\frac{20000}{1.617} \times 10^9}$$

$$d = \sqrt{1.237 \times 10^{\{-5\}}}$$

$$d \approx 0.00352 \text{ m}$$

$$d \approx 3.52 \text{ mm}$$

El diámetro final por usar como tornillo sin fin es de 3.52 *mm* Para tener un margen de seguridad y para utilizar diámetros estándar dentro de la industria, se seleccionó un diámetro comercial más cercano, que sería de 4 mm (M8).

El tipo de paso estándar según los requerimientos técnicos de la figura 24 son de 0.7 mm (M8) los cuales ofrecen un equilibrio entre precisión de ajuste y facilidad de adquisición.

THREAD CHART (METRIC THREADS)

Simple Thread Designation	Thread Designation	Pitch (MM)	Basic Major Diameter (External Threads)	Basic Minor Diameter (Internal Threads)
M1	M1x0.25	0.25	0.982	0.729
M2	M2x0.4	0.4	1.981	1.567
M3	M3x0.5	0.5	2.980	2.459
M4	M4x0.7	0.7	3.978	3.242
M5	M5x0.8	0.8	4.976	4.134
M6	M6x1	1	5.974	4.917
M7	M7x1	1	6.974	5.917
M8	M8x1.25	1.25	7.972	6.647

Figura 24. Valores técnicos. [18].

Para un rendimiento óptimo y un margen de seguridad se seleccionó una varilla roscada del mercado con las siguientes especificaciones:

- Material: Acero galvanizado.
- Diámetro: M4 (4 mm).
- Paso de la Rosca: 0.7 mm (M4).
- Longitud: Según el diseño específico para el ajuste.

3.2.10. Características de los Aceros de Grado ASTM A36

El acero ASTM A36 son aceros al carbono estructurales ampliamente utilizados en la construcción estructuras diversas.[25] En este caso será usado para la fabricación de la base de la maquinaria.

- Clasificación: Aceros al carbono estructurales.
- Aplicaciones: Chapas laminadas, productos largos, incluyendo aceros conformados.
- Límite elástico mínimo: 250 MPa.

3.3. Control

3.3.1. Diagrama de flujo

El flujograma representa el proceso completo de operación de la máquina. Este diagrama está diseñado para guiar al operador a través de cada paso necesario para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro de la máquina.

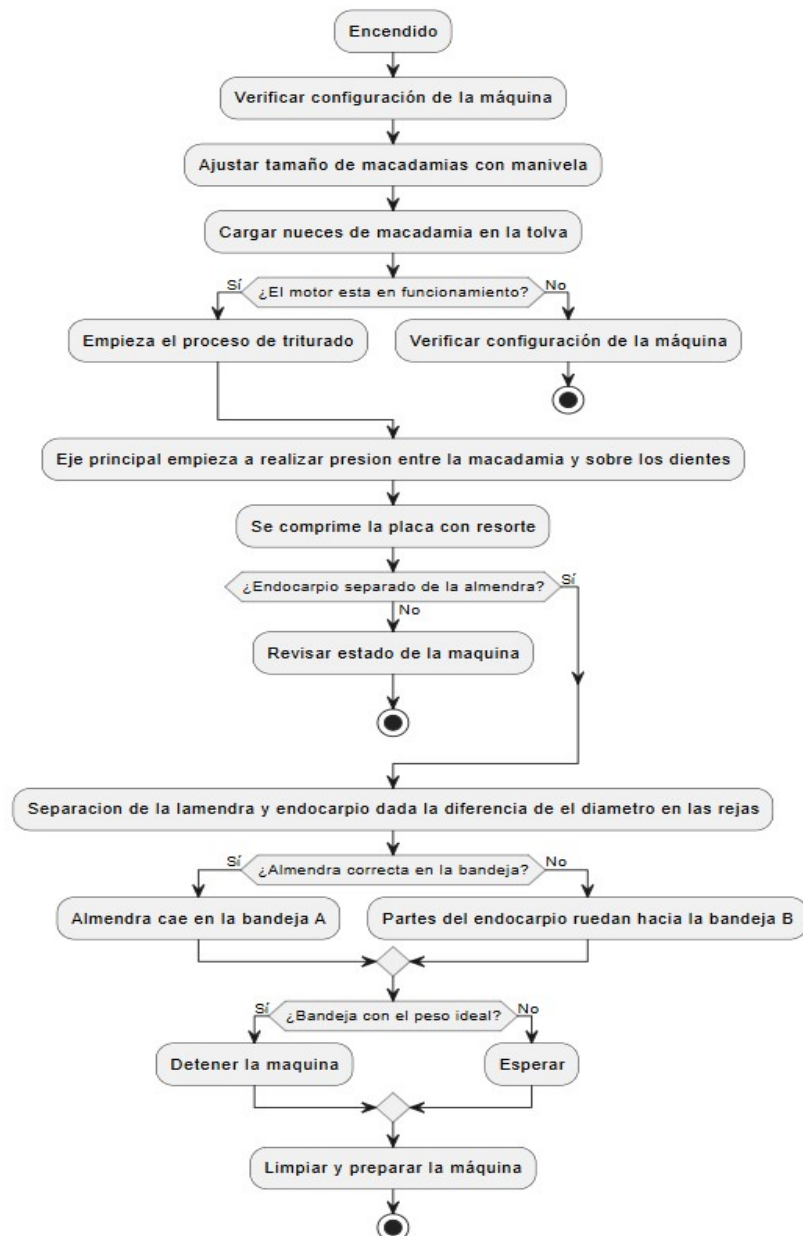


Figura 25. Flujograma

3.3.2. Diagrama de Control

El diagrama encargado de control de la máquina se realizó en el software CADeSimu como se observa en la figura 26 respectivamente.

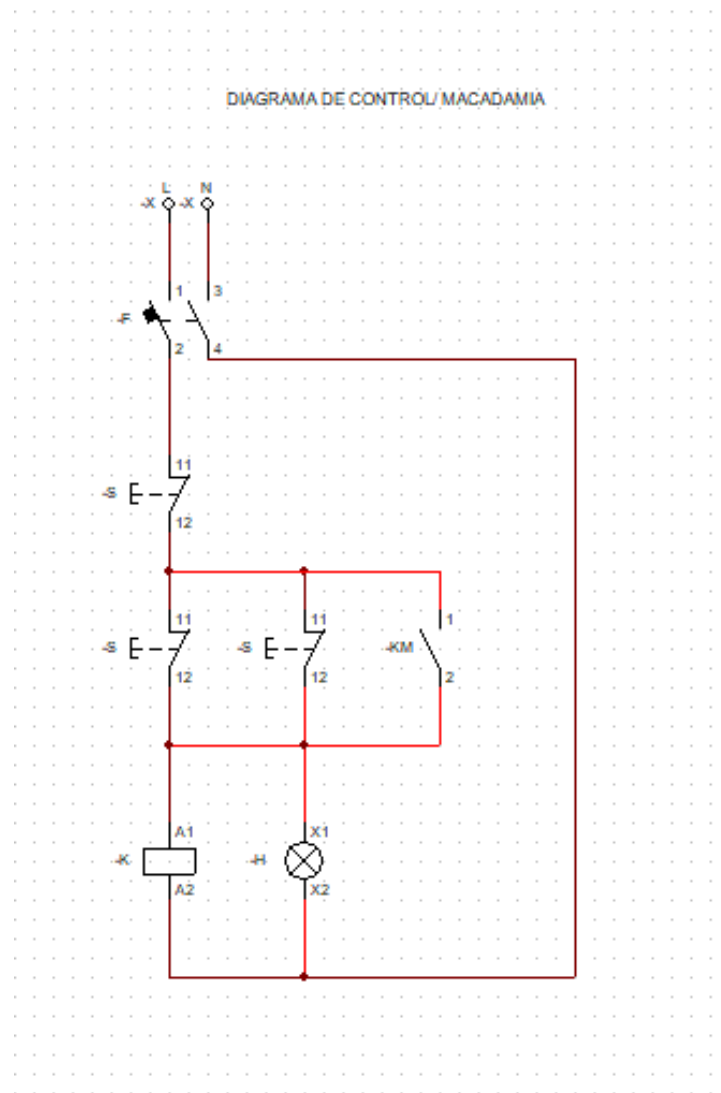


Figura 26. Diagrama de control realizado en CADeSimu

3.3.3. Componentes de la Conexión Eléctrica

- **Red Eléctrica Monofásica 110V**
- **Magnetotérmico (Q1):** Se utiliza como protección principal del circuito y debe ser seleccionado para 25A.
- **Pulsador de Parada (S1):** Botón de color rojo que se usa para detener el motor en caso de emergencia.
- **Pulsador de Marcha (S2):** Botón de color verde que se usa para arrancar el motor.
- **Contactador (KM1):** Dispositivo que controla la conexión del motor y debe tener una capacidad mínima de 25A.
- **Motor (M1):** Motor de la máquina, que funciona a 110V y consume 10A.
- **Conexión de Componentes**
- **Conexión a la red eléctrica:** El magnetotérmico (Q1) se conecta a la red monofásica de 110V.
- **Control de pulsadores:** Los pulsadores de parada y marcha (S1 y S2) se conectan en serie con la bobina del contactor (KM1).
- **Contactador (KM1):** Controla la alimentación del motor (M1) permitiendo su arranque y parada.
- **Motor (M1):** Conectado al contactor para su control.

3.3.4. Diagrama de Fuerza

El diagrama de fuerza del mecanismo se realizó en el software CADe Simu como se observan en la figura 27 respectivamente.

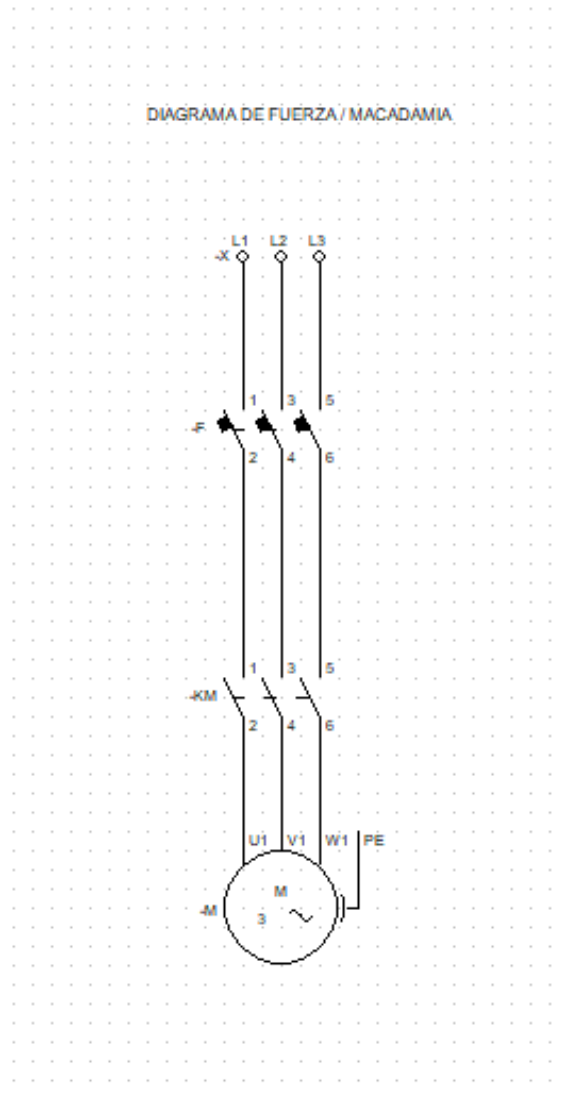


Figura 27. Diagrama realizado en CADeSimu

3.3.5. Componentes de Conexión

- **Magnetotérmico (Q1):**

- Se conecta a la red eléctrica.
- Protege el circuito completo y desconecta en caso de sobrecarga.

- **Pulsadores (S1 y S2):**

- **S1 (Parada):** Botón rojo conectado en serie para detener el motor.
- **S2 (Marcha):** Botón verde conectado en serie para arrancar el motor.

- **Contactor (KM1):**

- Recibe señales de los pulsadores para controlar el motor.
- Conecta y desconecta el motor según las señales de los pulsadores.

- **Motor (M1):**

- Conectado a la salida del contactor.
- Funcionamiento controlado por el contactor a través de los pulsadores.

3.3.5. Sistema de Protección y Consumo de Amperaje

Cálculo del Consumo de Amperaje Total

- Motor: 10A
- Sensores: 3A
- Sistemas de Control: 7A

$$Total\ Amperaje\ (I_{total}) = I_{motor} + I_{sensores} + I_{control} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} I_{total} &= 10A + 3A + 7A = 20A \\ I_{total} &= 10A + 3A + 7A = 20A \\ &= 10A + 3A + 7A = 20A \end{aligned}$$

Selección de Protecciones:

- **Guardamotores:** Para un amperaje total de 20A, se recomienda utilizar un guardamotor de hasta 25A para asegurar un margen de seguridad adecuado.
- **Contactores:** Se deben seleccionar contactores con una capacidad mínima de 25A para el control del motor y otros componentes.
- **Fusibles:** Instalar fusibles de 25A para proteger los circuitos y desconectar en caso de sobrecarga.

Capítulo IV

Análisis de Resultados y de Costos

4.1. Análisis

Para realizar el análisis se usó el software MDSolids. Se consideró una de las vigas laterales de la mesa, como se muestra en la Figura 28, asumiendo que la viga está simplemente apoyada en ambos extremos, con una carga puntual aplicada en el punto medio de la viga. La carga aplicada corresponde a una tercera parte del peso total de la máquina, que es de 21,11 kg. En MDSolids, se seleccionó la opción de carga concentrada, se ingresó el valor de la carga (en la coordenada x) (370 mm) y se definió la magnitud de la carga (22,210 N) y se procedió con el análisis estructural.



Figura 28. Estructura de la base realizada en Solidworks

4.1.1. Diagrama de cuerpo libre de fuerza aplicada (mm)

El diagrama de carga muestra la carga puntual P_1 aplicada en el punto $x = 370$ mm de la viga, La viga está apoyada en ambos extremos, con un soporte fijo en A y un soporte móvil en B. La longitud total de la viga es de 740 mm. La carga P_1 aplicada tiene una magnitud de 22,210 N. Este diagrama es fundamental para entender cómo la carga se distribuye y cómo reacciona la viga bajo las condiciones de carga especificadas como se muestra en la Figura 29.

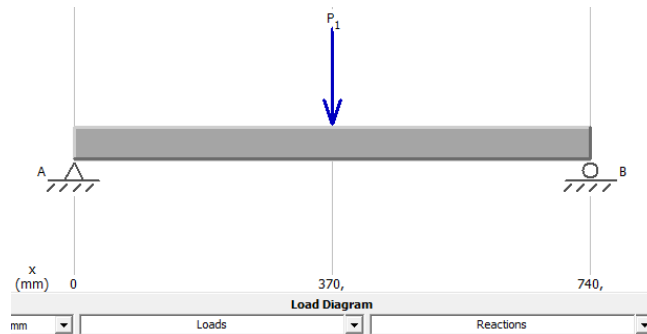


Figura 29. Diagrama de fuerza generado por MDSolids

4.1.2. Momento máximo.

El diagrama de momento (Figura 29) muestra la distribución del momento flector a lo largo de la viga. El momento máximo es de 4.11 N·m en el centro de la viga, donde se aplica la carga. El momento en los extremos de la viga es cero, como se espera en una viga simplemente apoyada.

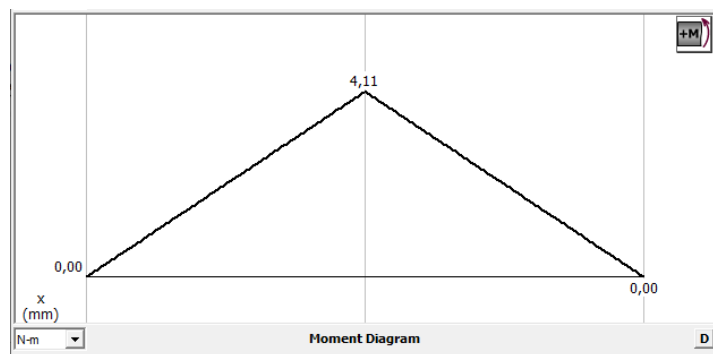


Figura 30. Diagramas Generados por MDSolids

4.2. Deformación y factor de seguridad

En esta parte del capítulo se presenta el análisis de deformación y el factor de seguridad para la estructura de la máquina. Se utilizó el software SolidWorks para realizar un análisis de elementos finitos, evaluando tanto la base de la estructura como el ensamblaje completo.

En el análisis realizado con el software SolidWorks para la estructura de la máquina, se utilizó una carga aplicada de 21.11 kg.

4.2.1. Análisis de Deformaciones

El análisis de deformaciones permite evaluar cómo se comporta la estructura bajo la carga aplicada. La figura 31 muestra el resultado obtenido para la base.

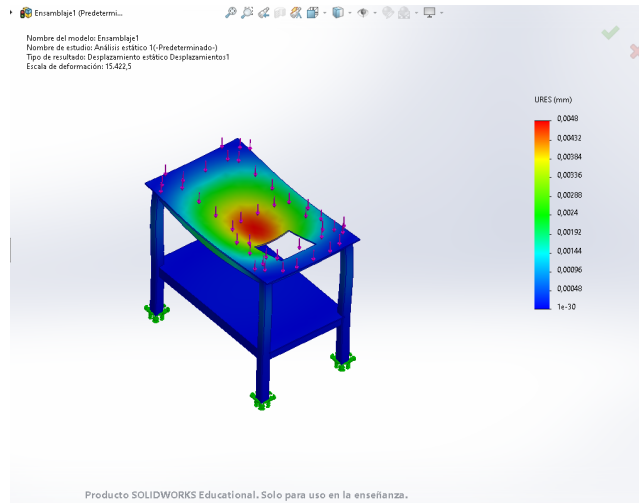


Figura 31. Análisis Generado por SolidWorks.

4.2.2. Análisis del Factor de Seguridad

El factor de seguridad de la figura 32 es una medida de la capacidad de la estructura para soportar cargas sin fallar. A continuación, en la figura se presenta el resultado del análisis del factor de seguridad para la base.

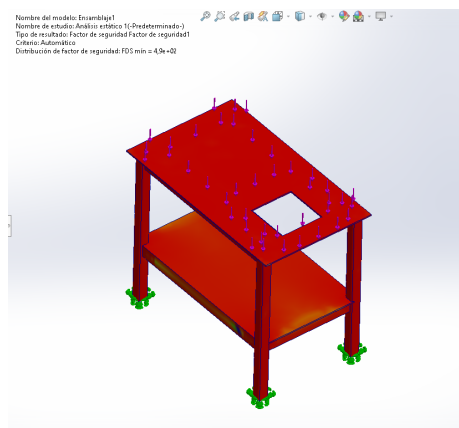


Figura 32. Análisis Generado por SolidWorks.

4.2.3. Factor de Seguridad

- Momento flector máximo (M): 4.11 Nm
- Esfuerzo permisible (σ): 150 MPa

Usamos la fórmula para calcular el módulo de sección:

$$S = \frac{M}{\sigma_{perm}} \quad (13)$$

Donde:

- M es el momento flector en N·cm.
- σ_{perm} es el esfuerzo permisible en MPa (1 MPa = 10^6 Pa).

Convertimos σ_{perm} a N/cm²:

$$\sigma_{perm} = 150 \text{ MPa} = 150 \times 10^6 \text{ Pa} = 150 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 150 \text{ N/mm}^2 = 150 \text{ N/cm}^2$$

$$S = \frac{411 \text{ N} \cdot \text{cm}}{150 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$S = 2.74 \text{ cm}^3$$

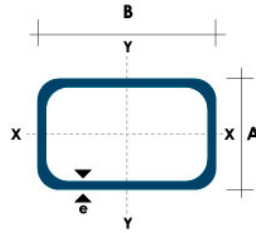
4.2.4. Selección del Perfil en la Tabla

En la tabla proporcionada de la figura, observamos que los perfiles más cercanos a este valor son:

$$\text{Perfil 25x50: } W = 3.39 \text{ cm}^3$$

$$\text{Perfil 30x50: } W = 2.85 \text{ cm}^3$$

$$\text{Perfil 40x50: } W = 2.85 \text{ cm}^3$$



Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.56	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.66	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.91	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.16	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15

Figura 33. Análisis Generado por SolidWorks.

Seleccionamos el perfil 30x50 con $W = 2.85 \text{ cm}^3$

4.2.5. Cálculo del Esfuerzo Permisible

Usamos el módulo de sección del perfil seleccionado para calcular el esfuerzo permisible:

$$\sigma_{perm} = \frac{M}{S} \quad (14)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{411 \text{ N} \cdot \text{cm}}{2.85 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma_{perm} = 144.21 \text{ MPa}$$

4.2.6. Determinación del Factor de Seguridad

Determinamos el factor de seguridad (N):

$$\sigma_{max} = 250 \text{ MPa:}$$

$$N = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{perm}} \quad (15)$$

$$N = 250 \text{ MPa} / 144.21 \text{ MPa}$$

$$N \approx 1.73$$

4.2.7. Análisis del Eje

Desplazamiento del eje.

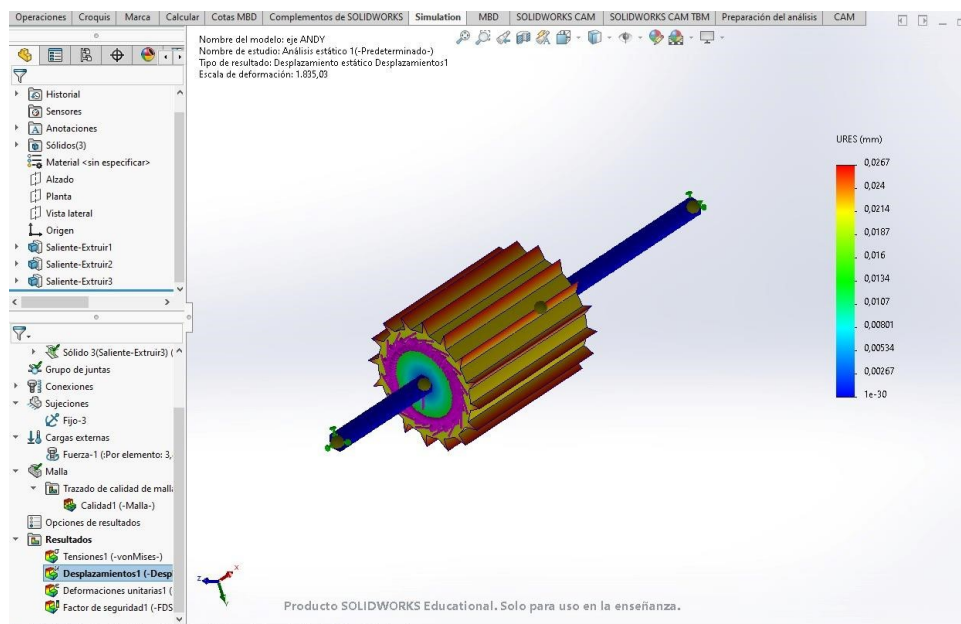


Figura 34. Análisis Generados por SolidWorks.

4.2.8. Factor de seguridad del eje.

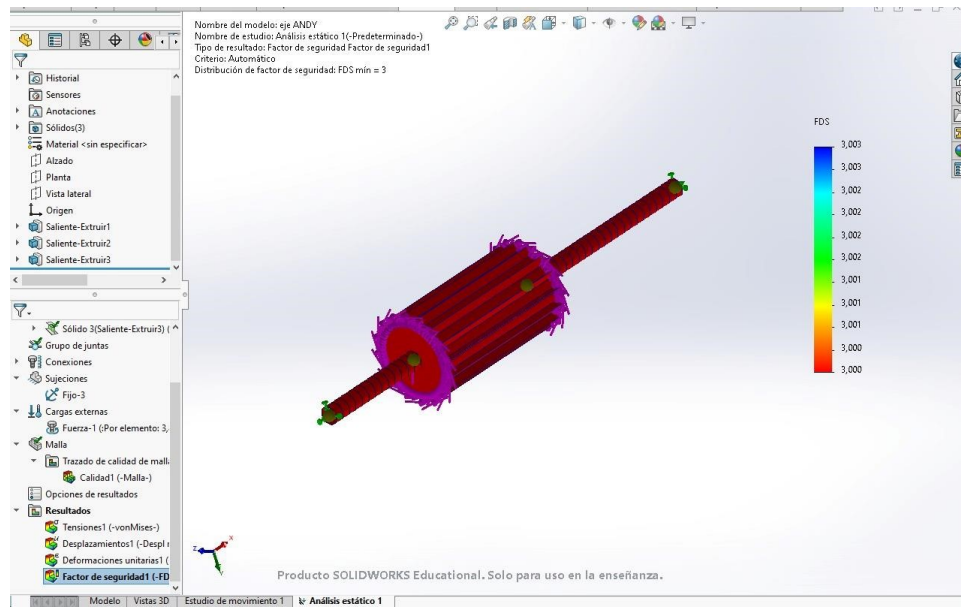


Figura 35. Análisis Generados por SolidWorks.

4.2.9. Deformaciones

- La distribución de las deformaciones en la estructura de la figura muestra que las zonas de mayor deformación se concentran en la parte superior de la estructura de acero, justo donde se aplica la carga. La deformación máxima observada es de 0.0432 mm.
- La base de la estructura presenta una deformación máxima de 0.0347 mm, lo cual indica una rigidez adecuada para soportar la carga aplicada sin sufrir deformaciones significativas.
- El análisis de desplazamiento del eje de la figura 35 muestra una deformación máxima de 0.0267 mm, lo que indica que el eje tiene una alta rigidez y es capaz de soportar las cargas aplicadas sin deformarse significativamente.

4.2.10. Factor de Seguridad

- El análisis del factor de seguridad de la estructura junto con los cálculos realizados, donde el esfuerzo permisible calculado fue de 144.21 MPa y el factor de seguridad resultante fue aproximadamente 1.73, estos resultados aseguran que la estructura, tanto en su base como en el ensamblaje completo, puede soportar de manera segura la carga aplicada, garantizando la integridad estructural bajo condiciones normales de operación. Para el ensamblaje completo de la figura

- El análisis del factor de seguridad del eje de la figura 36 muestra un valor mínimo de 3, lo que indica que el eje tiene una capacidad de carga adecuada para las condiciones de operación previstas, asegurando que no fallará bajo la fuerza aplicada.

4.3. Análisis de costos

En la siguiente sección, analizaremos el costo de diversos materiales para perfiles estructurales y ejes, así como el costo de elementos individuales y de la construcción en general detallada dentro de la tabla 7.

Tabla 7. Costo de ejes

Cantidad	Material	Perfil	Precio total
1	Acero SAE 1018	EJE 7/8X 400MM	2.85
1	Acero SAE 1018	EJE 3 ¼ 160 MM	16.83
TOTAL			19.68

4.3.1. Costos de perfiles metálicos para estructura

El costo de elementos individuales y de la construcción en general es detallada dentro de la tabla 8.

Tabla 8. Costo de perfiles

Cantidad	Material	Perfil	Precio unitario	Precio total
1	Acero inoxidable 304	Plancha de acero 1200x 1000 x1mm	38.20	38.20
1	Acero A36	Plancha laminada en caliente 60x80x3 mm	35.50	35.50
6	Acero A36	Tubo cuadrado estructural 70x1.20x3mm	10.00	60.00
TOTAL				133.7

4.3.2. Costos de elementos electromecánicos

Dentro de la tabla 9 se detalla el costo de distintos materiales electromecánicos necesarios para la implementación del sistema de potencia y control de la máquina.

Tabla 9. Costo de elementos electromecánicos

Cantidad	Elemento	Descripción	Precio unitario	Precio total
2	Pulsador industrial	Encendido y apagado de la máquina	1.50	3.00
1	Botón emergencia	Botón tipo seta apaga el motor	1.12	1.12
1	Motorreductor monofásico	Motorreductor de 1HP	250.00	250.00
1	Rollo de cable	Conexión apta para el voltaje necesario para el motor	10.00	10.00
1	Tablero	Parte del control	5.00	5.00
1	Enchufe	Enchufe tipo industrial	3.00	3.00
2	Chumaceras	Chumacera 3/4	8.00	16.00
TOTAL				288.12

4.3.3. Juntas

La cantidad de juntas es detallada dentro de la tabla 10.

Tabla 10. Costo de juntas

Cantidad	Elemento	Posición	Precio unitario	Precio Total
5	Perno acero inox M10-1.50X25	Ajuste de chumaceras	0.51	2.58
25	Perno acero inox M8-1.25X16	Ajuste de estructura	0.33	8.26
6	Perno acero inox M5-1.0X12	Ajuste de visagra	0.13	0.83
5	Tuerca acero M10-1.5hex	Ajuste en chumaceras	0.16	0.85
25	Tuerca acero M8-1.25hex	Ajuste en estructura	0.16	4.02
6	Tuerca acero M6-1.0he	Ajuste en bisagra	0.07	0.43
TOTAL				16.97

4.3.4. Costos de manufactura

El costo de mano de obra y servicios que hemos necesitado e implementado para la realización de la máquina se aprecia en la tabla 11.

Tabla 11. Costo de manufactura

Sección	Operación	Tipo	Cantidad	Precio
Soporte general	Corte	Por sierra	6	20.00
	Soldadura	Smaw-Electrodo 6011	10	5.00
Estructura principal externa	Corte	Corte laser	6	40.00
	Soldadura	MIG	4	10.00
Estructura principal interna	Torneado	Desbaste y acabado	2	100.00
	Fresado	Fresado en Angulo y cavidad	1	100.00
	Soldadura	Smaw-Electrodo 6011y 6013	2	5.00
TOTAL				280.00

4.3.5. Costo de construcción

El costo de construcción implementado en total para la realización de la máquina se detalla dentro de la tabla 12.

Tabla 12. Costo de construcción

Procesos y materiales	Precio
Ejes	19.68
Perfiles metálicos	133.70
Elementos electromecánicos	288.12
Juntas	16.97
Manufactura	280.00
Total	738.47

4.4. Cálculo de VAN y TIR

Este análisis financiero evalúa la viabilidad económica del proyecto de construcción y operación de una máquina trituradora de nuez de macadamia dentro de la tabla 13.

Se utilizan tres métodos principales de evaluación financiera: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión.

Tabla 13: Parámetros Fundamentales del Proyecto

Parámetro	Valor
Inversión inicial (I_0)	\$1,000.00
Costo de construcción	\$738.47
Flujo de efectivo anual	\$400.00
Vida útil del proyecto	5 años
Tasa de descuento anual	10%

4.4.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es una medida de la rentabilidad absoluta neta del proyecto. Se calcula como la diferencia entre el valor actual de los flujos de caja futuros y la inversión inicial.

Fórmula del VAN:

$$VAN = -I^0 + \sum \left[\frac{FCt}{(1 + r)^t} \right] \quad (16)$$

- I_0 = Inversión inicial
- FCt = Flujo de caja en el periodo t
- r = Tasa de descuento
- t = Número de periodos

Cálculo del VAN:

$$VAN = -1000 + \frac{400}{(1.1)^1} + \frac{400}{(1.1)^2} + \frac{400}{(1.1)^3} + \frac{400}{(1.1)^4} + \frac{400}{(1.1)^5}$$

Dentro de la tabla 14 se calcula como la diferencia entre el valor actual de los flujos de caja futuros y la inversión inicial.

Tabla 14. Cálculo Detallado del VAN

Año	Flujo de Caja	Factor de Descuento	Valor Presente
0	-\$1,000.00	1.0000	-\$1,000.00
1	\$400.00	0.9091	\$363.64
2	\$400.00	0.8264	\$330.58
3	\$400.00	0.7513	\$300.53
4	\$400.00	0.6830	\$273.21
5	\$400.00	0.6209	\$248.37
VAN Total			\$514.16

4.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero.

Fórmula de la TIR:

$$0 = -I^0 + \sum \left[\frac{FCt}{(1 + TIR)^t} \right] \quad (17)$$

La TIR se calcula por iteración o utilizando funciones financieras en software especializado.

Para este proyecto:

$$0 = -1000 + \frac{400}{(1 + TIR)^1} + \frac{400}{(1 + TIR)^2} + \frac{400}{(1 + TIR)^3} + \frac{400}{(1 + TIR)^4} + \frac{400}{(1 + TIR)^5}$$

Resolviendo esta ecuación, se obtiene un TIR de:

$$TIR = 27.33\%$$

4.4. Periodo de Recuperación de la Inversión

El periodo de recuperación de la tabla 15 es el tiempo requerido para que los flujos de efectivo acumulados igualen la inversión inicial.

Tabla 15: Flujos de Efectivo Acumulados

Año	Flujo de Efectivo	Flujo Acumulado
0	-\$1,000.00	-\$1,000.00
1	\$400.00	-\$600.00
2	\$400.00	-\$200.00
3	\$400.00	\$200.00
4	\$400.00	\$600.00
5	\$400.00	\$1,000.00

El periodo de recuperación se encuentra entre el año 2 y 3. Para un cálculo más preciso:

$$Periodo\ de\ Recuperación = 2 + \left(\frac{200}{400}\right) = 2.5\ años \quad (18)$$

4.5. Resultados

Los resultados finales del valor se encuentran resumidos en la tabla 16:

Tabla 16. Resumen de Resultados del Análisis Financiero

Indicador Financiero	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	\$514.16
Tasa Interna de Retorno (TIR)	27.33%
Periodo de Recuperación	2.5 años

4.5.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN positivo de \$514.16 indica que el proyecto generará beneficios por encima de la rentabilidad exigida (tasa de descuento). El proyecto aumenta el valor de la empresa y, por lo tanto, es financieramente viable.

4.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR de 27.33% es significativamente superior a la tasa de descuento del 10%. Esto sugiere que el proyecto tiene un margen considerable para seguir siendo rentable incluso si las condiciones se deterioran.

4.5.3. Periodo de Recuperación

El periodo de recuperación de 2.5 años es favorable, ya que es menor que la vida útil del proyecto (5 años). Esto implica un riesgo relativamente bajo, pues la inversión se recupera en la primera mitad de la vida del proyecto.

4.6. Análisis de Sensibilidad

Para una evaluación más robusta, se recomienda realizar un análisis de sensibilidad, variando parámetros clave como:

- Flujos de efectivo anuales
- Tasa de descuento
- Inversión inicial

Obteniendo los resultados descritos en la tabla 17.

Tabla 17. Análisis de Sensibilidad del VAN

Variación	-20%	-10%	Base	+10%	+20%
Flujo de Efectivo	\$205.33	\$359.75	\$514.16	\$668.58	\$823.00
Tasa de Descuento	\$679.75	\$593.41	\$514.16	\$441.43	\$374.75
Inversión Inicial	\$714.16	\$614.16	\$514.16	\$414.16	\$314.16

4.7. Eficiencia

El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de la máquina bajo diferentes condiciones de carga, con un enfoque en la calidad de las almendras obtenidas.

4.7.1. Análisis del Producto

Este análisis se realizó el día 6 de julio del 2024 con diferentes horas y cantidades cómo se observa en la figura 35



Figura 36. Ejecución de las Pruebas

Junto a los valores de temperatura y humedad proporcionados por el servicio de clima [23], que servirán para saber qué proporción llega a influir en la textura y la calidad de las almendras obtenidas anotadas en la tabla 18.

Tabla 18. Toma de tiempos

Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)
07:00	10.5	89
08:00	12.2	81
09:00	13.4	76
10:00	12.6	79
11:00	13.9	70
12:00	14.5	68

Los resultados de la tabla 19 detallan los pasos seguidos durante la primera prueba de campo y se presentan los datos recopilados junto a las observaciones durante la prueba.

Tabla 19. Datos recopilados

Hora	Entrada de Nueces (kg)	Producción de Almendra (kg)	Eficiencia (%)	Almendras en buen estado	Almendras en mal estado	Total Almendras	Observaciones
1	5	4.75	95.0	228	7	235	Operación óptima con carga muy baja
2	10	9	90.0	402	18	420	Operación normal con baja carga
3	15	11.63	77.5	519	36	556	Incremento en la entrada de nueces
4	20	13.2	66.0	646	54	700	Producción inestable
5	25	14.58	58.33	772	53	825	Alcance de la capacidad máxima
6	30	25.2	84.0	1354	56	1410	Mejora en la eficiencia

- Hora 1 (5 kg de nueces): La máquina procesó 5 kg de nueces, produciendo 4.75 kg de almendras con una eficiencia del 95%.
- Hora 2 (10 kg de nueces): La producción fue de 9 kg de almendras y una eficiencia del 90%.
- Hora 3 (15 kg de nueces): La eficiencia bajó al 77.5% con 15 kg de entrada y 11.63 kg de producción.
- Hora 4 (20 kg de nueces): La producción fue de 13.2 kg y la eficiencia del 66% resultados en la figura 37.



Figura 37. Almendras dañadas

- Hora 5 (25 kg de nueces): La máquina redujo 14.58 kg de almendras con una eficiencia del 58.33%, como se observa en la figura 38.



Figura 38. Almendras de macadamia separadas

- Hora 6 (30 kg de nueces): Se logró una eficiencia del 84% y una producción de 25.2 kg de almendras, resultados en la figura 39.



Figura 39. Almendra de la nuez de macadamia.

CONCLUSIONES

- La máquina propuesta a triturar cáscaras de nuez de macadamia ha demostrado un rendimiento óptimo en diferentes condiciones de carga. La eficiencia es mayor con cargas de entrada más pequeñas (5-10 kg); cuando se procesan 30 kg, la eficiencia aumenta significativamente, produciendo 25.2 kg de almendras por hora con una eficiencia del 84%. La eficiencia de la máquina fue posible gracias al registro en diferentes intervalos horarios.
- El diseño fue validado mediante pruebas de campo, desempeñando satisfactoriamente los objetivos del proyecto. Las pruebas confirmaron la capacidad de la máquina para operar eficientemente bajo diferentes condiciones de carga, corrigiendo el método manual de trituración de nueces.
- El proyecto tiene una tasa interna de retorno (TIR) del 27.33% y un Valor Actual Neto (VAN) positivo de \$514.16. Estos resultados hacen del proyecto una opción atractiva para la automatización en el procesamiento de nueces de macadamia, asegurando un retorno de la inversión en 2.5 años.
- La seguridad operativa final de la máquina ha mejorado gracias a la implementación de medidas de seguridad, como un sistema de parada de emergencia y una luz indicadora de funcionamiento. La durabilidad y la eficacia de la máquina son aseguradas ofreciendo un factor de seguridad del 1.73 de la estructura y por la selección de materiales duraderos, lo que facilita un mantenimiento sencillo y económico.

RECOMENDACIONES

- Para obtener un mejor resultado en la segunda prueba se debe implementar acciones como el monitoreo y control, para maximizar la eficiencia operativa de la máquina y asegurar una producción de nueces de macadamia de alta calidad bajo una normativa ISO.
- Se sugiere la optimización continua del sistema de alimentación y control de la máquina para maximizar la eficiencia operativa, especialmente bajo condiciones de carga variables.
- El implementar un programa de mantenimiento preventivo detallado que incluya revisiones periódicas de los componentes clave como el motorreductor, los sensores de peso y proximidad, y el sistema de seguridad.
- Considerar la posibilidad de adaptar la máquina para procesar otros tipos de frutos secos, lo cual podría ampliar su mercado y aumentar su rentabilidad.
- Realizar estudios adicionales sobre el impacto de las condiciones ambientales en la eficiencia de la máquina, para ajustar los parámetros operativos y mejorar la calidad del producto final.
- Promover la máquina entre microempresarios locales, destacando su capacidad para aumentar la productividad y reducir la dependencia de mano de obra, lo que puede representar una ventaja competitiva significativa en el mercado.

REFERENCIAS

- [1] De Siembra, Manejo Y Procesamiento Gabina, G., Quintas, S., Balderas, E., Ilustraciones, W., Maya, M., Zamora, P., Ortega, V., Vargas, T., Gráfico, D., Díaz, R., Ilustración, V., Zamora Fotografía, P., Díaz Vogel, R., Carlos Bautista, J., & Quintas, G. (2011). Manual técnico para productores de nuez de macadamia. Accedido: 7 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://macadamiamexico.com/wp-content/uploads/2016/06/Manualmacadamia.pdf>
- [2] Comportamiento de la producción y demanda de Macadamia en Ecuador. (2017). Eumed.net. Accedido: 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/macadamia-ecuador.html>
- [3] GardensOnline Pty. Ltd. (2022). Macadamia tetraphylla | GardensOnline. Gardensonline.com.au. Accedido: 9 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.gardensonline.com.au/gardenshed/plantfinder/show_1315.aspx
- [4] Macadamia nuts | OEC. (2022). OEC - the Observatory of Economic Complexity. Accedido: 10 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://prod.oec.world/en/profile/hs/macadamianuts>
- [5] Cortinas Rompevientos: ventajas y establecimiento. (2018, 9 de febrero). Gobierno Del Estado de Tamaulipas. <https://www.tamaulipas.gob.mx/seduma/cortinas-rompevientos-ventajas-y-establecimiento/>
- [6] Editorial. (2019, 19 de enero). Características de la nuez de... Botanical-Online; Botanicalonline. <https://www.botanical-online.com/alimentos/macadamia-integrifolia-caracteristicas>
- [7] Treat Of The Day! Organic Macadamia Nuts - Raw Kernel 16oz (1LB). (2020). Macadamia.US. <https://macadamia.us/products/treat-of-the-day-snax-macadamia-nuts-16oz>

- [8] Naylamp Mechatronics - Perú. (2024). Tutorial transmisor de celda de carga HX711, Balanza Digital. Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-balanza-digital.html
- [9] Sensor Ultrasonido HC-SR04. (2023). Naylamp Mechatronics - Perú. <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>
- [10] Botón paro de emergencia tipo hongo para estación de control. (2023, 16 de febrero). Mako Internacional. <https://www.mako.com.mx/soluciones-gas/boton-paro-de-emergencia-tipo-hongo-para-estacion-de-control/>
- [11] Naylamp Mechatronics - Perú. (2023). Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20. Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html
- [12] Motorreductor 1/2 Hp Trifásico 1500/200 Rpm. (2016). Mercadoshops.com.ar. https://motoresgr.mercadoshops.com.ar/MLA-610108106-motorreductor-12-hp-trifasico-1500200-rpm-_JM
- [13] Martinez, K., Martínez, J., & Velázquez, E. (s.f.). FUNDACIÓN FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS - FUNDAQUIM FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS UNA FCQ- UNA GUÍA DE SECADO Y ENVASADO DE NUECES DE MACADAMIA. Este proyecto fue financiado por CONACYT a través del Programa PROCENCIA con recursos del Fondo para la
- [14] Landau, P. (2023). How to Calculate Production Capacity: Formula & Examples. ProjectManager. Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.projectmanager.com/blog/production-capacity>
- [15] MachineMetrics. (2022, 15 de noviembre). Production Efficiency: Using Accurate Data to Drive Production. Accedido: 12 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.machinemetrics.com/blog/production-efficiency>

- [16] HogoNext. (2024, enero). How to Calculate Production Capacity: Formula & Examples. Accedido: 15 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hgonext.com/how-to-calculate-production-capacity-formula-examples/>
- [17] Rojas-Martínez, M., García, M., Alonso, J. F., Marín, J., & Mañanas, M. A. (2011). Evaluación de la Función Neuromuscular del Antebrazo durante Contracciones Isométricas mediante Electromiografía de Superficie Multicanal. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 8(2), 35-44.
- [18] Lechner, L. (2022, 18 de mayo). Thread Chart (Metric Threads) - Major and Minor Diameters. Echo Engineering. <https://www.echosupply.com/blog/metric-thread-chart/>
- [19] Reliance Foundry. (s.f.). Acero inoxidable 304 vs. 316: ¿Cuál es la diferencia? Reliance Foundry Co. Ltd. Recuperado el 8 de julio de 2024, de <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es>
- [20] Atlas Steels. (2021, 23 de abril). Stainless Steel Grade 304, 304L, 304H - Technical Data Sheet. Recuperado de <https://atlassteels.com.au/wp-content/uploads/2021/06/Stainless-Steel-304-304L-304H-Grade-Data-Sheet-23-04-21.pdf>
- [21] Shamsuddoha Ranju. (2024, 20 de enero). Building a Smart Weight Scale with ESP32 and Bluetooth BLE: A DIY Guide. Medium; Medium. <https://medium.com/@sdranju/building-a-smart-weight-scale-with-esp32-and-bluetooth-ble-a-diy-guide-19a649bf9880>
- [22] Llarena-Ana. (2018). Diseño y construcción de una máquina descascaradora de macadamia. Departamento de Diseño Industrial, Universidad de Palermo. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/03/06/Llarena-Ana.pdf>
- [23] Clima histórico de Quito | Tiempo3.com. (2024). Tiempo3.com. <https://www.tiempo3.com/south-america/ecuador/pichincha/quito?page=past-weather#day=6&month=7>

[24] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 221 "Frutos Secos"*. Quito: INEN. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-221.pdf>.

[25] Acero ASTM A36: características, propiedades, análogos - Metinvest. (2024). Metinvestholding.com. <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>

ANEXOS

Manual de Operación y Mantenimiento

Maquina trituradora de nuez de Macadamia

Elaborado Por:
Damian Vizcaino
Andy Guasco



Índice

ITEM	N Pagina
Ficha técnica	3
Lineamientos generales	4
Procedimiento de uso	5
Recomendaciones	10

Ficha Técnica

Repuestos

Los repuestos se los puede encontrar en centros ferreteros especializados

Recomendaciones

Lubricación: Revisar y lubricar el motorreductor según las indicaciones del fabricante para evitar el desgaste prematuro.

Limpieza: Mantener el motorreductor limpio de polvo y residuos que puedan afectar su funcionamiento.



Característica	Especificación
Potencia	1 HP
Tipo de Motor	Monofásico
Velocidad de Salida	46 RPM
Voltaje de Operación	110 V
Frecuencia	60 Hz
Material del Cuerpo	Hierro fundido / Aluminio
Tipo de Montaje	Base / Brida
Lubricación	Aceite / Grasa
Temperatura de Operación	-10°C a 60°C

Lineamientos Generales

Seguridad

- 1. Uso de EPP (Equipo de Protección Personal):** Uso obligatorio de guantes, gafas de seguridad y protección auditiva.
- 2. Área de Trabajo:** Mantener el área libre de obstrucciones y desorden.
- 3. Inspección Previa:** Verificar que no haya daños visibles en la máquina antes de iniciar el trabajo.

Procedimiento de uso

1. Encendido de máquina desde tablero

Encendido de la Máquina

1.Verificación de Conexiones: Asegurar que todas las conexiones eléctricas estén firmes y en buen estado.

2.Encendido desde el Tablero: Encender la máquina utilizando el interruptor principal en el tablero de control.

3.Chequeo Inicial: Escuchar y observar la máquina durante los primeros minutos de operación para detectar posibles anomalías.



Procedimiento de uso

2. Colocación de la nuez en tolva

•**Preparación del Producto:** Asegurar que las nueces estén libres de residuos y objetos extraños.

•**Carga de la Tolva:** Colocar las nueces en la tolva de alimentación de manera uniforme.



Procedimiento de uso

3. Verificación de funcionamiento correcto de eje destructor

•Inspección Visual:

- Verificar que no haya daños visibles ni objetos extraños en la zona de trituración.

- Asegurarse de que las cuchillas o elementos trituradores estén ajustados y en buen estado.

•Prueba de Carga y Monitorización Inicial:

- Encender la máquina y observar durante los primeros minutos de operación cualquier ruido o comportamiento inusual.



Procedimiento de uso

4. Colocación de la nuez en tolva

•reparación del Producto:

- Clasificación: Seleccionar las nueces según el tamaño adecuado para evitar atascos y asegurar una trituración uniforme.

•Carga de la Tolva:

- Cantidad Adecuada: Colocar una cantidad moderada de nueces en la tolva, evitando sobrecargarla para garantizar un funcionamiento eficiente.



Procedimiento de uso

. Mantenimiento Preventivo

- **Limpieza Regular:** Limpiar la máquina después de cada uso para evitar acumulación de residuos.
- **Lubricación:** Aplicar lubricante a las partes móviles según el manual del fabricante.
- **Revisión de Componentes:** Inspeccionar periódicamente las piezas críticas y reemplazarlas si están desgastadas.



Recomendaciones

- **Capacitación:** Asegurarse de que todo el personal operativo esté adecuadamente capacitado.
- **Manual del Usuario:** Tener siempre a mano el manual del usuario para consultas rápidas.
- **Repuestos:** Mantener un stock de repuestos críticos para minimizar el tiempo de inactividad.
- **Documentación:** Registrar todas las actividades de mantenimiento y reparaciones en un logbook.

Normativa INEN Aplicable a la Nuez de Macadamia

La nuez de macadamia es un fruto seco altamente valorado por su sabor y beneficios nutricionales. En Ecuador, su producción y comercialización deben cumplir con la normativa establecida en el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 221, que regula los frutos secos para asegurar la calidad y seguridad del producto [24].

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 221 "Frutos Secos"

Objetivo: Establecer los requisitos que deben cumplir los frutos secos, incluyendo la nuez de macadamia, para proteger la salud de los consumidores y evitar prácticas engañosas [24].

Campo de Aplicación: Aplica a productos secos, desecados o deshidratados comercializados en Ecuador, sean de producción nacional o importados. Esto incluye la nuez de macadamia [24].

Requisitos del Producto:

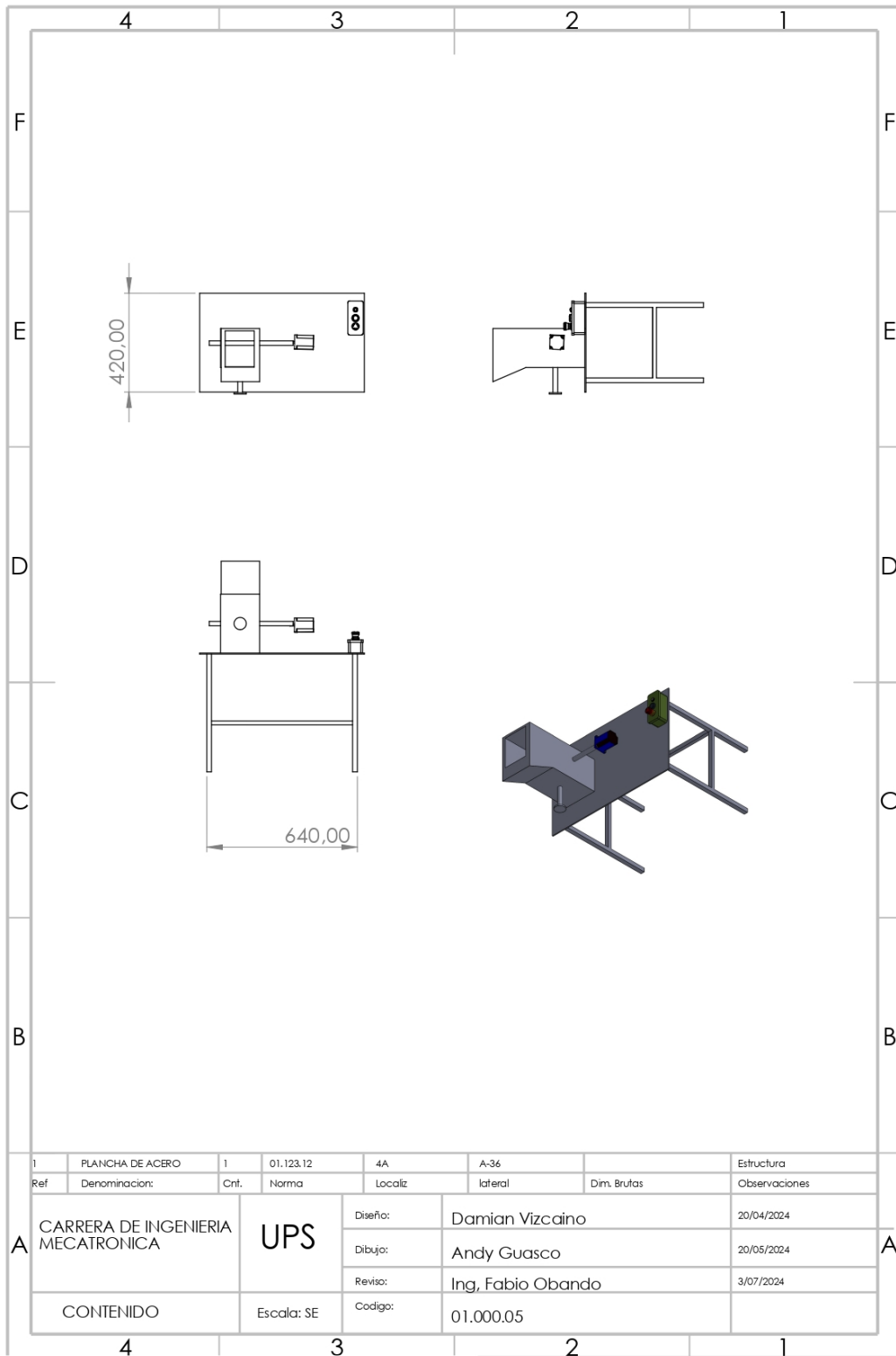
- **Clasificación y Calidad:** Las nueces de macadamia deben clasificarse según tamaño, color y calidad. La clasificación puede ser manual o con equipos automáticos, separando almendras de alta calidad de aquellas con defectos.
- **Acondicionamiento y Secado:** Después de la eliminación del recubrimiento externo, es crucial eliminar la humedad residual para prevenir hongos y moho. El secado debe realizarse utilizando equipos que controlen temperatura y humedad.
- **Almacenamiento:** Las almendras de macadamia deben almacenarse en condiciones que preserven su frescura y calidad, utilizando contenedores herméticos o bolsas selladas, y manteniéndolas en un lugar fresco y seco.
- **Envasado:** Antes de su distribución y comercialización, las almendras deben ser envasadas en recipientes adecuados para su protección y presentación. Se recomienda el uso de envases al vacío para mantener la frescura y propiedades organolépticas del producto.
- **Higiene y Seguridad:** Las nueces de macadamia deben estar libres de plagas y enfermedades, y cumplir con los límites máximos de contaminantes permitidos por la normativa vigente.

- **Rotulado:** El rotulado debe cumplir con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 022 y debe incluir información en español sobre el contenido, origen, fecha de envasado y fecha de caducidad [24].

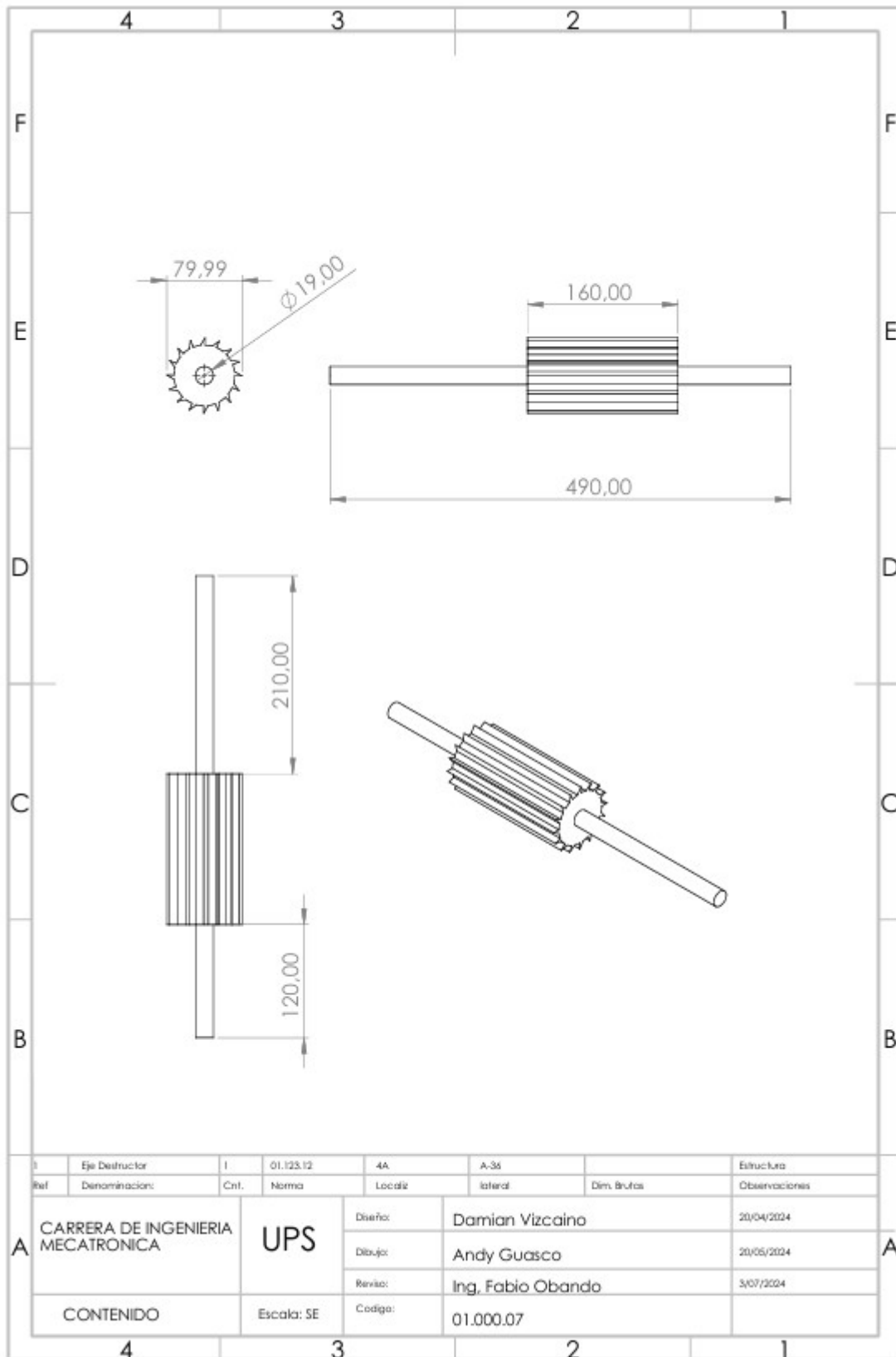
Procedimientos de Control

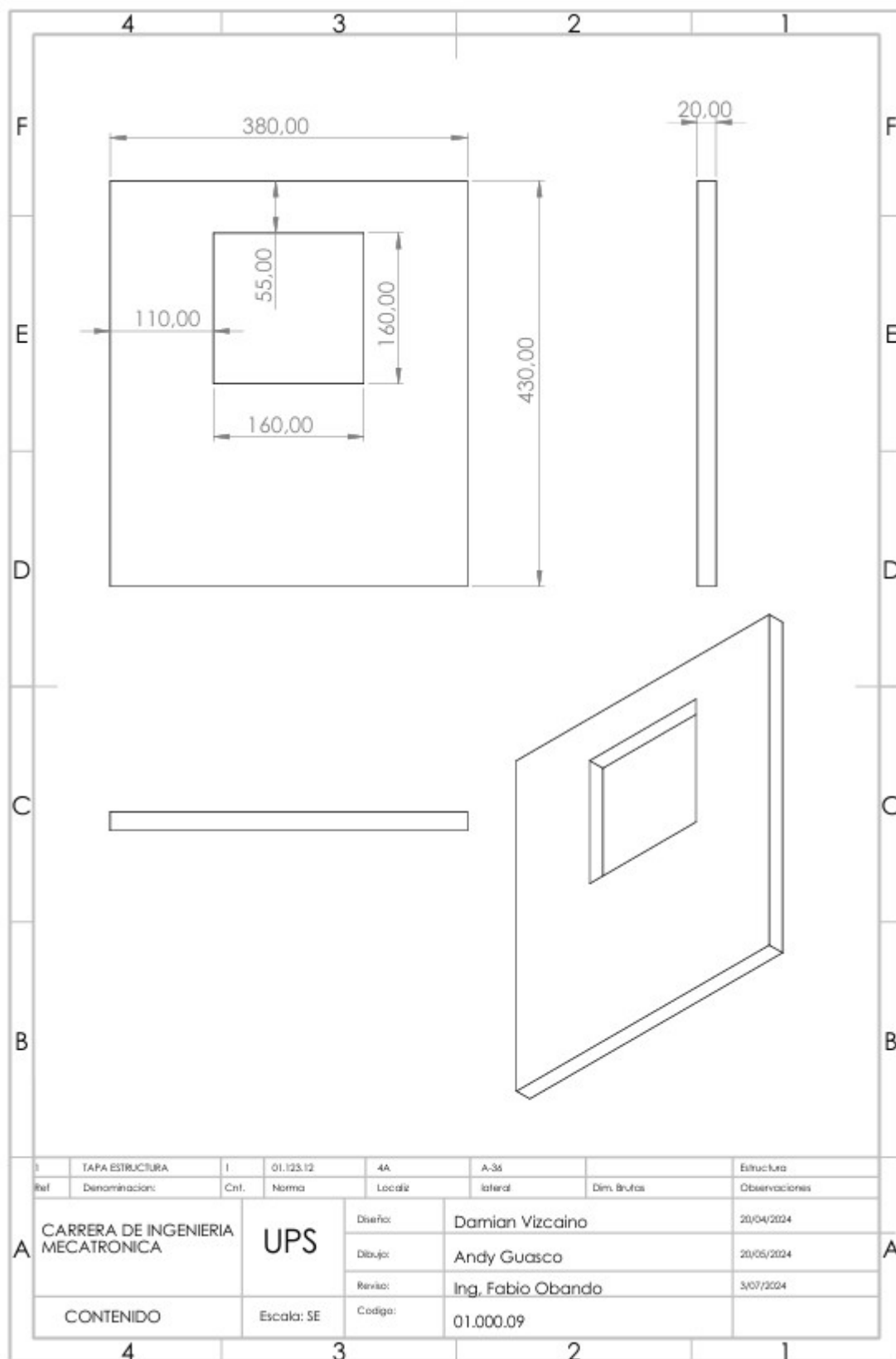
- **Inspección y Muestreo:** La inspección y el muestreo para verificar el cumplimiento de los requisitos se deben realizar de acuerdo con los planes de muestreo establecidos en la Norma NTE INEN-ISO 2859-1 y los procedimientos del organismo de certificación de productos acreditado.
- **Ensayos de Conformidad:** Los métodos de ensayo utilizados para verificar el cumplimiento de los requisitos de las nueces de macadamia deben seguir las tablas del capítulo de requisitos de las normas NTE INEN pertinentes.

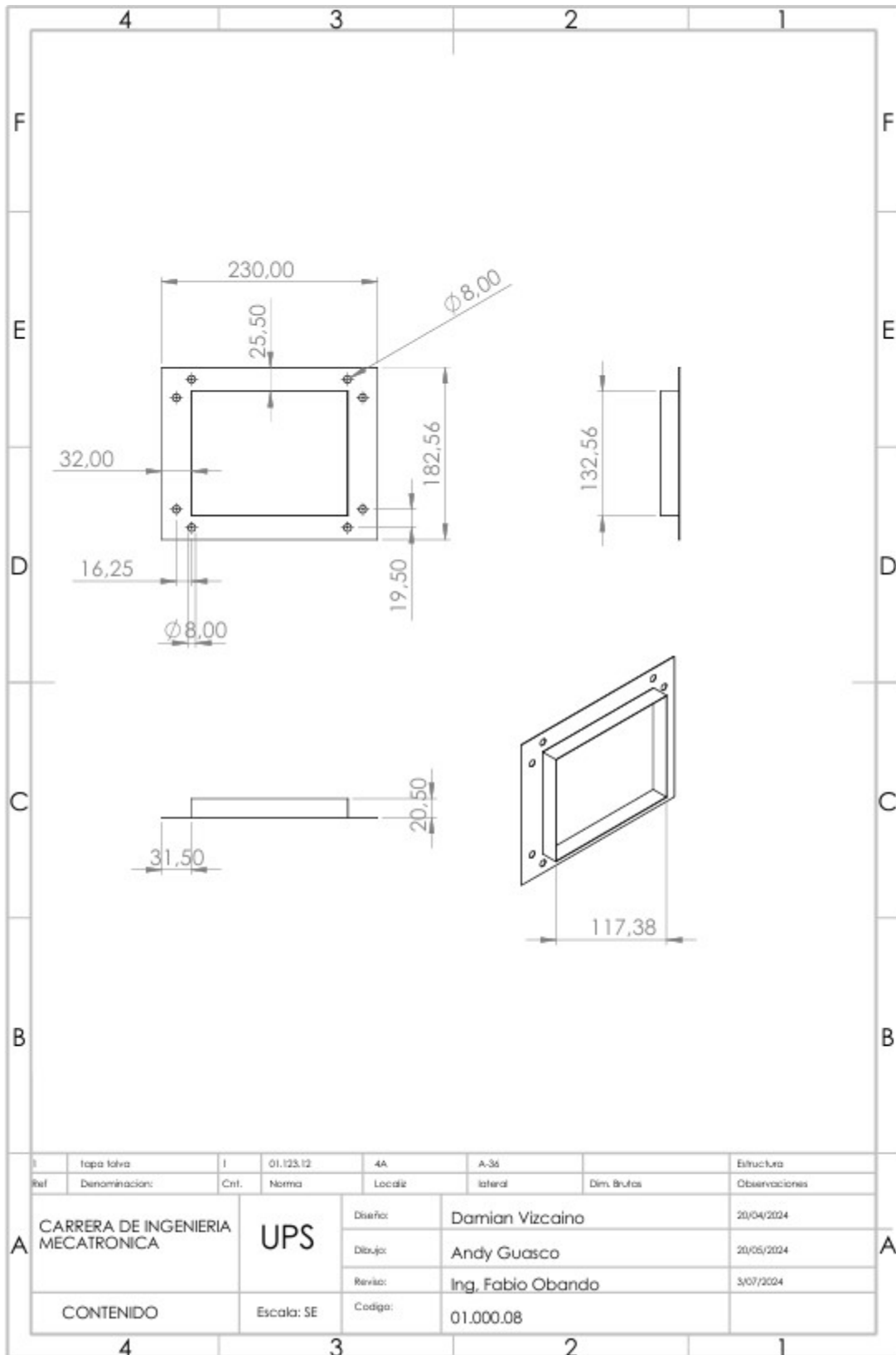
El cumplimiento del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 221 son aplicables garantizando que las nueces de macadamia producidas y comercializadas en Ecuador cumplen con los estándares de calidad y seguridad, protegiendo la salud de los consumidores y evitando prácticas engañosas. La implementación de estas normas beneficia tanto a productores como a consumidores, asegurando un producto de alta calidad y seguro para el consumo.

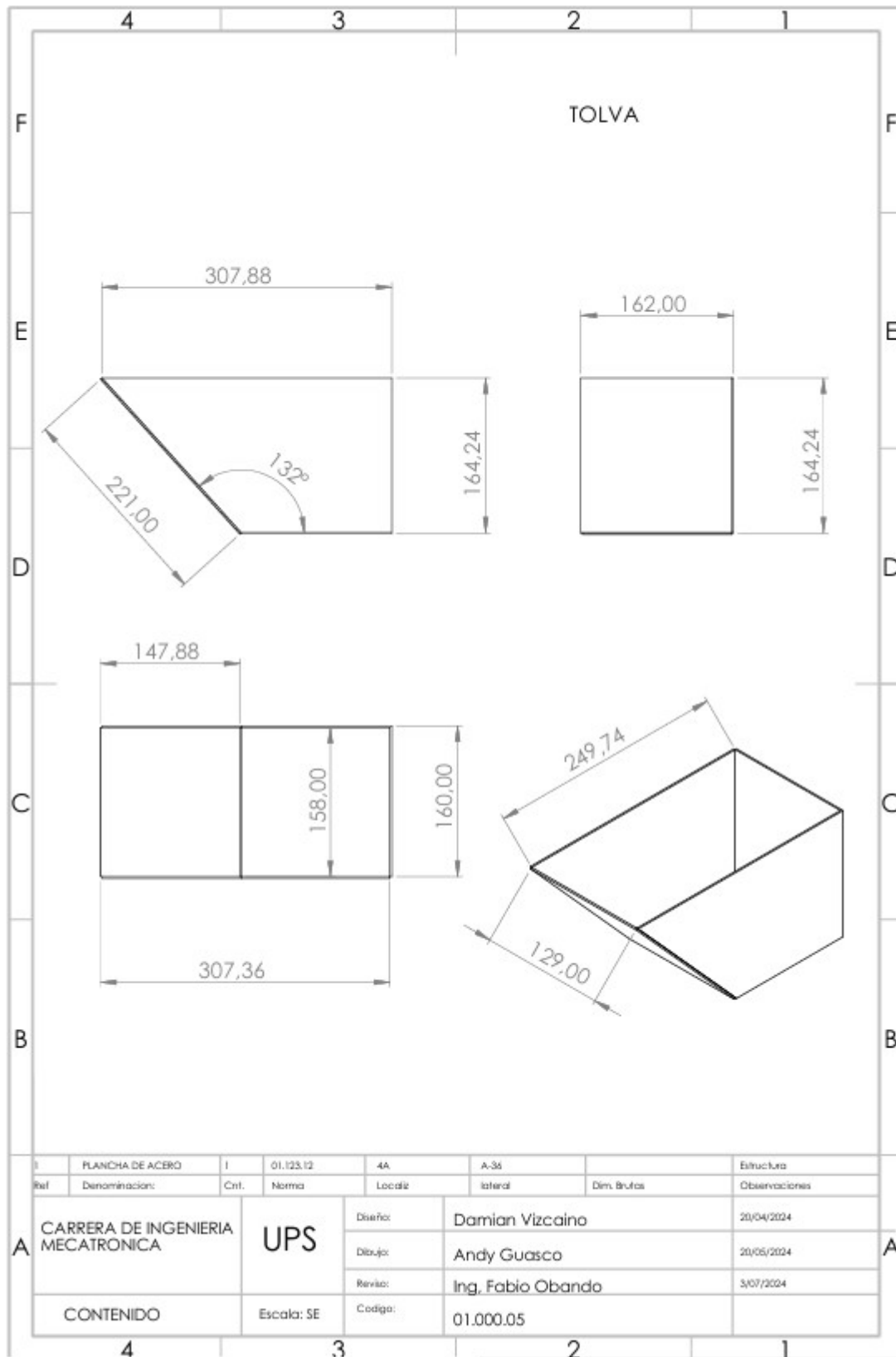


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

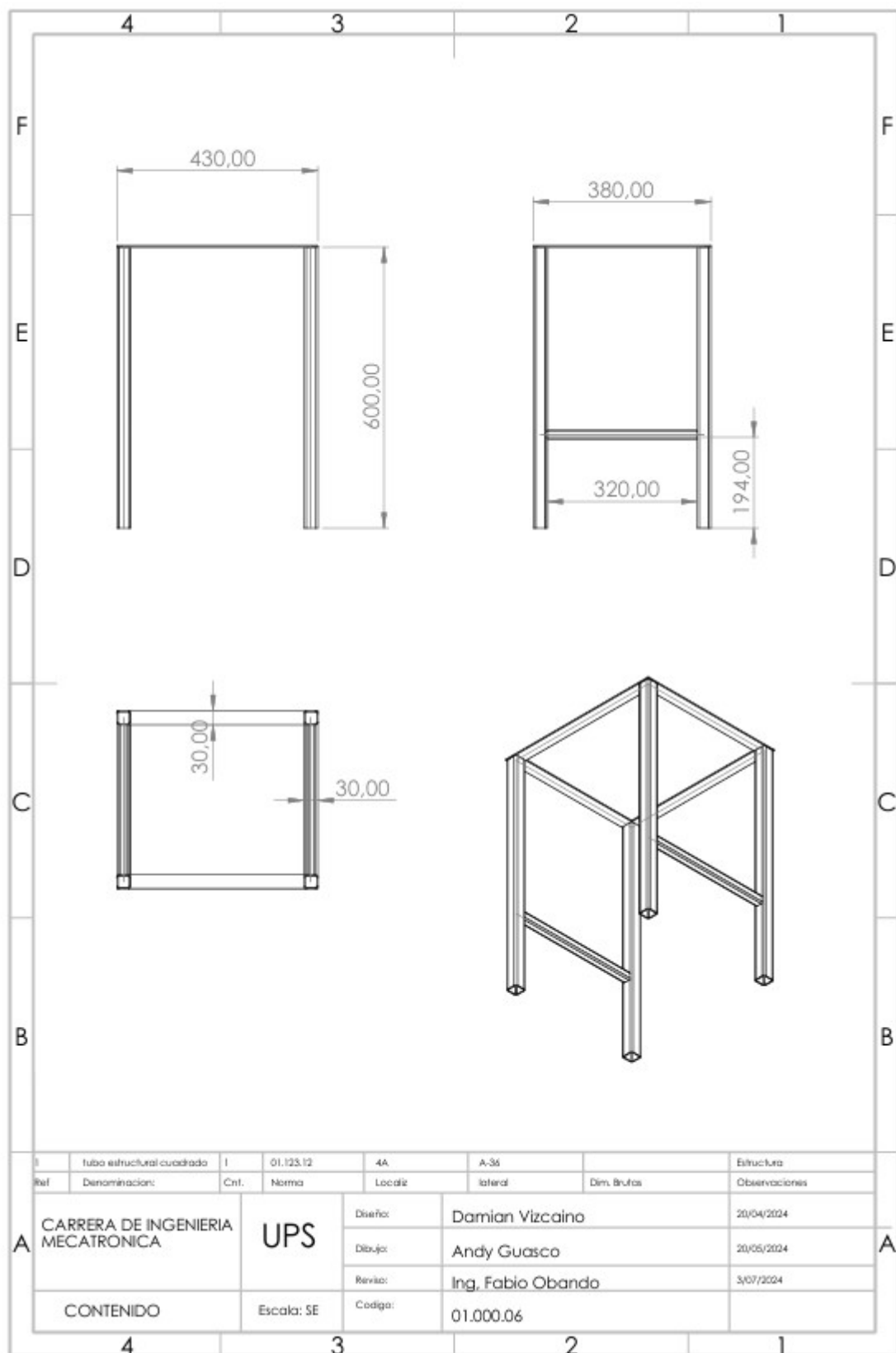


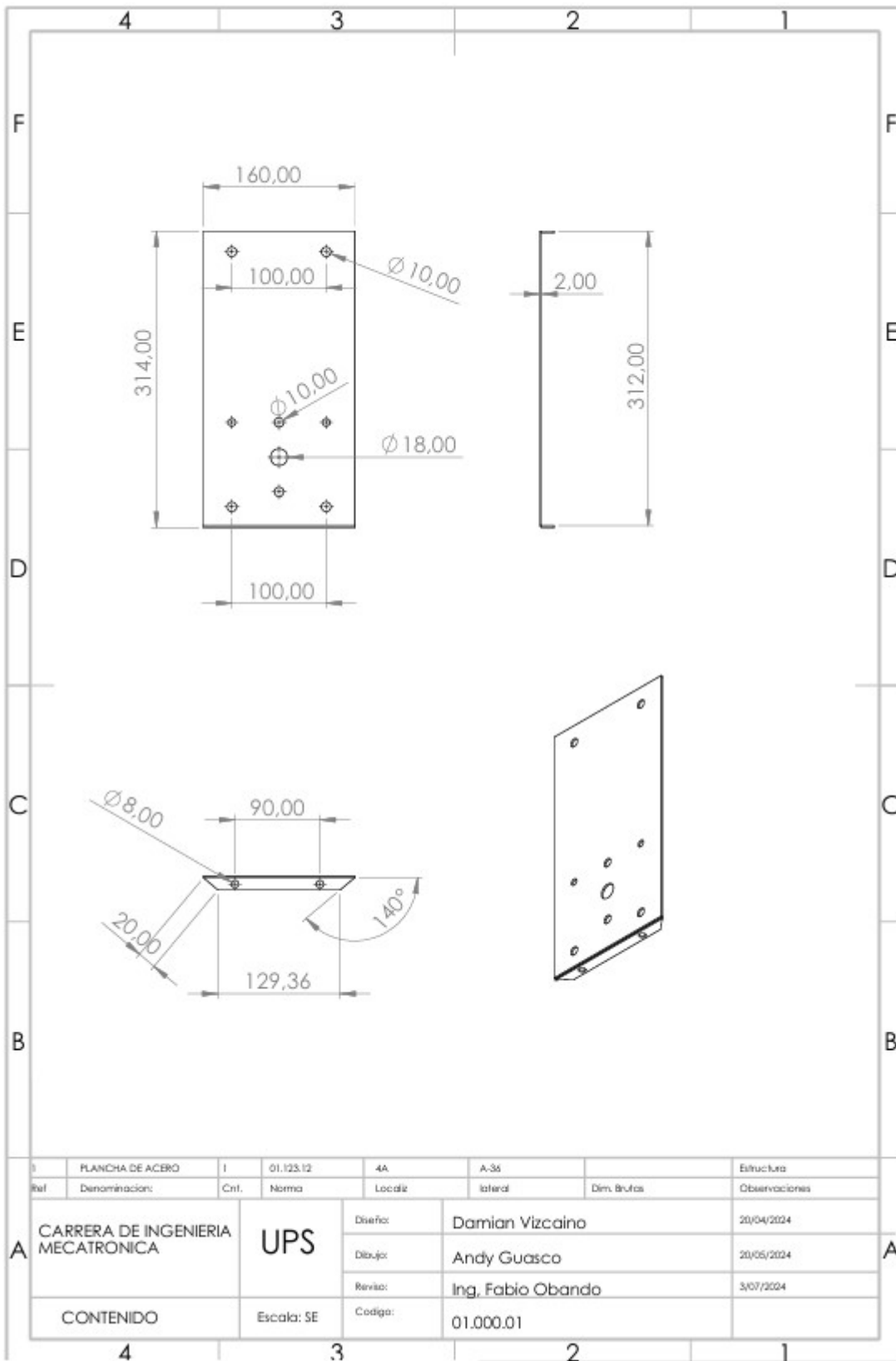




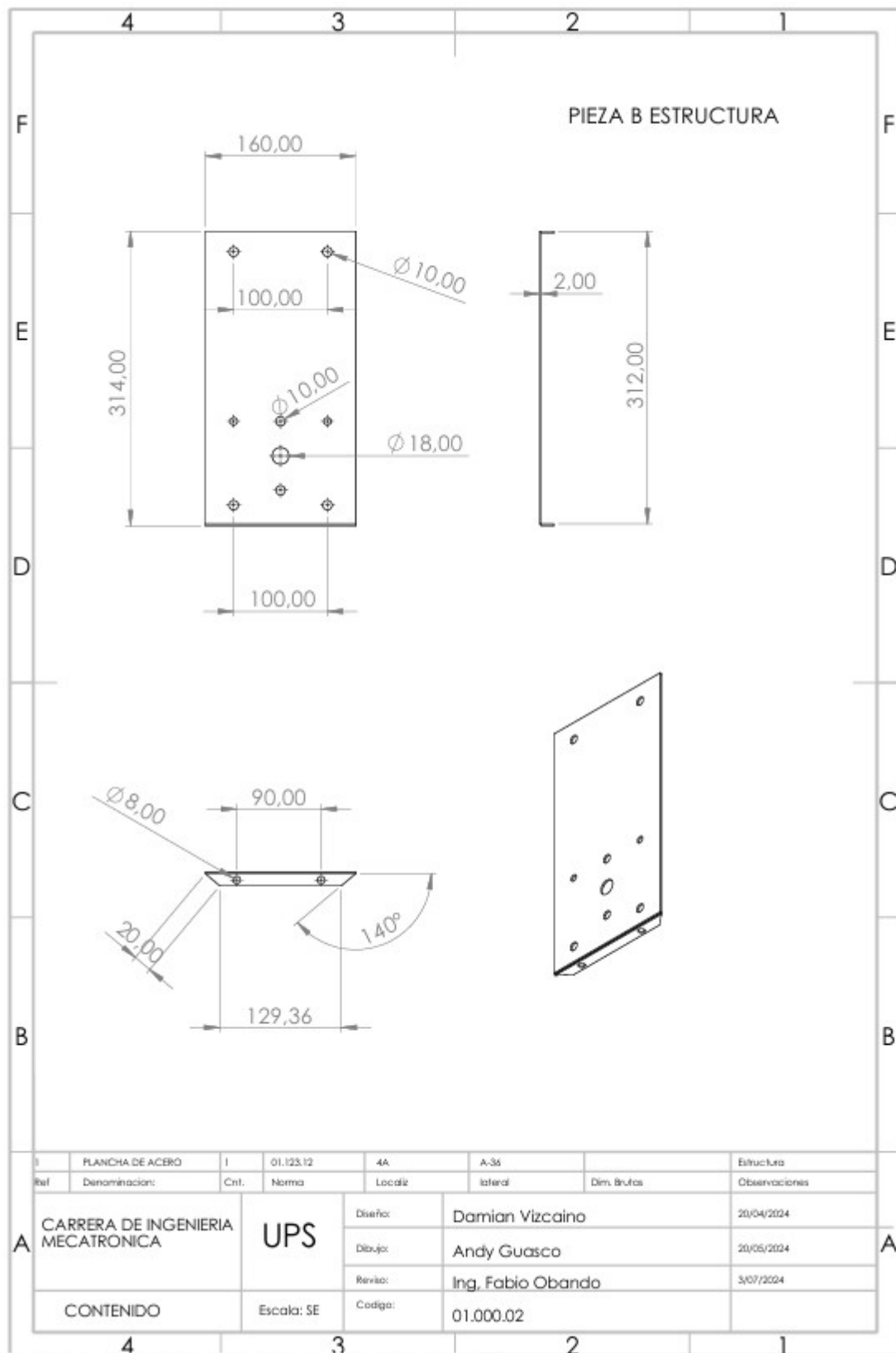


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

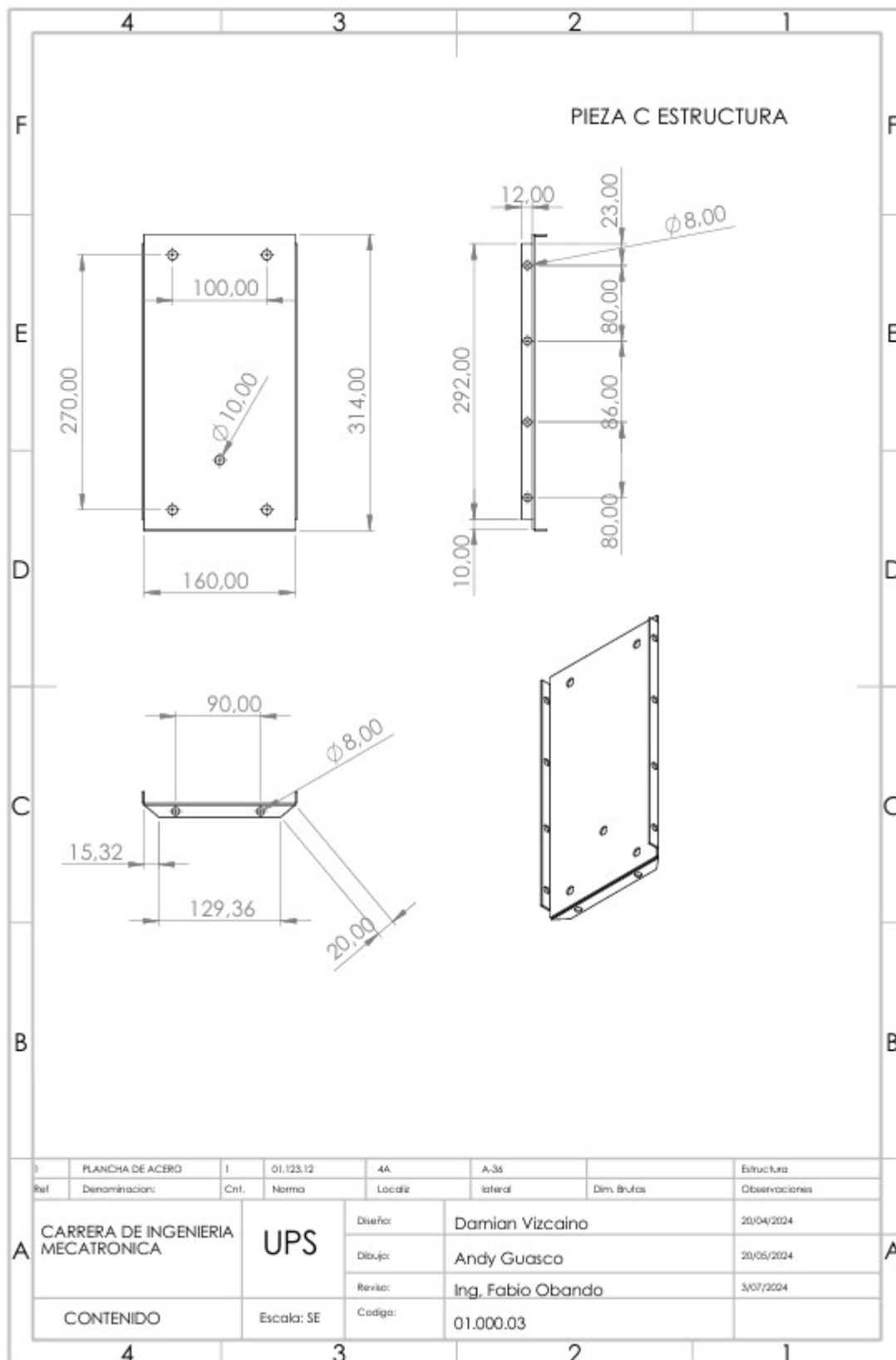




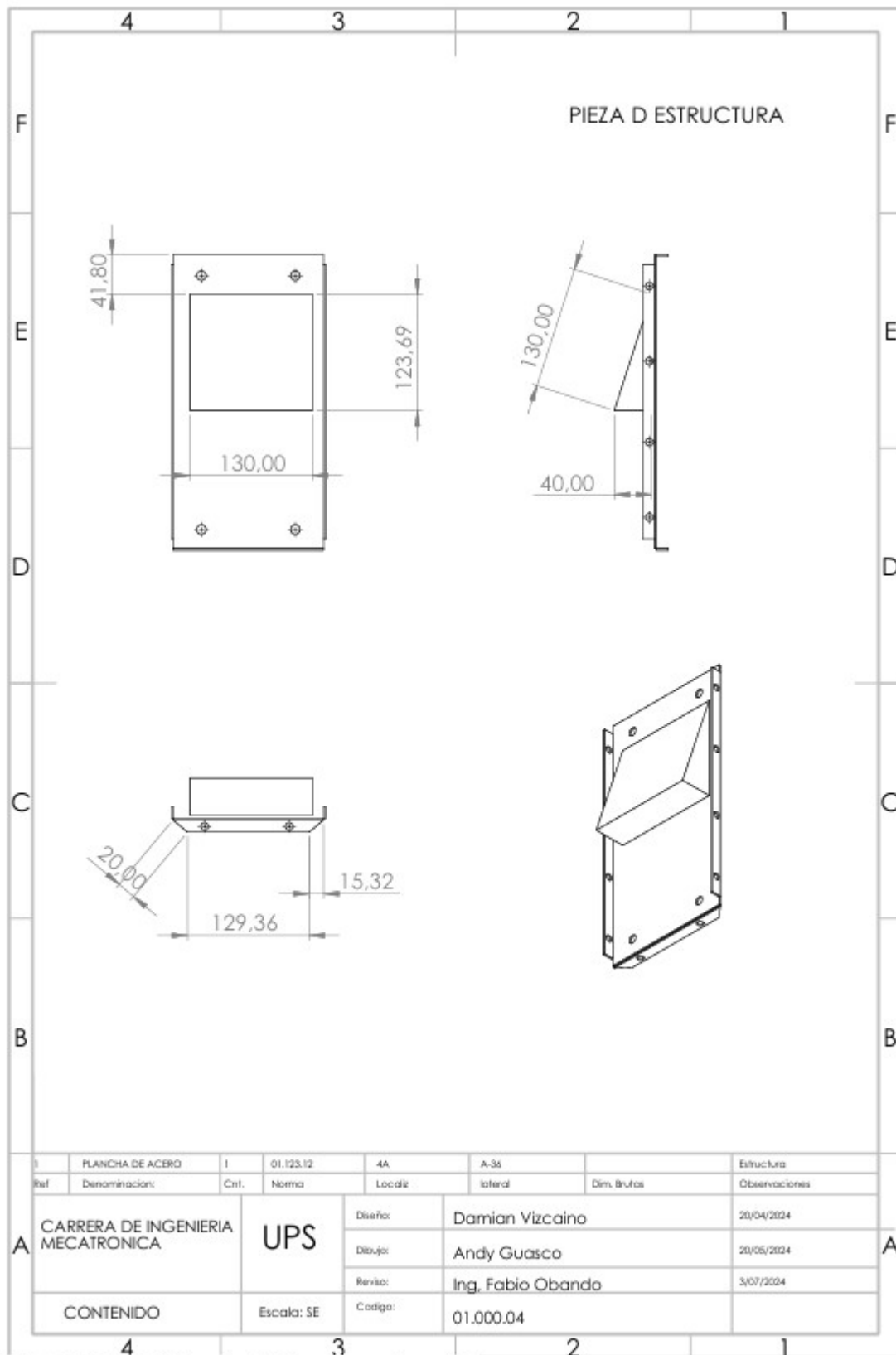
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.





