

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño de una máquina desgranadora para obtener los
bulbillos de la cabeza de ajo en el Valle del Mantaro**

Dimas Canchumanya Diaz

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : NILTON JAVIER ARZAPALO MARCELO
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 8 de octubre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de una máquina desgranadora para obtener los bulbillos de la cabeza de ajo en el valle del Mantaro

Autor:

Dimas Canchumanya Diaz – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 9 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía SI ☒ NO ☐

Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):15 SI ☒ NO ☐

Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI ☒ NO ☐

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR
NILTON ARZAPALO MARCELO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien siempre me brindó salud.

A mis padres y hermanos, que siempre estuvieron apoyándome y me brindaron ánimos cuando más lo necesitaba.

DEDICATORIA

A mis hijos Sofia y Yael, quienes son mi gran amor y siempre los llevo en mi corazón.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Problema general.....	14
1.1.2. Problemas específicos	14
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.3.1. Justificación práctica.....	15
1.3.2. Justificación teórica.....	16
1.3.3. Justificación metodológica.....	17
1.4. Delimitación del proyecto	18
1.4.1. Delimitación espacial.....	18
1.4.2. Delimitación temporal.....	18
1.5. Hipótesis.....	18
1.5.1. Hipótesis general.....	18
1.5.2. Hipótesis específicas	18

1.5.3. Operacionalización de variables	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	23
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1. Fruto	23
2.2.2. Ajo.....	25
2.2.3. Desgranado.....	26
2.2.4. Máquina desgranadora	27
2.2.5. Diseño mecánico	30
2.2.6. Metodología de diseño centrado en el usuario.....	34
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	35
3.1. Método, tipo o alcance de la investigación	35
3.1.1. Tipo de la investigación	35
3.1.2. Nivel de la investigación.....	36
3.1.3. Población y muestra	37
3.1.4. Diseño metodológico de la investigación	39
3.2. Materiales y métodos	40
3.2.1. Técnicas de recolección de datos	40
3.2.2. Instrumentos de recolección de datos	41
3.2.3. Técnicas de análisis de datos	42
3.2.4. Diseño metodológico	42
3.2.5. Concepto de solución	47
3.2.6. Descripción de soluciones.....	54
3.2.7. Elaboración del proyecto	61
3.2.8. Diseño del sistema para despulpar	63

3.2.9. Diseño del sistema de transmisión de potencia.....	71
3.2.10. Diseño del sistema estructural.....	89
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	98
4.1. Resultados	98
4.2. Discusión de resultados.....	99
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1. Conclusiones	103
5.2. Recomendaciones.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS	109
Anexo A: Matriz de consistencia	110
Anexo B: Diagrama de selección de cadenas para estándares americanos.....	111
Anexo C: Diagrama de distribución de fuerzas cortantes y momentos flectores para el diseño del eje	112
Anexo D: Planos.....	114
Anexo E: Resultados de simulación.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . <i>Operacionalización de la variable independiente:</i>	20
Tabla 2 . <i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	21
Tabla 3 : <i>Lista de exigencias</i>	45
Tabla 4 : <i>Diseño centrado en el usuario de la maquina desgranadora</i>	48
Tabla 5 : <i>Matriz morfológica de la máquina despulpadora</i>	52
Tabla 6 : <i>Tabla de evaluación técnica para las soluciones de la máquina</i>	58
Tabla 7 : <i>Tabla de evaluación económica para las soluciones de la máquina</i>	60
Tabla 8 : <i>Características del Motor Seleccionado</i>	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : <i>Exportación de ajos frescos de Perú</i>	13
Figura 2 : <i>Caja negra de la solución de la máquina desgranadora</i>	49
Figura 3 : <i>Estructura de funciones para la máquina desgranadora</i>	50
Figura 4 : <i>Diagramas de la solución 1</i>	55
Figura 5 : <i>Diagramas de la solución 2</i>	56
Figura 6 : <i>Diagramas de la solución 3</i>	57
Figura 7 : <i>Gráfico de comparación de las soluciones</i>	61
Figura 8 : <i>Distribución de rodillos para el sistema</i>	63
Figura 9 : <i>Observación de tensiones debido a las cargas en el rodillo</i>	65
Figura 10 : <i>Disposición de cargas en la viga de la plataforma inclinada</i>	66
Figura 11 : <i>Observación de tensiones debido a las cargas en la estructura superior</i>	70
Figura 12 . <i>Observación del desplazamiento debido a las cargas en la estructura superior</i>	71
Figura 13 : <i>Distribución de los elementos en el eje</i>	82
Figura 14 : <i>Distribución de cargas sobre la viga estructural</i>	89
Figura 15 : <i>Observación de tensiones debido a las cargas en la estructura</i>	94
Figura 16 : <i>Observación de deformaciones debido a las cargas en la estructura</i>	95
Figura 17 : <i>Factor de seguridad mínima</i>	96
Figura 18 : <i>Análisis vibracional de la estructura</i>	97

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una máquina desgranadora para obtener dientes de ajos pelados en el valle del Mantaro. La necesidad de contar con una maquina que pueda separar los dientes de ajo sin dañar la pulpa se plantea como el problema central, centrado en las necesidades del usuario. La máquina propuesta debe cumplir con una capacidad mínima de producción de 200 kilogramos por hora, lo que supera las capacidades de los métodos manuales, sin afectar la calidad del producto ni la facilidad de uso para el operador.

La metodología centrada en el usuario se emplea para garantizar que el diseño no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también considere las necesidades, expectativas y limitaciones del usuario final durante todo el proceso de diseño, así también se utilizaron conceptos de la metodología VDI2221 tales como la lista de exigencias, estructura de funciones y la matriz morfologica. Se identificaron los sistemas clave: desgranado, transmisión de potencia y estructura, evaluando cada uno desde la perspectiva de la usabilidad y la interacción del usuario. Para el sistema de desgranado, se seleccionaron rodillos de acero recubiertos de caucho, asegurando que el proceso sea eficiente y seguro para el operador; para la transmisión de potencia, se optó por un motor a gasolina de 3 HP, acompañado de un sistema de transmisión por catarinas y cadenas, teniendo en cuenta la accesibilidad y el mantenimiento fácil para el usuario; y para la estructura, se utilizó acero ASTM A36, un material resistente y accesible que permite una operación sin complicaciones.

Los resultados obtenidos confirman que la máquina diseñada cumple con los objetivos planteados. La capacidad de producción de 200 kg/h se logra de manera eficiente, superando los métodos manuales que procesan entre 50 y 80 kg/h. La máquina opera de forma eficiente a una potencia de 2,237 kW, con un margen de seguridad adecuado gracias al motor de 3 HP. La estructura demuestra ser robusta, soportando tensiones de hasta $1.311 \cdot 10^6$ N/m², lo que corresponde al 6.23% de su límite elástico de $2.920 \cdot 10^8$ N/m², y presentando un desplazamiento máximo de $2.778 \cdot 10^{(-2)}$ mm, lo que no afecta su funcionamiento. Además, la máquina minimiza el desperdicio en un 10-15% en comparación con los métodos manuales, lo que contribuye a la rentabilidad de los productores.

En conclusión, el diseño de la máquina desgranadora es exitoso y cumple con los objetivos de eficiencia, rentabilidad y adaptabilidad al entorno agrícola del Valle del Mantaro. Se recomienda continuar con la implementación de tecnologías adicionales y simulaciones para optimizar el diseño y garantizar su durabilidad a largo plazo.

Palabras clave: Máquina, desgranadora, ajos, diseño.

ABSTRACT

The objective of this work is the design of a garlic clove separating machine for the production of peeled garlic cloves in the Mantaro Valley. The need for a machine that can separate the garlic cloves without damaging the pulp is presented as the central problem, focusing on the user's needs. The proposed machine must meet a minimum production capacity of 200 kilograms per hour, exceeding the capabilities of manual methods, without affecting product quality or ease of use for the operator.

A user-centered methodology is employed to ensure that the design not only meets technical requirements but also considers the needs, expectations, and limitations of the end user throughout the design process. Concepts from the VDI2221 methodology, such as the requirements list, function structure, and morphological matrix, were also utilized. Key systems were identified: clove separation, power transmission, and structure, evaluating each from the perspective of usability and user interaction. For the separation system, rubber-coated steel rollers were selected to ensure the process is efficient and safe for the operator; for the power transmission, a 3 HP gasoline engine was chosen, coupled with a transmission system using pulleys and chains, considering accessibility and ease of maintenance for the user; and for the structure, ASTM A36 steel was used, a durable and accessible material that enables smooth operation.

The results obtained confirm that the designed machine meets the stated objectives. The production capacity of 200 kg/h is achieved efficiently, surpassing manual methods that process between 50 and 80 kg/h. The machine operates efficiently at a power of 2,237 kW, with an adequate safety margin thanks to the 3 HP motor. The structure proves to be robust, withstanding stresses of up to $1,311 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, corresponding to 6.23% of its yield strength of $2,920 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, and exhibiting a maximum displacement of $2,778 \cdot 10^{(-2)} \text{ mm}$, which does not affect its operation. Furthermore, the machine minimizes waste by 10–15% compared to manual methods, contributing to the profitability of producers.

In conclusion, the design of the shelling machine is successful and meets the objectives of efficiency, profitability, and adaptability to the agricultural environment of the Mantaro Valley. It is recommended to continue implementing additional technologies and simulations to optimize the design and ensure its long-term durability.

Keywords: Machine, sheller, garlic, design.

INTRODUCCIÓN

El ajo es un fruto utilizado a lo largo del mundo en diversos campos, como la gastronomía, e incluso en la medicina. Este producto se produce en diferentes partes del mundo, una de estas fuentes, es el Perú, cuya producción se alcanza a exportar en México, Estados Unidos, Ecuador, entre otros países. Esta exportación requiere que el producto, en algunos casos, llegue al cliente bajo un régimen de calidad estricto, evitando desechos como cáscaras, fibras y separando uno bulbillo de otro.

Así, es común encontrarse con diversas formas de exportación del ajo, desde frutos extraídos de los campos, hasta otros productos tratados. Una máquina requerida en esta línea de producción son los desgranadores, que se encargan de separar los bulbillos del bulbo de ajo. Estas máquinas se diseñan a partir de diferentes parámetros, como el tamaño de producción, el tamaño del fruto, la eficiencia de producción, el tipo de limpieza del sistema, entre otros.

Dentro de esta investigación, el lector podrá encontrar información referente a los puntos asociados al desarrollo de una tesis, abarcando desde el planteamiento del problema hasta las conclusiones y recomendaciones. Además, también se cuenta un apartado para especificar la teoría aplicada, así como los antecedentes revisados para la investigación. Finalmente, se detalla el diseño de la máquina al explorar el capítulo de diseño de la máquina desgranadora de ajos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El ajo es históricamente valorado a nivel mundial no solo por sus beneficios nutricionales, sino también por sus propiedades medicinales, como sus capacidades antibióticas y anticancerígenas. Su consumo se ha incrementado considerablemente en diversas partes del mundo, debido a su capacidad para prevenir enfermedades como el COVID-19, y su uso culinario, especialmente en la gastronomía de diversos países. Esta alta demanda ha llevado a un aumento significativo en la producción y consumo de ajo, especialmente en países como China y España, lo que representa una oportunidad para la exportación de ajo peruano, cuyo mercado sigue en expansión. En Estados Unidos, desde 1980, el consumo de ajo ha crecido de manera constante, alcanzando actualmente 2 libras per cápita. Este incremento en el consumo global plantea la necesidad de una mayor estandarización y calidad en la producción de ajo, a fin de cumplir con la demanda creciente en mercados internacionales. (1)

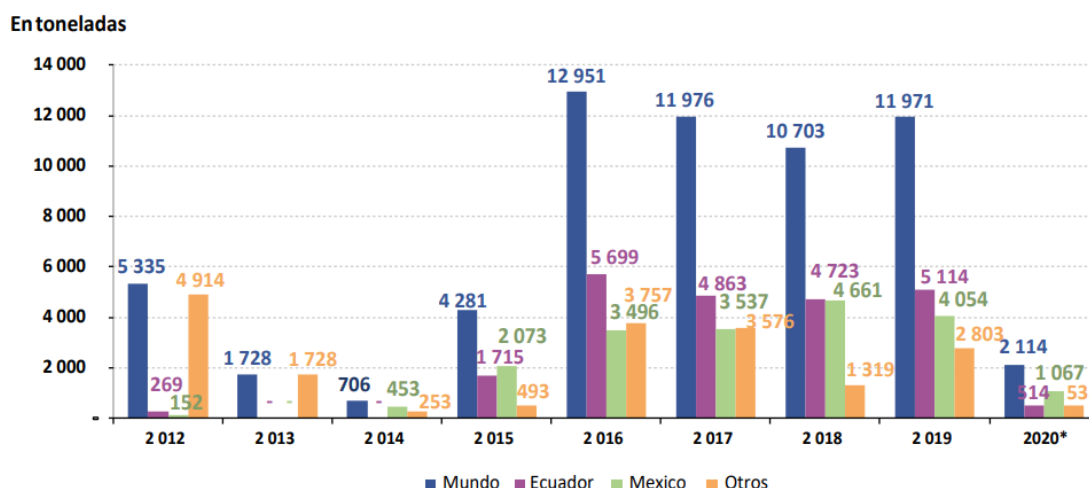


Figura 1:
Exportación de ajos frescos de Perú

Nota: extraído de MINAGRI (2)

El Perú, como uno de los principales exportadores de ajo a nivel mundial, ocupa el décimo lugar en el ranking global, siendo México, Estados Unidos y Ecuador sus principales destinos. El precio del ajo varía según el mercado de destino, con valores de hasta 2.5 dólares por kilogramo en América, 1.69 en México y 0.77 en Ecuador. (2) Esta variabilidad en los precios refleja la importancia de mantener una producción eficiente y de calidad que no solo satisfaga la demanda interna, sino que también sea competitiva en el mercado internacional.

Dentro del contexto de la producción de ajo, uno de los principales desafíos en la industria agrícola es la eficiencia en los procesos de desgranado, que son esenciales para la preparación del producto. Las máquinas desgranadoras son herramientas clave en este proceso, ya que permiten separar los bulbos de ajo de manera rápida y eficiente, optimizando la producción y reduciendo el desperdicio. Las máquinas desgranadoras automatizan tareas que, de realizarse manualmente, serían lentas y costosas, lo que las convierte en un elemento esencial para la competitividad en la industria. (3)

A pesar de los avances tecnológicos en la automatización de la agricultura, muchas pequeñas y medianas empresas productoras de ajo en el Perú aún no cuentan con maquinaria adecuada que cumpla con los requisitos de eficiencia y calidad. Esto es especialmente importante debido a la creciente demanda y las exigencias del mercado global. La implementación de una máquina desgranadora adecuada no solo optimiza el proceso, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sector, reduciendo el desperdicio de producto y los costos operativos.

Para abordar estas necesidades, se hace imprescindible diseñar una máquina desgranadora específicamente adaptada a las características del ajo peruano, que cumpla con los requisitos de capacidad de producción, eficiencia y sostenibilidad. Este diseño debe considerar aspectos técnicos como el tipo de desgranado, la reducción de la cáscara y la conservación de la calidad del bulbo. Además, es necesario tener en cuenta los costos asociados a la adquisición de maquinaria, equilibrando el presupuesto con la necesidad de producción.

En cuanto a la demanda, los datos estadísticos muestran que el consumo global de ajo sigue en ascenso, con un aumento del 2% anual en países como Estados Unidos y México, lo que implica una presión constante sobre la producción. La implementación de soluciones tecnológicas como la desgranadora no solo mejorará la eficiencia en la producción local, sino que también permitirá a los productores peruanos competir mejor en el mercado internacional.

1.1.1. Problema general

¿Cuáles serían las características de diseño de una máquina desgranadora para obtener los bulbillos de la cabeza de ajo en el valle del Mantaro?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características de diseño del sistema de separación en una máquina desgranadora que permita obtener los bulbillos de la cabeza de ajo sin dañar la pulpa, en el contexto de la producción del valle del Mantaro?
- ¿Cómo se puede dimensionar y seleccionar los componentes clave (como los rodillos, sistemas de transmisión y estructuras) para una máquina desgranadora que opere de manera eficiente en el valle del Mantaro?
- ¿Qué aspectos técnicos que deben considerarse al diseñar una máquina desgranadora para garantizar su viabilidad y competitividad en el mercado local de ajos en el valle del Mantaro?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar las características de diseño de una máquina desgranadora para obtener dientes de ajos pelados en el valle del Mantaro.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características de diseño del sistema de separación de una máquina desgranadora, asegurando que los bulbillos se obtengan sin daño para la pulpa, considerando las condiciones del valle del Mantaro.
- Establecer los criterios técnicos para dimensionar y seleccionar los componentes principales de la máquina desgranadora, como rodillos, transmisión de potencia y estructura, optimizando su rendimiento en el contexto agrícola local.
- Evaluar los aspectos técnicos relevantes para el diseño de la máquina desgranadora, para garantizar su eficiencia, rentabilidad y adaptación a las necesidades del mercado de ajos en el valle del Mantaro.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

La industria alimentaria es un pilar fundamental de la economía global y de la vida cotidiana de las personas. Su capacidad para proporcionar alimentos seguros y de alta calidad en cantidades masivas es esencial para la salud pública y la satisfacción del consumidor. En este contexto, las máquinas juegan un papel crítico en todo el proceso, desde la producción y procesamiento hasta el envasado y la distribución. Este ensayo explora la importancia de las

máquinas en la industria alimentaria, destacando cómo impulsan la eficiencia, mejoran la calidad de los productos y garantizan la seguridad alimentaria. (4)

A medida que la industria continúa evolucionando, es probable que las máquinas jueguen un papel aún más destacado al enfrentar desafíos como el aumento de la demanda, la sostenibilidad y la innovación en la producción de alimentos. Su importancia perdurará, asegurando que tengamos acceso a alimentos seguros, de alta calidad y asequibles en todo el mundo. La máquina desgranadora representa un ejemplo claro de cómo la tecnología puede impulsar la eficiencia y la responsabilidad en la producción de alimentos, lo que se vuelve cada vez más esencial en un mundo que busca satisfacer las crecientes demandas alimentarias de manera sostenible.

Una máquina desgranadora es una herramienta de suma importancia en la industria alimentaria y la agricultura. Su capacidad para mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio y promover la sostenibilidad en la producción de alimentos la convierte en una aliada valiosa en la cadena de suministro alimentario global. Al automatizar un proceso que de otro modo sería laborioso y propenso a desperdicios, estas máquinas no solo benefician a los agricultores y la industria, sino que también tienen un impacto positivo en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad a nivel mundial.

1.3.2. Justificación teórica

La ingeniería mecánica es una disciplina fundamental en la creación y desarrollo de maquinaria, equipos y sistemas que impulsan una amplia gama de industrias, desde la manufactura hasta la automoción y la aeroespacial. El diseño en ingeniería mecánica es un proceso multidisciplinario que combina principios científicos con creatividad y habilidades técnicas para crear productos funcionales y seguros. En este ensayo, exploraremos la importancia del diseño en ingeniería mecánica y cómo la aplicación de normas internacionales estandarizadas desempeña un papel fundamental en este proceso. (5)

Las normas internacionales estandarizadas desempeñan un papel crucial en el diseño en ingeniería mecánica. Estas normas son conjuntos de directrices técnicas y requisitos que han sido desarrollados y aceptados a nivel mundial para garantizar la calidad, la seguridad y la interoperabilidad de los productos. Algunas de las normas más conocidas en ingeniería mecánica son las ISO (Organización Internacional de Normalización) y las ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Además, las normas especifican requisitos de seguridad que son esenciales para proteger a los usuarios y minimizar riesgos.

El diseño en ingeniería mecánica no es solo una cuestión de estética, sino de funcionalidad y seguridad. Los productos y sistemas que resultan de un diseño eficaz pueden tener un impacto significativo en la vida cotidiana y en la industria. Desde automóviles más seguros hasta máquinas de fabricación más eficientes, el diseño mecánico tiene un impacto directo en la calidad de vida y la competitividad económica. El proceso de diseño se inicia con la identificación de las necesidades del usuario y los objetivos del proyecto.

1.3.3. Justificación metodológica

La metodología de diseño de productos es un enfoque sistemático y estratégico que guía el proceso de desarrollo de nuevos productos o la mejora de los existentes. En la industria moderna, esta metodología es esencial para garantizar que los productos sean funcionales, eficientes y satisfagan las necesidades de los usuarios. Este ensayo explora en detalle cómo se utiliza una metodología de diseño de productos y su importancia en la creación de soluciones innovadoras y exitosas. Esto garantiza que los productos resultantes sean de alta calidad y cumplan con los objetivos del proyecto.

La metodología de diseño de productos es esencial por varias razones. En primer lugar, proporciona una estructura sólida para llevar a cabo cada paso del proceso de diseño de manera eficiente y efectiva. Además, esta metodología fomenta la innovación al alentar la exploración de múltiples soluciones y enfoques. El proceso de generación de conceptos y su posterior evaluación permite identificar soluciones creativas y fuera de lo común que podrían pasar desapercibidas en un enfoque menos sistemático. También, promueve la sostenibilidad al ayudar a minimizar el desperdicio y a optimizar el uso de recursos. La eficiencia en la producción y la atención a los detalles técnicos contribuyen a una agricultura más sostenible y responsable.

Es importante tener en cuenta que una metodología de diseño de productos es un enfoque esencial para la creación de soluciones innovadoras y exitosas en la industria moderna. A través de un proceso sistemático que abarca desde la definición del problema hasta el lanzamiento del producto, esta metodología garantiza la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en el diseño de productos. Su importancia radica en su capacidad para impulsar la innovación, mejorar la calidad de los productos y satisfacer las necesidades cambiantes de los usuarios y la sociedad en general.

1.4. Delimitación del proyecto

1.4.1. Delimitación espacial

Esta investigación se enfoca en el diseño técnico de una máquina desgranadora para obtener los bulbillos de la cabeza de ajo en la región del valle del Mantaro, específicamente en la provincia de Huancayo, en el departamento de Junín, Perú. El diseño de la máquina se adapta a las características geográficas y las condiciones agrícolas de la zona, considerando las especificaciones necesarias para su funcionamiento eficiente en el entorno agrícola local. La máquina es diseñada con el objetivo de procesar las cabezas de ajo sin dañarlas, adecuándose a las condiciones operativas propias del valle del Mantaro, como la variabilidad en el tamaño de los ajos y las técnicas de trabajo manuales utilizadas en la región.

1.4.2. Delimitación temporal

El proyecto de diseño se lleva a cabo el año 2025. Durante los primeros meses se realizó una recopilación de información y estudios preliminares para definir los requerimientos técnicos del cliente y las condiciones operativas en las que se debe desarrollar la máquina. A partir del segundo trimestre de 2025, se inició el desarrollo del diseño conceptual y detallado de la máquina, abarcando la selección de los sistemas de desgranado, transmisión de potencia y la estructura. El diseño técnico se completó hacia finales del 2025, con el objetivo de presentar un modelo de máquina desgranadora completamente detallado, listo para su evaluación y, en su caso, llevado a cabo en etapas posteriores fuera del alcance de este proyecto.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Si se identifican y aplican correctamente las características de diseño en los planos de fabricación de una máquina desgranadora, siguiendo la metodología de diseño centrada en el usuario, para obtener los bulbillos de la cabeza de ajo en el valle del Mantaro, se logrará una capacidad mínima de producción de 200 kg/h, sin dañar la pulpa y cumpliendo los estándares de calidad exigidos por el mercado local.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Si el sistema de desgranado de la máquina desgranadora es diseñado aplicando el diseño centrado en el usuario, utilizando rodillos de acero recubiertos de caucho, con distancias y velocidades ajustadas, se logrará una eficiencia superior al 95% en la separación de los bulbillos, sin dañar la pulpa de los ajos, garantizando la calidad del producto final.

- Si el sistema de transmisión de potencia para la máquina desgranadora es diseñado conforme a metodología de diseño centrada en el usuario, con un adecuado dimensionamiento de motor, transmisión y estructura, la máquina operará de manera eficiente, soportará las cargas de trabajo sin comprometer la estabilidad estructural y cumplirá con los requisitos de rendimiento establecidos para el valle del Mantaro.
- Si el sistema estructural de la máquina desgranadora es diseñado aplicando la metodología de diseño centrada en el usuario, con criterios de eficiencia, facilidad de mantenimiento y adaptabilidad, se obtendrán planos de fabricación que hagan viable y competitiva la máquina para su implementación en el mercado local, asegurando su durabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

1.5.3. Operacionalización de variables

1.5.3.1. Variable independiente

Máquina desgranadora

Se trata de una máquina que tiene como objetivo quitar ciertos elementos como cáscaras o elementos de un fruto para conseguir los granos del mismo, aunque esto se relaciona mayormente con plantas gramíneas, con los frutos como el ajo, esta máquina cumple la función de separar los pequeños bulbillos extrayéndolos del bulbo, que también es conocido como cabeza de ajo.

Dimensiones:

- Sistema para desgranar: Los elementos que componen este sistema tienen como función quitar los elementos que unan los granos o bulbillos de un fruto, extrayéndolos sin que la pulpa de estos frutos sea dañada de alguna manera. Sus herramientas más comunes utilizan cepillos, platos de fricción, rodillos, entre otros.
- Sistema de transmisión de potencia: Los elementos que componen este sistema tienen como función el transmitir la energía mecánica producida en el motor hasta llegar a la herramienta de trabajo. Es posible que este sistema varíe las revoluciones por minuto, dirección en que incide la herramienta de trabajo, entre otros parámetros necesarios para que la máquina cumpla su cometido.
- Sistema estructural: Los elementos que componen este sistema recogen los esfuerzos estáticos de cada uno de los demás sistemas, elementos adicionales, carga de alimentación y el de los accesorios de tal modo que la deformación o esfuerzo de deflexión se encuentre por debajo del límite establecido por el diseñador.

Tabla 1.*Operacionalización de la variable independiente:*

Dimensión	Indicador	Descripción	Instrumento de medición
Sistema para desgranar	Tipo de herramienta utilizada	Tipo de herramienta de desgranado (cepillos, platos de fricción, rodillos, etc.)	Inspección del diseño de la máquina
	Eficiencia de separación	Eficiencia con la que la máquina separa los bulbillos sin dañar la pulpa	Evaluación experimental
Sistema de transmisión de potencia	Potencia del motor	Potencia entregada por el motor a la herramienta de trabajo (en caballos de fuerza o Watts)	Medición de potencia
	Velocidad de rotación	Revoluciones por minuto (RPM) del motor y su transmisión a la herramienta de trabajo	Medición del motor
	Tipo de transmisión (mecánica)	Tipo de transmisión utilizada (cadena, correas, etc.)	Inspección técnica
Sistema estructural	Material de la estructura	Material de la estructura de la máquina (acero, aluminio, etc.)	Inspección de los materiales
	Resistencia estructural	Resistencia a esfuerzos de torsión y compresión (capacidad de la estructura para soportar las fuerzas)	Cálculos de resistencia estructural
	Deflexión estructural	Cantidad de deflexión en la estructura cuando está en funcionamiento	Pruebas de carga y deflexión

Nota: Elaboración propia.

1.5.3.2. Variable dependiente

Bulbillo de la cabeza de ajo

Corresponde a cada uno de los dientes, o también denominados gajos que forman el bulbo del fruto de la planta del ajo. Se puede decir que el fruto del ajo presenta una capa que recubre los bulbillos en un conjunto de diversos dientes, al romper esta capa inicial se puede separar los gajos mediante un esfuerzo de tracción para quitar uno de ellos, o realizar un esfuerzo de compresión sobre el punto de unión del conjunto para separarlos a todos.

Dimensiones:

- Volumen de producción: Corresponde al valor de producción numérico esperado para la máquina considerando que debería estar por encima del que se realiza manualmente. Este valor deberá ser la base bajo la cual se diseña la máquina considerando las horas operativas consideradas para el trabajo de la máquina.

Tabla 2.

Operacionalización de la variable dependiente

Dimensión	Indicador	Descripción	Instrumento de medición
Volumen de producción	Cantidad de bulbillos separados	Número de bulbillos desgranados por unidad de tiempo (horas/día)	Registro de producción
	Eficiencia de desgranado	Porcentaje de bulbillos extraídos sin dañar la pulpa del ajo	Evaluación experimental
Calidad del desgranado	Integridad del bulbillo	Porcentaje de bulbillos que no han sufrido daño en la pulpa durante el proceso de desgranado	Inspección visual y medición de daños
	Tasa de pérdida	Porcentaje de bulbillos perdidos durante el proceso de desgranado	Inspección y medición de pérdidas

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

García Hernández (6), desarrolló la tesis titulada “Diseño de una desgranadora-seleccionadora de ajo para pequeños productores de Zacatecas” en la Universidad Autónoma de Chapingo, México. El propósito de su investigación fue diseñar una máquina que optimizara el proceso de desgranado y selección del ajo, considerando las condiciones específicas de los pequeños productores de la región. La metodología empleada incluyó el análisis de las máquinas comerciales existentes, la identificación de las subfunciones requeridas y el diseño detallado de cada componente del sistema. El resultado fue una máquina con sistemas de alimentación, desgranado, limpieza y clasificación, utilizando rodillos recubiertos de goma y cepillos para evitar daños en los bulbillos. La conclusión principal fue que el diseño propuesto mejoraba la eficiencia del proceso y reducía el daño al producto final, contribuyendo al desarrollo de los pequeños productores de ajo en Zacatecas.

Temistocles (7) presentó la tesis “Diseño y construcción de una máquina desgranadora de ajo en la parroquia Pilahuin-Ambato” en la Universidad Tecnológica Indoamérica, Ecuador. El objetivo fue desarrollar una máquina que optimizara el proceso de desgranado de ajo, adaptándose a las condiciones locales. La metodología consistió en el análisis de las características del ajo producido en la región y la evaluación de los procedimientos manuales existentes. Se diseñó una máquina con un sistema de rodillos y cepillos, impulsados por un motor de 0,5 caballos de fuerza, que permitía un desgranado eficiente y limpio. Los resultados mostraron una mejora significativa en la productividad y reducción del esfuerzo físico requerido. La conclusión fue que la máquina diseñada cumplía con los objetivos propuestos, beneficiando a los productores locales al optimizar el proceso de desgranado de ajo.

Cholca & Mantilla (8) realizaron el estudio “Diseño y construcción de una desgranadora de maíz con capacidad de 15 qq/hora” en la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. El propósito fue diseñar una máquina que sustituyera el trabajo manual en el desgranado de maíz, mejorando la eficiencia y reduciendo el riesgo de lesiones en los agricultores. La metodología incluyó el análisis de las técnicas de desgranado existentes, la selección de componentes adecuados y el diseño detallado de la máquina. El resultado fue una máquina con un sistema de discos dentados que permitía un desgranado rápido y eficiente. La conclusión fue que la máquina diseñada cumplía con los objetivos de mejorar la productividad y la seguridad de los agricultores.

Yáñez Camacho (9) presentó la tesis “Estudio del sistema mecánico aplicado al desgranado de maíz suave seco para mejorar tiempos de producción en el cantón San Miguel, provincia de Bolívar” en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. El objetivo fue diseñar un sistema mecánico que optimizara el proceso de desgranado de maíz suave seco, incrementando la productividad de los pequeños productores. La metodología consistió en el análisis de las técnicas de desgranado existentes, la identificación de los parámetros de funcionamiento y el diseño de un prototipo de máquina. El resultado fue una máquina con un sistema de discos giratorios y fijos que permitía un desgranado eficiente. La conclusión fue que el prototipo diseñado mejoraba los tiempos de producción y reducía la carga física de los agricultores.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ricaldi Torres (10) presentó la tesis “Diseño de máquina desgranadora y clasificadora de granos secos de maíz amiláceo con capacidad de 500 kg/h para el Valle del Mantaro” en la Universidad Continental, Perú. El propósito fue diseñar una máquina que optimizara los procesos de desgranado y clasificación de granos secos de maíz amiláceo, adaptándose a las condiciones del Valle del Mantaro. La metodología empleada incluyó el análisis de los procesos manuales existentes, la identificación de los requerimientos técnicos y el diseño detallado de la máquina. El resultado fue una máquina con un sistema de alimentación, desgranado por impacto, clasificación por tamaño y transmisión de potencia adecuada. La conclusión fue que la máquina diseñada cumplía con los objetivos de mejorar la eficiencia y reducir el esfuerzo físico de los agricultores.

Ramos Gallegos (11) presentó el estudio “Diseño conceptual de un desgranador y clasificador de granos de maíz amiláceo por calibre y estado de conservación” en la Pontificia Universidad Católica del Perú. El objetivo fue diseñar una máquina que optimizara los procesos de desgranado, limpieza y clasificación de granos de maíz amiláceo, mejorando la rentabilidad de los pequeños productores. La metodología consistió en el análisis de las técnicas existentes, la identificación de los componentes necesarios y el diseño conceptual de la máquina. El resultado fue un diseño que incorporaba sistemas de rodillos, zarandas vibratorias y clasificación por sensores. La conclusión fue que el diseño propuesto tenía el potencial de mejorar la eficiencia y calidad del proceso de desgranado y clasificación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fruto

Definición

El fruto se define como el ovario maduro de las plantas que en la mayoría de las veces presenta flor luego de ser fecundados, este se desarrolla al punto de conseguir la madurez permitida. Para que el fruto pueda formarse es necesario la participación de distintas partes de la flor, casi siempre, el pericarpio se desarrolla debido al ensanchamiento de las paredes de la flor, dentro del pericarpio se encuentra la semilla, responsable de la proliferación de la planta, por tal motivo las otras partes del fruto tienen como misión protegerlo. (12)

La facilidad con la que los frutos llegan a esparcir las semillas de las plantas hace que las angiospermas tengan el desarrollo exitoso. Asimismo, el polen de las flores atrae insectos, y a su vez insectívoros generando así una cadena alimenticia. De esta manera, cuando el fruto llegue a la madurez determinada habrá la posibilidad de que sean consumidos por los animales, esto es favorable para la planta, debido a que facilitarían su dispersión y asegurando su persistencia en el ecosistema al que pertenecen.

Es necesario resaltar que existen frutos que no son comestibles y que también los animales son selectivos con estos, dependiendo a su gusto. Los frutos que no llegan a ser comestibles poseen un mecanismo, en la cual consiste en adherirse al pelaje de algunos animales para poder favorecer su propagación. Asimismo, pueden utilizar esos mecanismos para moverse con la ayuda del viento, un claro ejemplo son los arces. La amplia diversidad de frutos generó muchos mecanismos que evolucionaron y permitieron que ocupen diversos hábitats.

Partes de un fruto

Las partes más importantes de un fruto son las semillas y el pericarpio. La semilla se fracciona en endospermo, embrión y tegumento; por otro lado, el pericarpio se encuentra constituido por el endocarpio, mesocarpio y epicarpio. La misión que cumple la semilla es poder ser el medio por la cual la planta pueda proliferarse a través del ecosistema que le rodea. La función que tiene el pericarpio es ser la envoltura de la semilla, con el objetivo de protegerla, facilitar su dispersión, y en ciertas especies llega a almacenar sustancias de reserva logrando que la planta se mantenga con vida. (12)

El pericarpio posee una capa interna que se encuentra muy cerca a la semilla, esta capa se denomina endocarpio y cumple la función de protección a la semilla que está dentro de ella, por lo cual su estructura llega a ser dura y leñosa. Por otra parte, el mesocarpio puede variar en su estructura, pero mayormente es grueso y carnoso, también conocido como pulpa, cumpliendo la misión de proteger al endocarpio. Mientras que el epicarpio es el encargado de brindar protección al fruto del lugar donde madura, es decir, que es la piel del fruto, este puede llegar a tener pigmentos que le dan color.

2.2.2. Ajo

Definición

Pese a que la distinción es muy polémica, la especie de ajo (*Allium sativum*) fue apiñada en la familia Liliaceae, no obstante, hoy en día se ubica en la familia Amaryllidaceae. Otro ejemplo es el de la cebolla (*Allium cepa*), el puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) y la cebolla de invierno o cebollino (*Allium fistulosum*), estas especies cumplen una función importante en la economía debido a su amplio cultivo, sin embargo, no se llega a encontrar fácilmente en la naturaleza tal especie como por ejemplo el cebollino. (13)

El ajo es una especie infértil, por su mutabilidad morfológica, fisiológica y gracias a los análisis moleculares, se presume que es oriunda de Asia Occidental y Asia media a través de su antecesor *Allium longiscupis* y que probablemente fue establecida desde allí en el Mediterráneo para luego esparcirse hacia otras zonas y ser cultivada desde hace 7 mil años. El ajo posee unas hojas delgadas, planas que pueden llegar a medir hasta 3 cm de largo. Las raíces llegan a penetrar 5 cm o más.

La cantidad de dientes que puede llegar a tener el ajo por cabeza es de 6 a 12 dientes, cada uno de estos se encuentra rodeada de una capa delgada de color blanco o rojizo, mientras que la cáscara llega a tener una segunda capa. Se puede llegar a tener una nueva planta de ajos a partir de los dientes de este mismo, gracias a que en la base poseen una yema terminal capaz de germinar. A partir de los tres meses de la recolección se presenta el cogollo, esto dependerá a su variedad y almacenamiento. Las flores del ajo son blancas y en ciertas especies el tallo origina pequeños bulbos o brotes.

Propiedades del ajo

El ajo contiene pocas calorías y muchos minerales, tales como el magnesio, selenio y vitamina C y B6. El ajo blanco puede llegar a convertirse en ajo negro, gracias a una temperatura y humedad constante, haciendo que se incremente la cantidad de polifenoles, entre otros compuestos antioxidantes. En los bulbos del ajo se encuentra el aminoácido azufrado aliina, este se encuentra en cantidades de aproximadamente el 1%, a través de la trituration se produce la alicina, llamada también disulfuro de dialilo. El característico olor del ajo es producido por la alicina y ajoenos, siendo estos sus derivados. (13)

Otra de las propiedades del ajo es la concentración de aminoácidos proteinógenos, la variedad de compuestos de azufre como el disulfuro de alilo, fructanos, inulina y minerales como potasio, calcio, manganeso y selenio, también posee vitaminas del grupo B. El ajo posee componentes antioxidantes beneficiosos para la salud. A partir de estas propiedades se dice a

lo largo de la historia que el ajo se caracteriza por usarlo como tratamiento popular para varias enfermedades

En la actualidad se encuentra evidencia científica que alienta el uso del ajo. Los estudios demostraron que los pacientes que padecen enfermedades como la hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2 e hipercolesterolemia se vieron beneficiadas en ciertas medidas de control. El ajo posee cualidades hipotensoras y reductoras de lípidos, lo que significa que mejora la circulación sanguínea ayudando a pacientes con problemas de colesterol. Por otra parte, también se considera al ajo como un fármaco antiplaquetario, por lo cual si se llega a consumir en exceso puede llegar a interrumpir con la función de los anticoagulantes de baja efectividad.

Si nos enfocamos en la dieta, se puede asegurar que la incorporación del ajo y otras especias brinda nutrición y protección al organismo, así como también ayuda a bajar el consumo de sal. Por ende, son ingredientes que abundan en la cocina mediterránea. La gran cantidad de los compuestos antioxidantes presentes en el ajo hace que se le otorgue la mayoría de beneficios en la salud. El ajo tiene un gran historial en su uso para el tratamiento popular de distintas dolencias. En la actualidad abundan información científicamente comprobada que recomienda su uso.

Los pacientes que padecen VIH demostraron tener ciertos beneficios de control gracias al consumo de ajo. Se recomienda seguir las siguientes dosis para obtener los beneficios del ajo: de 2 a 5 g (aproximadamente un diente de ajo fresco) por día, 0,4 a 1,2 g de ajo seco, 2 a 5 mg de aceite de ajo, 300 a 1000 mg de extracto de ajo, u otros tipos de usos que contengan 2 a 5mg de alicina. Los beneficios del ajo se verán resaltadas con el acompañamiento de una dieta de estilo mediterráneo y prácticas de vida saludables.

2.2.3. Desgranado

El desgranado es un proceso agrícola fundamental que consiste en la separación de los granos comestibles de la mazorca o vaina de la planta. Este proceso puede realizarse de manera manual o mediante el uso de maquinaria especializada, dependiendo de la escala de producción y los recursos disponibles. (14)

Objetivo del desgranado

El principal objetivo del desgranado es obtener granos limpios y de calidad para su posterior procesamiento, almacenamiento o consumo. Este proceso es crucial para garantizar

la calidad del producto final, ya que permite eliminar impurezas y reducir el riesgo de contaminación o deterioro de los granos. (14)

Además, el desgranado eficiente contribuye a la optimización de los tiempos de cosecha y procesamiento, lo que es esencial para mantener la competitividad en el sector agrícola. (15)

Métodos de desgranado manuales

- **Uso de los pulgares:** El método más tradicional para desgranado implica utilizar los pulgares para aplicar presión directamente sobre los granos. Este método manual se caracteriza por su alta precisión y por la baja tasa de daño que produce en los granos, permitiendo que el grano conserve su integridad para ser usado en otros procesos o para consumo. (14)
- **Fricción entre mazorcas:** En áreas rurales con limitados recursos, se utiliza un método manual que implica frotar dos mazorcas entre sí hasta que los granos se desprendan. Aunque este proceso es efectivo, depende de la habilidad del operario y, al igual que otros métodos manuales, puede ser laborioso y requerir un tiempo considerable. (14)
- **Uso de utensilios manuales:** Además de los métodos manuales directos, existen herramientas especializadas, como tablas con grapas o tablas de madera perforadas, que facilitan el proceso de desgranado. Aunque estos utensilios aumentan la eficiencia del proceso, también requieren habilidad, ya que, si no se manejan correctamente, pueden dañar los granos. (14)

Métodos de desgranado mecánicos

- **Desgranadoras eléctricas:** Las desgranadoras eléctricas son máquinas que operan con motores eléctricos y automatizan el proceso de desgranado. Este tipo de maquinaria aumenta la eficiencia, reduce el tiempo de trabajo y minimiza la intervención manual, lo que resulta en un proceso mucho más rápido y uniforme, ideal para la producción a gran escala.
- **Desgranadoras manuales con mecanismos rotativos:** Las desgranadoras manuales con mecanismos rotativos utilizan la rotación para separar los granos de la mazorca. Estos dispositivos, aunque manuales, son más eficientes que los métodos completamente manuales, ya que permiten realizar el desgranado de manera más rápida y con mayor uniformidad, sin necesidad de gran intervención humana.

2.2.4. Máquina desgranadora

Definición

Una máquina desgranadora es un dispositivo diseñado para separar granos o semillas de sus vainas o cáscaras de manera eficiente y rápida. Este tipo de máquina es ampliamente utilizado en la agricultura y la industria alimentaria para procesar una variedad de cultivos, como maíz, arroz, café, soja, guisantes y muchos otros. La función principal de una desgranadora es facilitar la extracción de granos de forma manual, lo que sería una tarea laboriosa y lenta si se hiciera a mano. (14)

El funcionamiento básico de una máquina desgranadora implica alimentar el material cosechado, que contiene granos y cáscaras, hacia un mecanismo de separación. Este mecanismo puede variar según el diseño de la máquina, pero generalmente involucra una combinación de fuerza mecánica, vibraciones y/o corrientes de aire para separar los granos de las cáscaras. El resultado es que los granos limpios y listos para su procesamiento o consumo se separan de las vainas o cáscaras, que a menudo se desechan o se utilizan para otros fines, como alimento para el ganado o para la producción de compost.

La importancia de las máquinas desgranadoras radica en su capacidad para acelerar el proceso de procesamiento de cultivos, aumentar la eficiencia y reducir la mano de obra necesaria. Esto es especialmente valioso en áreas donde se cultiva y procesa una gran cantidad de granos y semillas. Además, las desgranadoras contribuyen a reducir el desperdicio de alimentos al garantizar que los granos se recojan de manera efectiva y se utilicen en la producción de alimentos y otros productos. Estas máquinas facilitan la producción de alimentos de manera más eficiente y sostenible.

Tipos de desgranadoras a partir del material

Desgranadoras de maíz:

Estas máquinas están diseñadas específicamente para separar los granos de maíz de las mazorcas. Funcionan alimentando las mazorcas de maíz en un conducto donde se encuentran cilindros o discos giratorios que desgarran y separan los granos de las mazorcas. Los granos se recogen en un recipiente separado, mientras que las mazorcas vacías salen por otro conducto. Existen también alternativas que utilizan cepillos o cadenas ancladas a un eje, que girando, golpear los granos, separándolos del fruto; aunque esta propuesta suele tener una baja eficiencia. (15)

Desgranadoras de arroz:

Estas máquinas están diseñadas para eliminar la cáscara externa o la cascarilla del arroz. El proceso generalmente implica alimentar granos de arroz no procesados en una cámara donde

se utilizan rodillos o muelas abrasivas para eliminar las cáscaras exteriores. Los granos de arroz pulidos resultantes se separan de las cáscaras, que se descartan. Los rodillos y demás elementos utilizados deben regularse de tal modo que al entrar en contacto con el arroz, no lo fracturen, sino solamente quiten la cáscara que se desea extraer. (15)

Desgranadoras de legumbres:

Estas máquinas se utilizan para separar los granos de las vainas de legumbres como guisantes, lentejas o frijoles. Usualmente, los granos y las vainas se alimentan en una cámara donde una serie de discos o tambores giratorios separan los granos de las vainas mediante fricción y presión. Los granos se recolectan mientras que las vainas se eliminan por separado. Estas máquinas requieren de una calibración muy precisa, ya que la cáscara de las legumbres suele ser delgada, aunque difícil de romper debido a su humedad. (15)

Desgranadoras de café:

Estas máquinas se utilizan en el procesamiento de granos de café para separar los granos de café de sus cáscaras o pulpas. El proceso implica el uso de rodillos o discos giratorios que rompen y separan la pulpa de los granos de café. Los granos limpios se recogen y las cáscaras se eliminan. A partir del diseño pueden utilizar agua para dejar que la cáscara se separe del tambor donde realiza el procedimiento, aunque también existen algunos modelos donde no se requiere de agua, aplicando una camisa de acero inoxidable. (15)

Tipos de desgranadoras a partir del mecanismo

Desgranadores manuales:

Una desgranadora manual es una herramienta simple diseñada para separar los granos de las vainas o cáscaras de manera manual, sin necesidad de electricidad u otras fuentes de energía. Aunque el proceso es más lento y requiere más esfuerzo físico que el uso de desgranadoras mecánicas o eléctricas. Por lo general, consta de una superficie plana o una serie de palas y dientes que permiten separar los granos de las vainas o cáscaras. Una manivela se utiliza para operar la máquina y aplicar la fuerza necesaria para separar los granos de las vainas. (15)

Los desgranadores manuales son útiles en situaciones donde no se dispone de acceso a maquinaria o se necesita procesar cantidades pequeñas de granos. Es importante destacar que los desgranadores manuales son adecuados para cantidades pequeñas de granos y son ideales en situaciones donde no se dispone de acceso a maquinaria más grande. Aunque requieren más esfuerzo manual y tiempo, son una herramienta valiosa en la agricultura a pequeña escala y en comunidades rurales donde la tecnología más avanzada no está disponible. (15)

Desgranadoras mecánicas:

Una desgranadora mecánica y automatizada es una máquina diseñada para separar granos de sus vainas o cáscaras de manera eficiente y rápida. Estas máquinas son ampliamente utilizadas en la industria alimentaria y agrícola debido a su capacidad para procesar grandes cantidades de granos de manera eficiente. Es posible hacer uso de cintas transportadoras que pueden mover el material a través de una serie de tamices o cribas que separan los granos de acuerdo con su tamaño, incluso que transporten el fruto para que el procedimiento se complete. (15)

Este proceso suele implicar una serie de componentes mecánicos diseñados para separar los granos de las vainas o cáscaras. Los componentes pueden variar según el diseño específico de la máquina, pero algunos ejemplos comunes incluyen rodillos, tambores giratorios, cintas transportadoras y ventiladores. Estos componentes mecánicos aplican fuerza y movimiento para separar los granos de las vainas o cáscaras. Por ejemplo, los rodillos o tambores giratorios pueden aplastar o frotar las vainas, liberando los granos. (15)

Partes de una desgranadora:

La elección del tipo de máquina desgranadora dependerá del cultivo o grano que se esté procesando y de los volúmenes de producción requeridos. Estas máquinas son esenciales en la agricultura y la industria alimentaria, ya que simplifican el proceso de extracción de granos de manera eficiente y uniforme. Las partes de una máquina desgranadora pueden variar según el diseño y el tipo de cultivo que procesan, pero algunas partes comunes incluyen:

- Tolva de alimentación: Es la entrada por donde se introduce el material a procesar en la máquina.
- Mecanismo de separación: Esta parte varía según el tipo de desgranadora y puede consistir en rodillos, discos giratorios, tambores o muelas abrasivas que realizan el proceso de separación.
- Recipiente de recolección: Donde se recogen los granos o semillas limpios después de la separación.
- Salida de desechos: Por donde se eliminan las cáscaras, vainas u otros residuos que se separan durante el proceso.
- Sistema de alimentación y motor: Proporciona la energía necesaria para alimentar el material y hacer funcionar el mecanismo de separación.

2.2.5. Diseño mecánico

Definición

Cuando uno habla de diseño mecánico hace referencia a la metodología que existe detrás del procedimiento para generar un nuevo producto o servicio a partir de la ingeniería mecánica. Dentro de la ingeniería mecánica, los elementos se estudian a partir del estudio de principios físicos, térmicos, mecánicos, entre otros. Es común considerar que este campo estudie mecanismos e instalaciones, sin embargo, su base se encuentra conectada a la transferencia de energía, y como se aprovecha de la misma para conseguir automatizar o mejorar procesos productivos.

El diseño mecánico responde a la definición de un tipo de diseño que comprueba sus actividades a partir de normas y estándares sobre elementos que transmiten o transforman energía. Para esto, se vale de ecuaciones y funciones matemáticas con las que se consigue caracterizar ciertos fenómenos físicos, por medio de los cuales, uno alcanza a comprobar que los elementos diseñados no habrán de fallar. Cuando se estudia un elemento por medio del diseño mecánico es importante analizar el sistema donde habrá de funcionar, así como la resistencia del material del que se compone. (16)

Este diseño puede evaluar formalidades no solamente orientadas hacia su campo, pues como sucede con otros enfoques de diseño, también debe de considerar aspectos económicos y ecológicos. Cuando se analiza un caso de diseño, es posible encontrarse con elementos que requieren un estudio propuesto desde diferentes perspectivas de la física, como comprobar un elemento a partir de diferentes tipos de esfuerzos. Además, también es importante considerar los procedimientos de fabricación y los materiales a usar, puesto que depende de estos el coste final del producto. (17)

El diseño parte de un análisis de un problema específico, por lo que comúnmente se cuenta con ciertos parámetros iniciales sobre los cuales trabajar. Dentro de estos parámetros, es posible considerar propuestas y objetivos que el elemento mecánico debe de cumplir, por lo que es necesario considerar esto para el diseño. Una vez determinados los factores determinantes para el diseño de la pieza, se podrá comprobar de manera matemática que el elemento soporte los esfuerzos necesarios, además de considerar criterios normalizados bajo normas internacionales. (5)

Es posible hacer uso de diferentes metodologías para el diseño de una pieza mecánica, ya que estos enfoques están orientados a diseñar un producto a partir de ciertos puntos de vista. Sin embargo, si se considera el diseño mecánico, es necesario conocer ciertos indicadores como la geometría de la pieza, o su funcionalidad, por ejemplo. Es posible que el diseñador disponga de ciertos enfoques o metodologías para completar este proceso, mientras que se respeten las variables establecidas previamente para la pieza o el sistema que se diseña.

Teoría de diseño

Teoría de diseño para el sistema para desgranar:

Las tecnologías que hoy en día se aplican para las máquinas desgranadoras dependen directamente del cultivo que se desee trabajar, por lo que las alternativas son muy variadas. Aunque es cierto que existen ciertas soluciones más baratas que otras, este costo puede influir en el mantenimiento del equipo, así como de la eficiencia mecánica de los elementos que se usen. Las partes mecánicas más comunes son el uso de rodillos, puesto que resulta ser un elemento fácil de fabricar, así como de mantener, estos elementos pueden ser de acero o incluso de algún polímero flexible. (18)

Para el diseño de este sistema es indispensable conocer la magnitud de producción que se desea alcanzar, además del cultivo, o fruto, con que se trabaje. De este modo se podrá determinar la cantidad de fuerza necesaria que requiere los elementos de trabajo, que, en el caso de los rodillos, habrán de requerir una fuerza para comprimir el fruto hasta desgranarlo, sin que este se dañe. Ciertas condiciones que estos sistemas requieren es que no comprometan la pulpa de la fruta, o que de algún modo puedan quitar los jugos del fruto, por lo que conocer la fuerza precisa se vuelve imprescindible.

Teoría de diseño para el sistema de transmisión de potencia:

Los sistemas de transmisión de potencia se diseñan a partir de la necesidad de transferencia de energía desde una fuente, hasta un elemento de trabajo. En muchos casos es necesario disminuir o aumentar las revoluciones por minuto, ya sea debido a que se precisa de un mayor torque para el trabajo o para aumentar la producción. Estos elementos de transferencia de potencia solicitan que el diseñador conozca ciertos parámetros recomendables de uso, de tal modo que la transferencia sea lo más eficiente posible, por lo que se puede considerar el uso de fajas, cadenas, entre otros. (5)

Para la selección de estos componentes se define el tipo de transferencia a partir de factores como las revoluciones por minuto y la potencia de diseño a partir de gráficos que cada catálogo posee. Después es posible obtener información con respecto a las piezas necesarias, como por ejemplo el tipo de faja o cadena, así como el diámetro de las poleas y el material de las mismas. En muchos casos es necesario comprobar la estabilidad estática o dinámica de los elementos, por lo que será necesario comprobar que las piezas no fallarán cuando la máquina entre en funcionamiento.

Teoría de diseño para el sistema de transmisión de soporte:

Un sistema de soporte no es más que una estructura que sirve de asiento para los otros sistemas de la máquina, aunque también es posible considerar el bastidor de una máquina dentro de esta descripción. Comúnmente se determinan los otros sistemas antes de realizar el cálculo o el diseño de este sistema, aunque es posible proponer una carga previa para acelerar la selección de ciertos elementos. Cabe resaltar que este sistema soporta cargas de vibraciones, por lo se necesita comprobar que el diseño no entrará en resonancia debido a su funcionamiento. (19)

Al conocer las cargas se podrá realizar una comprobación estática del sistema, para determinar que este no vaya a fallar debido a su propio peso, aunque también es cierto que existe un componente dinámico debido a los elementos móviles. Es puede examinar el sistema para observar la deformación que lo elemento sufren debido a las cargas, que es importante cuando se trata de elementos rotativos. Además, también es esencial considerar las uniones que se considera para el sistema, donde se pueden encontrar uniones permanentes y no permanentes.

Diseño asistido por computadora

Al momento de diseñador, se pueden hacer uso de diferentes herramientas, como es el caso de ciertos programas informáticos que puedan facilitar tanto el cálculo como la creación de sólidos a computadora. Estas herramientas de CAD, se pueden aplicar para diferentes fines, desde una programación para la resolución de modelos matemáticos, hasta incluso, obtener simulaciones de ciertas situaciones que ocurren. Para aplicar estas herramientas es necesario que el diseñador conozca el uso, así como determinar previamente ciertas dimensiones que la máquina habrá de poseer. (20)

Existen diferentes programas que pueden aplicarse para este fin, con respecto al software orientado al CAD, la mayoría, permite realizar un sólido y consecuentemente planos con respecto al mismo. Los sólidos obtenidos son resultado de una serie de procesos que, a partir de un bosquejo, se consiguen extruir y cortar hasta obtener el producto requerido. Finalmente, se pueden aplicar conocimientos de planos mecánicos para determinar las dimensiones y las tolerancias de la pieza, aunque es siempre recomendable seguir los estándares y la normas.

Al trabajar con este tipo de softwares, es posible encontrar ciertos inconvenientes, y el principal sería que requieren de una preparación en su entorno. Aunque también es posible aplicar ciertos conocimientos sobre otros programas cuando las interfaces son similares. De cualquier otro modo, si uno desea aplicar el uso de CAD requiere, además, de adquirir una licencia, por lo que podría resultar ser demasiado caro. Sin embargo, es resaltante las

facilidades que estos programas ofrecen al momento de diseñar un elemento, e incluso de optimizarlo.

2.2.6. Metodología de diseño centrado en el usuario

Definición

El diseño centrado en el usuario DCU es un enfoque multidisciplinar para el desarrollo de productos basados en las necesidades humanas, que busca entender mejor al usuario objetivo y sus actividades, permitiendo diseñar, evaluar y mejorar las propuestas de diseño, a través de todo el proceso de diseño y con el propósito de crear productos más útiles y usables. (23)

Proceso de diseño centrado en el usuario

El proceso básico de diseño centrado en el usuario incluye los siguientes pasos:

- Investigación: Se recopila información sobre los usuarios, sus necesidades, expectativas y problemas. Esto se puede hacer a través de entrevistas, encuestas, observación, etc.
- Definición del problema: Con base en la investigación, se define claramente el problema que el producto debe resolver, enfocándose en las necesidades del usuario.
- Generación de ideas: Se crean diferentes soluciones o conceptos para abordar el problema identificado, utilizando la creatividad y la innovación.
- Prototipado: Se desarrolla un prototipo o modelo inicial del producto. Este prototipo puede ser simple y servir para probar ideas rápidamente.
- Verificación de cumplimiento de necesidades: El prototipo se prueba con los usuarios reales para obtener su retroalimentación. Esto ayuda a identificar problemas, mejorar el diseño y garantizar que el producto sea efectivo.
- Iteración: Con la retroalimentación de los usuarios, se hacen mejoras y ajustes al diseño, repitiendo el ciclo de pruebas y mejoras hasta lograr un producto que satisfaga las necesidades del usuario.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

El método de investigación aplicado en este estudio fue el método deductivo-inductivo, debido a la necesidad de combinar el análisis teórico con la información obtenida del cliente para el diseño de la máquina desgranadora. El método deductivo se emplea para aplicar las teorías de diseño existentes a las partes y componentes de la máquina, comenzando desde principios generales para llegar a conclusiones específicas sobre los elementos del sistema. Esto permite realizar un diseño fundamentado en principios establecidos de ingeniería y tecnología.

Por otro lado, el método utilizado fue el inductivo, al considerar los requerimientos específicos proporcionados por el cliente. Este enfoque permite que la investigación se base en la observación y análisis de los datos recogidos, con el fin de generar conclusiones sobre cómo diseñar los componentes de la máquina de acuerdo a las necesidades particulares de los productores de ajo en el valle del Mantaro.

El uso de este enfoque combinado, deductivo-inductivo, permite un diseño holístico, fundamentado tanto en teorías generales de diseño como en la información específica recabada, lo que asegura que la máquina cumpla con los requisitos técnicos y funcionales definidos por el cliente.

Si el enfoque proviene del tipo de análisis sobre el conjunto de información, Hernández et al. (24) define que existen métodos deductivos, inductivos, entre otros. Si consideramos un método deductivo, podremos partir de las teorías de diseño propuesta para dimensionar las partes de la máquina. Mientras que utilizar un método inductivo, considera analizar la información impartida por el cliente para diseñar cada uno de los componentes. Así, se dispone un método deductivo-inductivo, pues se utilizan patrones específicos y teorías para el diseño del producto.

3.1.1. Tipo de la investigación

Hernandez et al. (24) explican que el tipo de investigación depende del enfoque adoptado para abordar el problema, así como de la capacidad del investigador para alcanzar los objetivos planteados. El alcance de la investigación, por lo tanto, es un aspecto clave para determinar qué tipo de estudio se debe realizar, considerando la relevancia del tema y los datos a los cuales se les da seguimiento. Es fundamental que el investigador reconozca la magnitud y la trascendencia de su investigación.

En este contexto, si se emplea un enfoque de investigación aplicada, el estudio parte de la observación de un evento específico, en el cual se identifican y describen las características de sus componentes. A partir de esta observación, el investigador puede analizar el comportamiento tanto de las partes como del conjunto, permitiendo, desde una perspectiva sistémica, comprender la relación entre los elementos. La investigación aplicada tiene como objetivo resolver problemas prácticos y se enfoca en el análisis y diseño de soluciones para cuestiones concretas.

Es importante destacar que este tipo de investigación no busca solo analizar teóricamente el problema, sino generar soluciones aplicables. En este caso, el diseño de la máquina desgranadora es un claro ejemplo de investigación aplicada, ya que se basa en la observación de las necesidades del cliente y la creación de una solución técnica específica para un problema real.

3.1.2. Nivel de la investigación

Hernández et al. (24) definen la investigación básica como aquella orientada a generar teorías y conocimiento fundamental. En este tipo de investigación, el objetivo es producir nuevos conocimientos sin un interés inmediato de aplicación práctica. En este contexto, se destacan los estudios descriptivos, que se enfocan en comprender y detallar un fenómeno a través de la observación de sus características y comportamientos principales.

La investigación descriptiva tiene como propósito la observación minuciosa del fenómeno estudiado, sin intervenir o influir en su desarrollo. Este enfoque se limita a la descripción del problema, lo que permite al investigador comprender sus componentes y cómo se relacionan entre sí, pero sin modificar el entorno o las variables observadas.

Para la realización de una investigación descriptiva, es esencial que el investigador cuente con un conocimiento previo sobre el fenómeno que desea estudiar. Esto le permitirá interpretar correctamente los datos obtenidos y evitar posibles sesgos en la recolección de información. Además, es fundamental realizar una fase exploratoria que permita familiarizarse con el contexto y la naturaleza del problema antes de realizar el análisis formal.

De acuerdo con Hernández et al. (24), con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, objetos, procesos o cualquier fenómeno objeto de análisis.

En este caso, el estudio utiliza un enfoque de investigación básica descriptiva para abordar el diseño de la máquina desgranadora, analizando detalladamente la necesidad de una máquina

que cumpla con los requerimientos establecidos para su funcionamiento y producción en el valle del Mantaro.

3.1.3. Población y muestra

Población:

Hernandez et al. (24) expone que, la población, es un conjunto de personas o sucesos que presentan una característica de interés para un investigador y pueden ser examinados. Se pueden incluir diversos tipos de sujetos en las poblaciones de estudio siempre que el parámetro en estudio para todos sea el mismo. En consecuencia, se pueden incluir en una población grupos de grupos que están separados en función de parámetros compartidos y cuyos rasgos observables no tienen diferencias grandes.

Si no se estiman ciertos requisitos para investigar una población, se puede conseguir que el conjunto de sujetos no represente correctamente una población válida estadísticamente hablando. Es factible hacer un análisis en relación con una variable que incluya una población considerable, que podría provenir de varias ubicaciones geográficas o temporales. Es crucial garantizar que los datos recopilados sobre estas poblaciones puedan compararse y contrastarse utilizando técnicas estadísticas o cualitativas, es decir, los datos necesitan poseer la misma naturaleza para poder ser analizados.

Un investigador puede delimitar la población de su estudio a partir de su capacidad, del alcance o inclusive de la cantidad de recursos con los que disponga. Una investigación de gran envergadura podría requerir de diversos investigadores, caso en el cual, se podría presentar un sesgo debido a dicha cantidad de observadores. Aunque es posible estimar ciertos tratamientos sobre la recolección de datos para permitir que diversos testigos puedan recopilar los datos necesarios, también es importante considerar otros parámetros, como cronológicos o geográficos.

Criterios de inclusión

Función principal: Las soluciones evaluadas tienen como objetivo principal dividir los bulbos de ajo en los bulbillos más pequeños sin dañar la pulpa de estos frutos, además, esta acción debe de utilizar una potencia de manera eficiente.

Configuración de componentes: Los componentes utilizados en el diseño de la máquina deberán transmitir y aplicar de manera eficiente la potencia suministrada por el sistema de transmisión de potencia hasta la herramienta de trabajo. La configuración dimensional de estos elementos deberá permitir procedimientos de mantenimiento, así como evitar que los elementos se dañen por impacto.

Materiales y procesos aplicados: Los materiales y los procesos de fabricación deberán encontrarse en el mercado nacional del lugar donde se diseña la máquina, además, se habrá de considerar ciertos componentes que puedan ser reemplazados para el caso en que una pieza no se pueda adquirir. Los precios y adquisición de los componentes y procesos de fabricación habrán de estar acorde al año 2023.

Criterios de exclusión

Función principal: No se tomará en cuenta herramientas de trabajo que al separar los bulbillos del bulbo principal pudieran dañar la pulpa debido a la excesiva fuerza con la que realizan esta acción o a la superficie de las mismas. Además, las alternativas deberán cumplir con la función de manera eficiente.

Configuración de componentes: Se consideran elementos que trabajen de manera eficiente para los requerimientos especificados, por lo que la selección de las piezas en los sistemas de trabajo y transmisión de potencia no podrán utilizar elementos que comprometan el estado de la pulpa del fruto del ajo. La disposición de los elementos será una medida final luego de la selección de las piezas.

Materiales y procesos aplicados: Los materiales y procesos aplicados no podrán exceder el presupuesto que maneja la empresa, ni tampoco exceder valores de compra de máquinas similares con las que el mercado trabaja a fecha de 2023. Los componentes cuya adquisición presenten dificultades no deberían ser tomados en cuenta.

Muestra:

Hernandez et al. (24) propone que una muestra es aquella parte de la población universo con la que se lleva a cabo los procedimientos de una investigación. La necesidad de recurrir a la selección de una muestra se apoya en la premisa de una falta de recursos para alcanzar un estudio sobre una población entera. Si bien es cierto que una evaluación a todos los sujetos de una población podría disminuir casi en su totalidad los sesgos de aleatoriedad, esto implica realizar el uso de una gran cantidad de esfuerzos por parte del investigador.

Entonces, si uno espera realizar una investigación, que sea válida, es posible hacer uso de la selección de una muestra que tenga las características planteadas. A esto se le denomina una selección de muestra estadísticamente válida, aunque también es cierto que existen casos donde es posible seleccionar una muestra de manera intencional. Estos casos de selección, estadística e intencional no pueden ser evaluados de la misma manera puesto que la naturaleza de la selección de la muestra para estos casos lo impide.

Canal Díaz (25) explica la importancia de evitar sesgos al realizar el muestreo de una población, puesto que esto influye de manera directa en la veracidad final de los datos de la

investigación. Cuando existe un sesgo de muestreo dentro de una selección es posible que ciertos elementos poseen una mayor probabilidad de ser escogidos para participar dentro del grupo de estudio. Esto se podría condicionar a partir de una consecuencia de una mala aleatoriedad en la selección, haciendo que la muestra no sea estadísticamente representativa del grupo inicial, es decir, de la población.

Por otro lado, también es posible realizar una investigación sobre aquellas poblaciones de las cuales no se espera una validez estadística. Esto principalmente se debe a que el planteamiento del estudio no pretende analizar el comportamiento estadístico de una variable ni responder, de manera inferencial, alguna hipótesis. Una investigación que no requiere de una validez estadística puede apoyarse sobre la naturaleza de sus variables, siendo estas, cualitativas, por ejemplo. En otros casos, es posible que, a pesar de tener datos numéricos, se haga uso de muestreos no estadísticos.

Tipo de muestreo

El tipo de muestreo es la herramienta que un investigador utiliza para proceder con la selección de una muestra a partir de la población universal del estudio. Debido a esto, es posible condicionar ciertos factores, inicialmente propuestos para la muestra, de tal modo que el tipo de muestreo se encuentre orientado hacia dicho procedimiento de selección. Entonces, se puede considerar que existe tipos de muestreos estadísticos y no estadísticos, ya que la dependencia al uso de los tratamientos de análisis de datos condiciona el tipo de muestreo.

También es posible considerar una clasificación con respecto a los tipos de muestreo orientados a la aleatoriedad que conlleva la selección de los sujetos que habrán de pertenecer al grupo de muestra. Esto podría dar paso a considerar muestreos donde no existan procedimientos de aleatoriedad para la selección de los casos a estudiar, lo que significa que es posible hacer una selección intencional de los sujetos de estudio. Es factible realizar este último mecanismo de selección de manera viable para realizar un estudio de validez científica.

3.1.4. Diseño metodológico de la investigación

Hernández et al. (24) describe una propuesta dicotómica para la selección de un diseño de investigación basado en el tipo de intervención del investigador sobre los eventos que analiza. Es decir, se considera un corte de diseño considerando si el investigador propone intervenir en el fenómeno que está estudiando, de tal modo que se puedan obtener comportamientos diferentes para grupos de datos diferentes. Esto indica que es posible utilizar un diseño que manipule las variables de estudio, o por el contrario, hacer uso de un diseño que no lo haga.

Cuando se habla de manipulación de variables, se plantea el uso del diseño experimental, que plantea la intervención del investigador en el comportamiento de la variable independiente. Entonces, cuando la variable independiente es modificada, los efectos de esta acción se ven reflejados en las variables dependientes, consiguiendo analizar el comportamiento de estos nuevos datos. Se recomienda utilizar este diseño cuando el investigador posee la capacidad y los recursos para, no solamente observar el fenómeno de investigación, sino también influir en él.

El diseño no experimental, por otro lado, no necesita que el investigador tome otra acción adicional que no sea la observación del fenómeno de estudio, por lo que su influencia en la recolección de datos queda vetada. Se puede decir que este diseño limita la participación del investigador con las variables, independientes y dependientes, puesto que se requiere de la menor cantidad de sesgos posibles. Estos sesgos en la recolección de datos no están limitados a la intervención del autor, sino también a otras variables que podrían existir en el ambiente.

Espinoza Montes (26) comparte esta concepción con respecto a la teoría de diseño de investigación, utilizando modelos de agrupación bastante similares, aunque orientando el enfoque hacia la investigación en ingeniería. La intervención del investigador es posible cuando se determina previamente que esto es permitido, considerando que el análisis proviene de la experimentación. Por otro lado, cuando solamente se aplican procesos de observación y descripción, el investigador habrá de limitarse a advertir los elementos que intervienen en un fenómeno de estudio o también de la relación de estos.

El modelo advertido por Espinoza Montes (26) para las propuestas de diseño descriptivo se expresa mediante:

$$X \rightarrow O$$

Donde:

X: Diseño de una máquina desgranadora para obtener los bulbillos de la cabeza de ajo en Huancayo.

O: Observación.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Técnicas de recolección de datos

Espinoza Montes (26) engloba las técnicas de recolección de datos a partir de la procedencia de estas, considerando que éstas, se recogen de manera empírica o documental. Así, el autor, designa a estas técnicas a partir de la misma fuente, por lo que una de ellas plantea

el uso de datos que provienen de fuentes externas como datos históricos, mientras que la otra plantea el uso de la observación como herramienta principal. Se propone que la recolección de estos datos debe estar dado por medio de procedimientos de validación adecuados.

Cuando se trabaja aplicando la técnica documental, un investigador recopila información por medio de registros de datos provenientes de investigadores externos, e incluso, pudiendo hacer un llamado a uno mismo dentro de una cita. Estos registros poseen una validez que puede apoyarse del renombre del investigador, así como del recurso externo que se les haya dado a los datos presentes en ella. También es posible considerar que el uso de estos datos puede ser comprobado por medio de la observación, que en algunos casos conlleva a hacer uso de una medición empírica.

Al hablar de la técnica empírica, se trata del método utilizado para registrar el comportamiento de una variable por medio de la observación, utilizando las herramientas adicionales que esto conlleva. Es importante resaltar que la validez de estos datos depende de la capacidad del investigador para registrar los eventos de su entorno. Además, es posible que existan ciertas variables que el investigador no pueda controlar, por lo que el riesgo de que ciertos sesgos ocurran en la toma de datos es una situación que se debe prevenir.

3.2.2. Instrumentos de recolección de datos

Para Espinoza Montes (26), los instrumentos que se utilizan para recolectar datos son unos elementos, que pueden ser objetos reales o virtuales, utilizados para registrar ciertas características de los sujetos de estudio. Es así como un instrumento puede servir para registrar diversas dimensiones como aspectos del mundo físico o parámetros del comportamiento de una variable. Un instrumento necesita poseer una escala para que este registro tenga un valor válido por el cual pueda ser comparado con otros datos registrados por el investigador.

Los instrumentos de recolección de datos son básicamente elementos que faciliten, mejoren o permitan el registro de un parámetro de la variable de estudio. Existen múltiples instrumentos que se usan en muchos campos de las ciencias, siendo instrumentos reales, como termómetros, o encuestas diseñadas por un investigador, para medir el nivel de estrés de una persona. Es importante resaltar que un instrumento es un objeto creado por el humano, por lo que las escalas bajo las cuales se registra un dato provienen del convenio de la comunidad científica.

Para los instrumentos que registren escalas de dimensión de convenio, como peso, temperatura, entre otros aspectos físicos; existe la necesidad de calibración para que los datos sean válidos. Mientras que, para otras herramientas, como encuestas, por ejemplo, su

validación se apoya sobre la ratificación de un investigador de experiencia. En ambos casos se habla de una prueba que debe de rendir la herramienta de recolección para que los datos que dicho instrumento registre puedan ser considerados legítimos para un tratamiento de análisis de datos.

3.2.3. Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de análisis de datos permiten al investigador responder a las hipótesis planteadas al inicio de una investigación, luego de realizar ciertos tratamientos por medio de los cuales se puede inferir una respuesta. Los modelos bajo los cuales se puede aplicar una técnica depende de la naturaleza de los datos estudiados, considerando que estos serán: cuantitativos o cualitativos. Es ciertos que algunas herramientas pueden usarse en ambos casos, aunque también existen algunas que se limitan a uno de ellos, e incluso limitándose al método de la investigación.

Para analizar un conjunto de datos cuantitativos, es posible utilizar herramientas como la estadística descriptiva e inferencial para ordenar los datos y responder a las hipótesis planteadas. La estadística descriptiva como tal sirve para facilitar el entendimiento de datos cuantificables, mientras que la estadística inferencial provee de funciones matemáticas para analizar conjuntos de datos y determinar su comportamiento. Estas dos herramientas son las principales y más utilizadas para tratar datos cuantitativos, aunque también se puede aplicar análisis de casos para estudios puntuales.

Con respecto a los datos cualitativos, su análisis puede provenir de diversas perspectivas bajo las cuales, el investigador plantee su evaluación. Por ello, es que para estudiar estos conjuntos de datos es necesario desmenuzar las características de estos elementos por medio de la observación. Es común aplicar un enfoque inductivo para el análisis de estos datos, ya que se registran casos únicos que pueden estudiarse, considerándoseles como premisas, de tal modo que se pueda comprender la acción de las variables en entornos similares.

3.2.4. Diseño metodológico

Comprensión del usuario y su contexto

El consumo de ajo en Perú ha experimentado un crecimiento en los últimos años debido a su importancia en la gastronomía nacional y su uso como complemento nutricional. Según un estudio realizado en la ciudad de Ayacucho, se ha registrado un consumo de 18 kg de ajo por persona al año (27). La demanda interna se ha incrementado en diversas regiones del país, lo

que refleja una tendencia positiva hacia su consumo, impulsada principalmente por la población joven y las familias que aprecian las propiedades saludables del ajo (28).

A pesar de la disminución en las exportaciones durante el inicio de 2024, hubo una recuperación parcial en diciembre del mismo año, con exportaciones que alcanzaron las 2.614 toneladas, lo que representó un aumento del 19% en volumen y un 62% en valor en comparación con el mismo mes en 2023 (29). Este crecimiento se debe a la reactivación de mercados clave, como el de México, que sigue siendo el principal destino para el ajo peruano. En enero de 2025, las exportaciones registraron 501 toneladas por un valor de US\$ 878,000, representando una caída de 36% en volumen y 34% en valor con respecto al mismo mes del año anterior (30).

La exportación de ajo ha tenido un impacto económico considerable en las regiones productoras de Perú, especialmente en el valle de Mantaro y otras áreas agrícolas del país. A pesar de los altibajos en las cifras de exportación, la producción y venta de ajo han permitido mejorar los ingresos de los agricultores y han facilitado la creación de empleo en las zonas rurales.

Relevancia del diseño:

El diseño de una máquina desgranadora para ajo es de gran importancia, especialmente debido a la creciente demanda y consumo de ajo en mercados internacionales. En regiones agrícolas de alto rendimiento como el valle del Mantaro en Perú, donde el ajo se cultiva extensamente, los métodos tradicionales de desgranado han permanecido mayormente inalterados. Este hecho ha generado una serie de inconvenientes para los productores locales, tales como la limitada capacidad de producción y un alto nivel de desperdicio, afectando no solo la eficiencia del proceso, sino también los costos operativos asociados.

Identificación de necesidades del usuario: El proceso manual de desgranado de ajo depende de la fuerza física del operario y es extremadamente intensivo, lo que limita la cantidad de ajo que puede procesarse y genera un desperdicio considerable. Además, este método requiere una intervención constante, lo que incrementa los costos en tiempo y materiales. Aquí es donde el diseño centrado en el usuario tiene un impacto importante, al reconocer que los agricultores del valle del Mantaro requieren una solución que no solo aumente la productividad, sino que también sea fácil de operar y mantenga la calidad del producto final. Los usuarios se beneficiarían de una máquina que optimice el proceso sin comprometer la integridad del ajo.

Ventajas de la máquina desgranadora: A diferencia de los métodos manuales y semiautomáticos, el diseño de esta máquina desgranadora pone al usuario en el centro de la solución. Al permitir un aumento significativo en la capacidad de producción, alcanzando hasta

200 kilogramos por hora, la máquina no solo reduce el tiempo de trabajo, sino que también libera a los operarios de la carga física, permitiéndoles enfocarse en tareas de mayor valor añadido. Este aumento en la capacidad de producción es esencial para los agricultores que buscan satisfacer la creciente demanda del mercado sin perder calidad ni incrementar los costos de operación. El uso de tecnologías de compresión, mediante rodillos recubiertos de caucho, ha sido diseñado específicamente para ofrecer un control preciso de la fuerza aplicada, evitando el daño a los dientes de ajo. Este es un aspecto clave para los usuarios, ya que la calidad del ajo es crucial para su comercialización. A diferencia de los métodos manuales, que no permiten controlar la fuerza aplicada, la máquina asegura que los dientes de ajo sean separados sin fracturas, lo que mejora la eficiencia del proceso y reduce el desperdicio.

Adaptación local y rentabilidad a largo plazo: La máquina ha sido diseñada teniendo en cuenta las características específicas del ajo cultivado en el valle del Mantaro, como el tamaño y la textura de la cáscara. También se han considerado las condiciones operativas de la región, como la disponibilidad de materiales y los costos locales de producción. El uso de materiales como el acero ASTM A36 y componentes estándar disponibles localmente ha sido una decisión clave para mantener los costos de fabricación y mantenimiento bajos, asegurando que los agricultores locales puedan acceder a una solución económica que aumente la rentabilidad. Además, la máquina ha sido diseñada para integrarse perfectamente al entorno agrícola de la región, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio y la naturaleza de las operaciones agrícolas en el valle del Mantaro. Este enfoque asegura que la máquina sea fácil de instalar, utilizar y mantener, lo que permite a los usuarios adaptarse rápidamente a la nueva tecnología sin enfrentar obstáculos operativos.

Estado de la tecnología:

A lo largo de la historia, el ser humano ha recolectado frutos, algunos de los cuales requieren pelarse y desgranarse para poder ser de uso, por lo que estos procesos son antiguos. El proceso inicial, y el más simple, consiste en que sea el hombre quien se encargue de ejecutar estos procedimientos, utilizando las manos, y consecuentemente, valiéndose de alguna herramienta para lograr un mejor resultado. Algunas herramientas antiguas para lograr separar algunos frutos eran piedras talladas en forma de cuchillo, o ramas de árboles con forma alargada y una punta afilada.

Si nos concentramos en los métodos para desgranar las cabezas de ajo, por mucho tiempo, los mismos utilizan las manos para separarse, o en algunos casos, la acción de un golpe para fracturar la piel que los une. Esta opción ha sido bastante usada, a expensas de que algunos

dientes puedan fracturarse, debido a que no existían herramientas adecuadas, por lo que todo dependía de la capacidad del trabajador. Conforme se fue avanzando, los procesos para desgranar cabezas de ajos han aplicado métodos de compresión, que se asemejan a estos “golpes” para separar los dientes.

Hoy en día, los procesos para desgranar ajos, casi en su totalidad, usan elementos que comprimen las cabezas de ajos hasta que las mismas se fracturan. Esto consigue que los dientes se separen uno de otros, aunque también desprenden partes de la cáscara que inicialmente las mantenía unidas. Debido a que se generan ciertos desperdicios, es posible encontrar máquinas que incluyen un aspirador, ya que la cáscara es mucho más liviana que el diente. Así, en conjunto, en algunos casos, con una faja vibratoria, se consigue extraer todos los desperdicios posibles.

Lista de exigencias

De acuerdo con la metodología de diseño centrado en el usuario (DCU), se presentan las exigencias que corresponden a las necesidades y expectativas de los usuarios, en este caso, los operadores y productores de ajo. La integración de estas exigencias en el diseño de la máquina es fundamental para garantizar que el producto final sea útil, eficiente, accesible y satisfactorio para los usuarios finales. La metodología DCU asegura que cada exigencia esté alineada con los requisitos específicos de los usuarios y las condiciones locales del valle del Mantaro.

A continuación, se presenta una tabla detallada con las exigencias de la máquina, adaptadas al diseño centrado en el usuario, lo que garantiza que se aborden tanto los aspectos técnicos como las necesidades del usuario:

Tabla 3:
Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 1
PROYECTO:		DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA PARA OBTENER LOS BULBILLOS DE LA CABEZA DE AJO EN EL VALLE DEL MANTARO	Edición: Rev. 1
			Fecha: 28/12/2023
			Revisado por: XXX
CLIENTE		MERCADO DE COMERCIO DE FRUTOS Y VEGETALES DE HUANCAYO	Elaborado por: XXX
Prioridad	Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
1	E	FUNCIÓN PRINCIPAL:	XXX

		La máquina debe de conseguir que los dientes de una cabeza de ajo se separen unas de otras sin causar fracturas o daños en la pulpa del fruto. La producción esperada de la máquina debe de ser por lo menos 200 kilogramos por hora.	
2	E	GEOMETRÍA: La máquina debe de poseer una altura adecuada para los operadores de alimentación y extracción, evitando a su vez que el operador tenga que alimentar la máquina constantemente.	XXX
3	E	FUERZA: La máquina debe de contar con la fuerza suficiente para fracturar una cabeza de ajo, pero no excesiva como para dañar la pulpa del fruto. Además, la fuerza debe de ser suficiente para permitir que la producción se mantenga.	XXX
4	E	ENERGÍA: La máquina debe de utilizar una fuente de energía de suministro a gasolina para que la maquina pueda ser usada en cualquier lugar a pesar de no contar con suministro eléctrico.	XXX
5	E	SEGURIDAD: La máquina debe de evitar que el operador entre en contacto con los elementos en movimiento de la máquina. Los espacios de trabajo, en producción y mantenimiento deben de permitir un adecuado acceso al operador.	XXX
6	E	ERGONOMÍA: La máquina debe evitar que los operadores de alimentación y extracción realicen movimientos repetitivos, por lo que la ubicación de la tolva de entrada y salida deben de encontrarse a alturas ergonómicas de trabajo.	XXX
7	E	FABRICACIÓN: La máquina debe de fabricarse a partir de procedimientos que puedan encontrarse en la región, además de evitar la importación de elementos cuya fabricación requiera un largo tiempo de espera.	XXX
8	E	MATERIALES: La máquina debe de utilizar materiales para su fabricación que puedan encontrarse en el mercado local, además de ser competitivos con respecto a su costo en mercado de fabricación de máquinas al año 2025.	XXX
9	E	MONTAJE: La máquina debe de facilitar al montaje de los elementos que requieran de la extracción de una pieza para sus actividades de mantenimiento, además de utilizar uniones	XXX

		permanentes para aquellos puntos donde no se requiera de mantenimiento.	
10	E	USO: La máquina debe de permitir el uso continuo durante un tiempo de seis horas diarias aproximadamente, considerando un máximo de ocho horas diarias, con una acción del operador de alimentación de por lo máximo cuatro veces por hora.	XXX
11	E	COSTOS: La máquina debe de considerar elementos, piezas, procedimientos de montaje y actividades de mantenimiento con un costo acorde al mercado regional del año 2025. Además de permitir que la producción se mantenga por encima del 95%.	XXX
12	D	TRANSPORTE: La máquina debe de facilitar su transporte por medio del desmontaje de sus sistemas, además de adecuar la estructura para que quepa en un espacio compacto de envío.	XXX
13	D	MANTENIMIENTO: La máquina debe de incluir espacios adecuados para que las actividades de mantenimiento se realicen. Además, facilitar el intercambio de las piezas que puedan requerirlo.	XXX
14	D	RECICLAJE: La máquina debe de utilizar materiales que puedan ser reciclados luego de cumplir con su tiempo de vida en la máquina. Además de evitar el uso de elementos cuyo desecho puede clasificarse como peligroso.	XXX

Nota: Elaboración propia

3.2.5. Concepto de solución

Abstracción de la solución

En el contexto del diseño centrado en el usuario, el enfoque fundamental es comprender cómo los usuarios interactúan con la máquina y cómo sus necesidades influyen en las características del diseño. Esto no solo involucra la selección de componentes, sino también la optimización de la experiencia del usuario a través de un diseño intuitivo, eficiente y adaptado a las condiciones de trabajo. Para lograr esto, se debe tener en cuenta cómo los elementos de entrada y salida afectan tanto a la operación de la máquina como a los resultados finales del proceso.

Para este diseño, la materia prima entra en forma de cabezas de ajo, las cuales deben ser introducidas de manera limpia o con la menor cantidad posible de contaminantes. Este detalle es clave para asegurar que la máquina funcione de manera eficiente y no se vean comprometidos los resultados de la operación. Los contaminantes como la tierra pueden adherirse a las superficies de las cabezas de ajo, lo que podría dificultar su procesamiento, y podría ocasionar fallas en el sistema de desgranado. Por lo tanto, se ha diseñado un sistema de entrada que permite un manejo sencillo y rápido de la materia prima, maximizando la efectividad del proceso.

Una vez procesada, la máquina produce dos tipos de salida: la materia transformada deseada, que son los dientes de ajo, y la materia transformada indeseada, que incluye los desechos como las cáscaras y las fibras. Estos desechos deben ser gestionados de forma eficiente para no interrumpir el flujo de trabajo y garantizar que el usuario pueda operar la máquina de manera continua sin problemas de acumulación o atascos.

Este enfoque centrado en el usuario no solo toma en cuenta las funciones de la máquina, sino también la interacción constante con el operador, asegurando que el proceso sea lo más fluido, seguro y eficiente posible.

Tabla 4:
Diseño centrado en el usuario de la máquina desgranadora

Entrada	Proceso	Salida	Consideraciones del usuario
Cabezas de ajo	Alimentación y transformación de la materia prima	Dientes de ajo	Facilidad en la carga de las cabezas de ajo: El diseño debe permitir que el usuario cargue las cabezas de ajo sin esfuerzo. El tamaño de la tolva debe ser adecuado para facilitar este proceso.
Energía mecánica	Transformación de energía mecánica para funcionamiento del sistema de desgranado	Vibraciones	Mínima vibración: La máquina debe estar diseñada para minimizar las vibraciones que puedan incomodar al operador durante su uso continuo.

Señal de acción de inicio	Activación del proceso de desgranado	Desechos (cáscaras, fibras, etc.)	Señal clara de inicio y parada: El usuario debe poder ver claramente cuándo la máquina está lista para funcionar y cuándo el proceso ha finalizado. Esto podría incluir indicadores visuales o sonoros.
Señal de encendido activa	Control de funcionamiento de la máquina	Señal de encendido activa	Interfaz sencilla: La interfaz de usuario debe ser simple y clara para garantizar que cualquier operador, sin importar su experiencia, pueda usarla sin confusión.

Nota: Elaboración propia

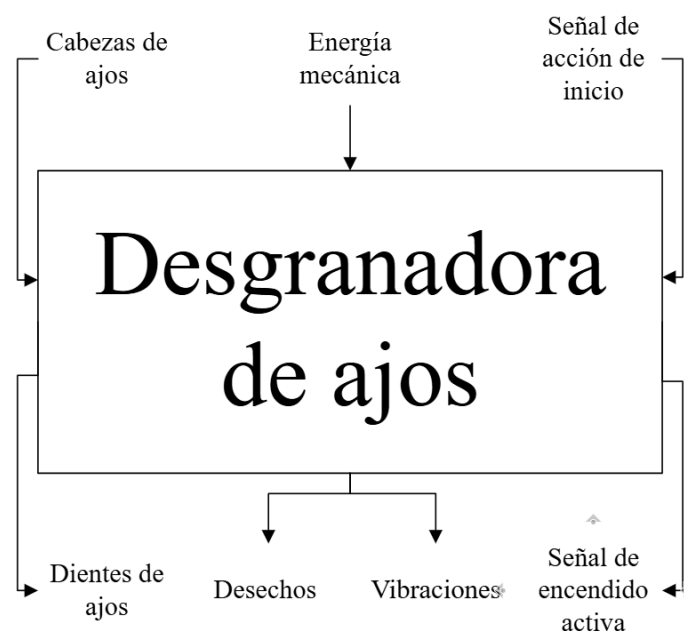


Figura 2:
Caja negra de la solución de la máquina desgranadora

Nota: Elaboración propia

La máquina está diseñada para funcionar de manera eficiente, utilizando energía eléctrica como fuente principal. Esta energía se convierte en energía mecánica para separar los dientes de ajo de las cabezas. Para garantizar una experiencia de usuario fluida, se busca minimizar la energía desaprovechada, reduciendo las vibraciones y el calor generados durante el proceso. El diseño se enfoca en que el usuario pueda interactuar fácilmente con el sistema: el proceso de producción se inicia de manera intuitiva con solo presionar un botón. Para asegurar que el usuario esté informado en todo momento, la máquina cuenta con indicadores visuales claros (como una luz) que confirman que está en funcionamiento, lo que proporciona confianza y facilita el monitoreo de la máquina durante su operación.

Estructura de funciones

Determinándose las entradas y salidas de la máquina, es decir, los elementos con los que se alimenta la máquina para luego transformarlos y obtener una serie de nuevos elementos se proceden a determinar las funciones necesarias para ello. En el caso de la materia prima, se especifican las acciones necesarias para que la misma consiga producir dientes de ajos a partir de cabezas de ajos, considerando que podrían obtenerse, también, desechos como cáscaras secas o fibras. La energía eléctrica debe ser aprovechada para que la máquina consiga transformar la materia prima que recibe.

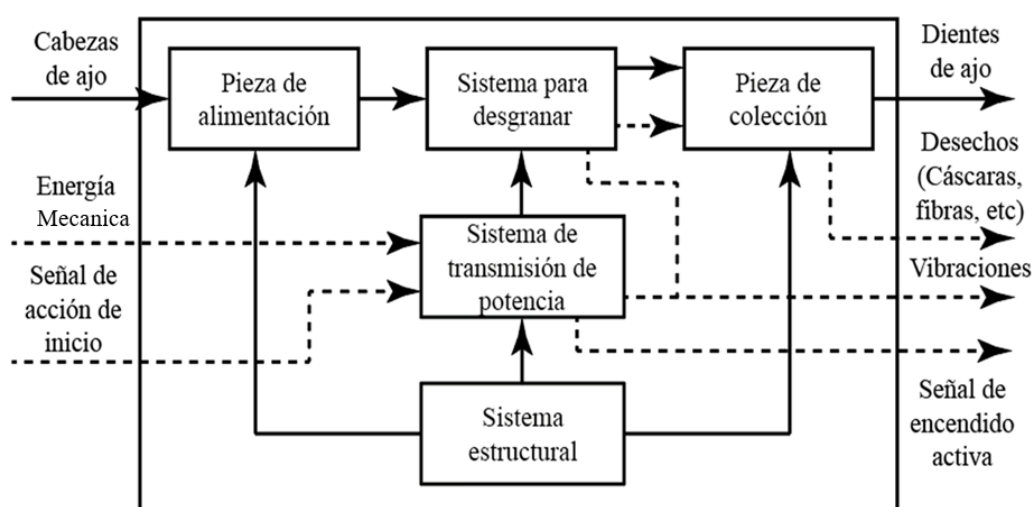


Figura 3:
Estructura de funciones para la máquina desgranadora

Nota: Elaboración propia

Las cabezas de ajo representan la materia prima que ingresa, la cual, debe de sentarse sobre un elemento de alimentación, que permita que el operador trabaje una menor cantidad de repeticiones. Este elemento sirve para que la máquina pueda disponer siempre de una cantidad de frutos para desgranarse, considerando, que la alimentación no debe de saturar el nivel de producción de la máquina. El sistema para desgranar habrá de disponer los elementos para conseguir la separación entre los dientes de ajos, asegurando que, en una posible saturación de la superficie de trabajo, la máquina no se traben.

Finalmente, una vez desgranadas las cabezas de ajos, estas se deberían transportar hacia un elemento que permita recogerlas. Si bien es posible la inclusión de un elemento de limpieza,

este no es obligatorio, puesto que el cliente no lo requiere. Por lo que es posible ejecutar este procedimiento manualmente a la salida de la máquina. La energía mecánica es aprovechada por medio del sistema para desgranar, que, a su vez, podrá generar vibraciones al realizar los trabajos de compresión requeridos para dividir las cabezas de ajo.

Concepto de la solución

En el diseño de la máquina desgranadora, se han tomado en cuenta los requerimientos previamente establecidos, adaptando cada componente a las necesidades del usuario y asegurando que el sistema cumpla con las expectativas de funcionamiento y ergonomía. El sistema central de la máquina es el encargado de desgranar las cabezas de ajo, para lo cual se ha seleccionado un proceso de compresión que permite separar los dientes de ajo sin dañar la pulpa, minimizando así el desperdicio de producto y optimizando la calidad del ajo procesado. Esta acción se logra utilizando rodillos recubiertos de caucho, lo que ayuda a aplicar la fuerza necesaria sin causar fracturas.

Es fundamental que el sistema de compresión utilice la energía de manera eficiente, lo que implica que la fuente de energía se encuentre estratégicamente ubicada cerca de los componentes principales, para evitar la inclusión de elementos adicionales que puedan incrementar el tamaño y costo de la máquina. La disposición de los componentes también debe garantizar la seguridad del operador, asegurando que las piezas de alimentación y extracción estén diseñadas para minimizar riesgos y facilitar un uso cómodo y sin esfuerzo.

En cuanto a la estructura de soporte, se ha diseñado para que sea capaz de soportar las cargas generadas por los componentes principales de la máquina, asegurando una deformación mínima en los puntos críticos. Este diseño ha sido pensado no solo en términos de funcionalidad, sino también de estabilidad y durabilidad, considerando las condiciones de uso de la máquina en un entorno agrícola.

El sistema de transmisión de potencia ha sido optimizado para evitar la necesidad de utilizar componentes complejos que conviertan el movimiento radial en uno lineal, lo que podría aumentar el número de piezas y el costo de fabricación. En su lugar, se emplean rodillos que operan con movimiento giratorio, lo cual es adecuado para el tipo de compresión requerido y no incrementa significativamente el consumo de energía. Aunque la eficiencia energética no es máxima debido a la conversión de energía en calor y vibraciones, el diseño sigue siendo funcional y eficiente para las necesidades del usuario.

Finalmente, se ha considerado el espacio necesario para ubicar el panel de mando de la máquina, asegurando que el operador pueda acceder a los controles de manera fácil y segura. El diseño de la máquina busca equilibrar la funcionalidad, el rendimiento y la ergonomía, garantizando que la solución final no solo sea eficiente en términos de producción, sino también adecuada para el uso práctico y seguro por parte de los operadores.

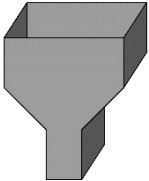
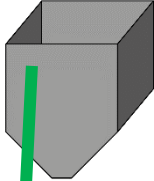
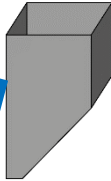
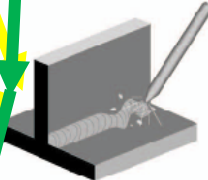
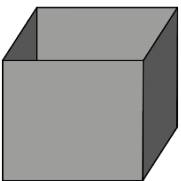
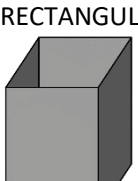
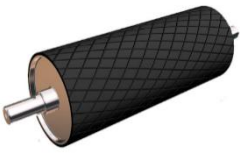
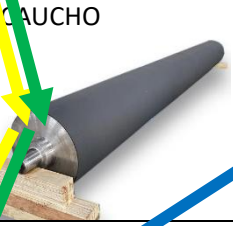
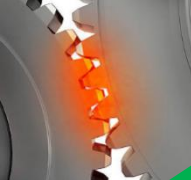
Matriz morfológica

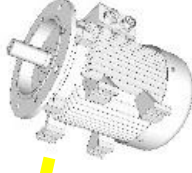
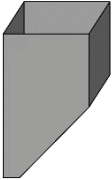
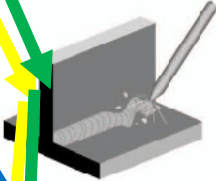
Una vez establecido el concepto de diseño de la máquina, se procede a identificar las posibles soluciones que se ajusten a este concepto, con el objetivo de satisfacer las necesidades y requisitos del usuario. Para ello, se analizan y listan las funciones esenciales que la máquina debe cumplir, y se presentan diferentes piezas, componentes o sistemas que pueden garantizar el cumplimiento de dichas funciones. En este proceso, se consideran distintas alternativas que permitan alcanzar el resultado esperado, teniendo en cuenta tanto la eficiencia operativa como la viabilidad económica.

Bajo este enfoque, algunas soluciones son limitadas o descartadas debido a que el diseñador, en base a su experiencia, evalúa que ciertos métodos de producción podrían resultar ineficientes o demasiado costosos para el contexto específico del proyecto. De esta manera, se busca seleccionar las opciones más adecuadas que aseguren un equilibrio entre desempeño, costos y facilidad de implementación, siempre alineadas con las necesidades y capacidades del usuario final.

Tabla 5:
Matriz morfológica de la máquina despulpadora

MATRIZ MORFOLÓGICA			Pág. 1 de 1
PROYECTO	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA PARA OBTENER LOS BULBILLOS DE LA CABEZA DE AJO EN EL VALLE DEL MANTARO		Edición: Rev. 1
			FECHA: 28/12/2023
			REVISADO POR: XXX
CLIENTA	MERCADO DE COMERCIO DE FRUTOS Y VEGETALES DE HUANCAYO		ELABORADO POR: XXX
FUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
PIEZA DE ALIMENTACIÓN	TOLVA PIRAMIDAL	TOLVA CUÑA	TOLVA ASIMÉTRICA

			
TIPO DE ANCLAJE CON EL BASTIDOR	UNIÓN EMPERNADA 	UNIÓN SOLDADA 	
BASTIDOR PRINCIPAL	BASTIDOR CUADRADO 	BASTIDOR RECTANGULAR 	
PIEZA DE COMPRESIÓN	RODILLO DE SILICONA 	RODILLO DE ACERO ENVUELTO EN CAUCHO 	CONJUNTO DE RODILLOS CON CAUCHO 
ASIENTO DE LA PIEZA DE COMPRESIÓN	EJE 		
ELEMENTOS CONDUCTORES DEL ASIENTO DE LA PIEZA DE COMPRESIÓN	CATARINAS 	ENGRANAJES 	CATARINAS Y ENGRANAJES 
ELEMENTO DE TRANSMISIÓN	CADENA 	FRICCIÓN 	COMBINACIÓN DE CADENAS Y FRICCIÓN 
ELEMENTO GENERADOR DE POTENCIA	MOTOR A GASOLINA	MOTOR ELÉCTRICO	

			
PIEZA DE COLECCIÓN	TOLVA ASIMÉTRICA 	BANDEJA DE COLECCIÓN 	
PIEZA DE SOPORTE PARA EL BASTIDOR	VIGA CUADRADA 	VIGA EN ÁNGULO 	VIGA EN C 
TIPO DE ANCLAJE PARA LA ESTRUCTURA	UNIÓN EMPERNADA 	UNIÓN SOLDADA 	
SISTEMA DE LIMPIEZA PARA LOS DESECHOS	ASPIRADOR 	MANUAL 	
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3

Nota: Elaboración propia

3.2.6. Descripción de soluciones

El diseño de la máquina está compuesto por diversos sistemas, cada uno de los cuales cumple una función específica dentro del conjunto general. Las soluciones derivadas de las alternativas planteadas para cada función se combinan para formar una propuesta de máquina única y optimizada. Al comprender cómo interactúan estas soluciones, se da el primer paso en el proceso de diseño. Por lo tanto, se describe cómo cada configuración contribuye al desarrollo de la propuesta final.

En última instancia, cada solución contribuye al logro del objetivo principal: el proceso de desgranado. Es fundamental comprender cómo cada uno de estos sistemas colabora para

realizar eficientemente el desgranado, garantizando que el diseño final cumpla con las expectativas del usuario en términos de rendimiento, eficiencia y facilidad de uso.

1. Solución 1

La primera propuesta se dispone de una tolva piramidal para alimentar a la máquina, que es donde se encontrarán las cabezas de ajo antes de que la máquina inicie sus acciones. Esta tolva piramidal podrá incluir una compuerta, que permita el paso una vez la máquina haya iniciado sus acciones. Luego, la materia prima pasa al espacio delimitado por el bastidor del sistema de desgranado, donde una serie de rodillos cumplen con el trabajo de comprimir las cabezas de ajo con la suficiente fuerza para romper las uniones entre los dientes. Debido a la gravedad, los dientes de ajo caen hasta una plataforma.

El sistema de transmisión de potencia de este sistema utiliza dos motores eléctricos, ya que se desea evitar la inclusión de elementos que cambien el giro inicial que existiría al tener un solo motor. Ya que se requiere mantener el sentido de giro, dos pares de catarinas consiguen transmitir la potencia hacia otros dos ejes, donde otros rodillos complementan el sistema. Todo este sistema se soporta por una estructura sencilla, ya que el bastidor sirve de soporte para la tolva, por lo que se podría incluir puntos de unión a base de pernos.

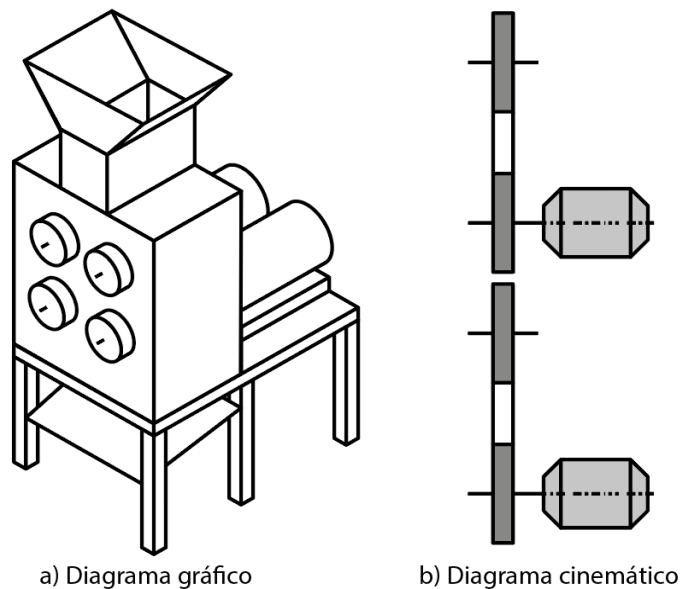


Figura 4:
Diagramas de la solución 1

Nota: Elaboración propia

2. Solución 2

La segunda propuesta utiliza una tolva cuña, que, gracias a la gravedad, permitirá alimentar a la máquina de las cabezas de ajo. Ya que este en este sistema no posee un conducto, la ubicación de una compuerta podría encontrarse unida al punto entre la unión del bastidor con la tolva. El proceso de desgranado utiliza cuatro rodillos que trabajan en combinación de cada par, utilizando un giro opuesto para conducir a las cabezas de ajo hasta un punto medio entre las mismas. El sistema de transmisión de potencia se sirve de diferentes elementos para otorgarle la fuerza necesaria a los rodillos del sistema.

La potencia, que parte de un motor, se transmite hasta un engranaje que, al conducir a otro engranaje, permite el cambio de sentido de giro. Una catarina se sienta sobre cada uno de los ejes cumpliendo con el objetivo de complementar la transmisión de potencia. de esta forma se obtiene la fuerza necesaria sobre cada uno de los rodillos, así como el sentido de giro esperado. Finalmente, luego de que las cabezas de ajo pasan por los rodillos, una bandeja de colección las recibe, permitiendo que el operador pueda extraer el producto de la máquina.

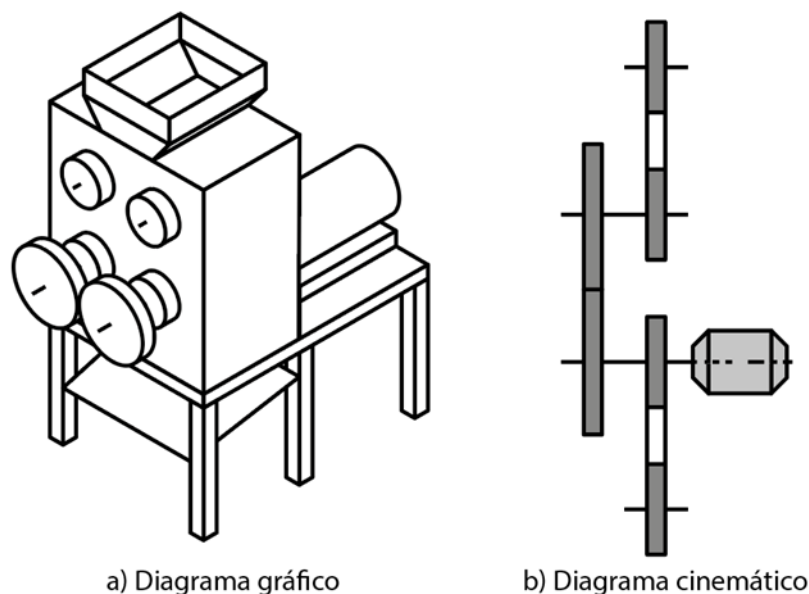


Figura 5:
Diagramas de la solución 2

Nota: Elaboración propia

3. Solución 3

La tercera propuesta utiliza una tolva asimétrica, ofreciendo una boca más ancha para alimentar a la máquina, la cual podría adecuar una doble compuerta, para permitir que el operador indique la velocidad de alimentación. A diferencia de las otras soluciones, este sistema utiliza una serie de rodillos ubicados subsecuentemente uno de otro, para comprimir

las cabezas de ajo en contra del bastidor. Este proceso de compresión requiere más espacio, aunque permite aprovechar a la máquina para ubicarse en un sistema de línea de producción.

El sistema de transmisión se alimenta de energía desde un motor a gasolina portátil, el cual permite que un eje gire. Al otro extremo de este eje, se encuentra una catarina, que, mediante una cadena, permite alimentar de energía mecánica a otro rodillo, el cual posee otra catarina conductora y así subsecuentemente. Existen en total seis catarinas, entre conducidas y conductoras, que, en total, ofrecen la transmisión para cuatro rodillos. Todo el sistema se soporta por una estructura alta, ya que el sistema aprovecha la gravedad para dejar que los ajos caigan a través de la máquina.

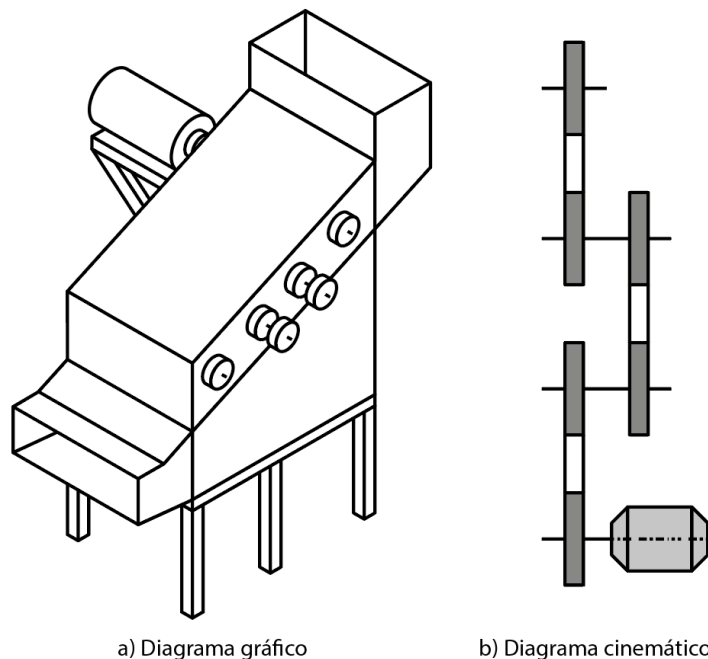


Figura 6:
Diagramas de la solución 3

Nota: Elaboración propia

Selección de la solución óptima

Siguiendo la metodología de diseño centrado en el usuario, es fundamental comparar las diferentes soluciones propuestas para determinar cuál satisface de manera más efectiva las necesidades y expectativas del cliente. Este proceso de comparación no solo debe abordar aspectos técnicos, sino también económicos, para asegurar que la solución final sea tanto funcional como viable para su implementación en el entorno local.

El análisis técnico evalúa cómo cada alternativa cumple con las funciones asignadas a los elementos de la máquina, con el objetivo de lograr un diseño que cumpla de manera eficiente

y sin efectos secundarios. En el caso del sistema de desgranado, se considera que todas las propuestas emplean rodillos, los cuales deben estar recubiertos adecuadamente para prevenir que la dureza del acero dañe los bulbillos debido a la fuerza de compresión. Las alternativas, aunque similares en cuanto a la cantidad y calidad de los elementos utilizados, reciben calificaciones similares en términos de su efectividad en este aspecto.

Una diferencia clave se presenta en la configuración del sistema de rodillos: la opción de rodillos espejo requiere un cambio en el sentido de giro de la mitad del sistema, lo que demanda el uso de elementos de transmisión de potencia adicionales. Por otro lado, el uso de rodillos consecutivos elimina esta necesidad, ya que la compresión se produce en dirección opuesta al bastidor, lo que también ofrece soporte estructural al sistema. Dado que los rodillos en ambas opciones tienen una calificación técnica comparable, la selección final dependerá de otros factores, como la capacidad de los otros componentes para mejorar la eficiencia general y el costo del sistema.

En resumen, la evaluación no solo se basa en la eficiencia técnica, sino también en cómo otros elementos del diseño pueden optimizar el rendimiento y la funcionalidad de la máquina, siempre manteniendo en cuenta las prioridades del cliente y los recursos disponibles en la región.

Tabla 6:

Tabla de evaluación técnica para las soluciones de la máquina

PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA PARA OBTENER LOS BULBILLOS DE LA CABEZA DE AJO EN EL VALLE DEL MANTARO										
Evaluación técnica										
Variantes de concepto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N°	Función	G	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Función principal	10	4	40	4	40	4	40	4	40
2	Geometría	9	3	27	3	27	3	27	4	36
3	Fuerza	9	3	27	3	27	3	27	4	36
4	Energía	9	3	27	2	18	3	27	4	36
5	Seguridad	9	2	18	3	27	3	27	4	36
6	Ergonomía	9	3	27	3	27	3	27	4	36
7	Fabricación	9	3	27	3	27	3	27	4	36
8	Materiales	9	2	18	2	18	3	27	4	36
9	Montaje	9	3	27	2	18	3	27	4	36

10	Transporte	9	2	18	3	27	3	27	4	36
11	Uso	9	3	27	2	18	3	27	4	36
12	Mantenimiento	9	2	18	3	27	3	27	4	36
13	Costos	8	3	24	3	24	3	24	4	32
14	Reciclaje	7	3	21	2	14	3	21	4	28
Puntaje		39	346	38	339	43	382	56	496	
Valor técnico		0.698		0.683		0.770		1		

Nota: Elaboración propia

La evaluación económica se centra en analizar los costos asociados a las piezas, procesos de fabricación, mantenimiento y otros componentes necesarios para la construcción y operación de la máquina. Al comparar las soluciones propuestas para los rodillos, se observa que los costos son bastante similares, con la única diferencia significativa en que la cubierta de protección puede adquirirse por separado. Esta diferencia podría incrementar ligeramente el costo total de la máquina; sin embargo, este aumento no sería significativo, ya que la cubierta de protección podría incluirse con la compra de otros rodillos, lo que ayudaría a mitigar el impacto económico adicional.

El bastidor, por su parte, representa otro punto clave de comparación en la evaluación económica, ya que juega un papel fundamental en la configuración y distribución de las piezas y sistemas dentro de la máquina. Un diseño con disposición vertical permite optimizar el espacio ocupado por la máquina, lo que resulta en un ahorro de espacio físico, pero implica un mayor uso de elementos de transmisión de potencia, especialmente si se opta por rodillos en espejo. Por otro lado, un sistema con rodillos lineales y un bastidor inclinado puede requerir una estructura más robusta y amplia, ya que el bastidor debe trabajar en conjunto con los rodillos para lograr el desgranado efectivo de las cabezas de ajo. Este diseño podría implicar un mayor costo debido a la mayor cantidad de material necesario y la complejidad de su fabricación, pero también podría ofrecer ventajas en términos de estabilidad y eficiencia operativa.

En conclusión, la selección de las soluciones debe considerar no solo la eficiencia técnica, sino también el impacto económico de cada componente, buscando un equilibrio entre costo y rendimiento que asegure la viabilidad del proyecto a largo plazo y sea accesible para los productores locales.

Tabla 7:*Tabla de evaluación económica para las soluciones de la máquina*

PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA PARA OBTENER LOS BULBILLOS DE LA CABEZA DE AJO EN EL VALLE DEL MANTARO										
Evaluación económica										
Variantes de concepto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N°	Función	G	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costo de materiales	10	2	20	3	30	3	30	4	40
2	Costo de fabricación	9	3	27	3	27	3	27	4	36
3	Costo de mantenimiento	9	3	27	3	27	3	27	4	36
4	Costo de mano de obra	9	2	18	2	18	3	27	4	36
5	Costo de transporte	8	3	24	3	24	3	24	4	32
6	Costo de uso	7	3	21	3	21	2	14	4	28
Puntaje			16	137	17	147	17	149	24	208
Valor técnico			0.659		0.707		0.716		1	

Nota: Elaboración propia

La combinación de soluciones indica que los sistemas verticales para ubicar los rodillos permiten un ahorro de espacio significativo, aunque esto implica el uso de una mayor cantidad de piezas mecánicas. En contraste, el uso de rodillos en serie podría integrarse eficientemente con el bastidor, pero requiere un número mayor de catarinas, lo que aumenta el número de componentes y la complejidad del sistema. Es importante destacar que, aunque el costo de las catarinas es menor que el de los engranajes, un bastidor más grande podría elevar el costo total del sistema. Sin embargo, existe la posibilidad de optimizar el espacio del bastidor, lo que permitiría reducir el tamaño sin comprometer la funcionalidad del sistema.

Considerando las mejoras que se pueden implementar en la propuesta tres, se puede concluir que esta solución es la más adecuada para continuar con el diseño. Una de las ventajas

de esta propuesta es que el motor puede ubicarse en la parte más baja de los rodillos, lo que no solo optimiza el espacio, sino que también minimiza los riesgos para el operador al evitar que el motor esté cerca de áreas de trabajo peligrosas. Además, esta propuesta ofrece flexibilidad en el diseño, ya que permite reducir la altura de la estructura o incluso incorporar un sistema de limpieza en la salida del rodillo final. En cada uno de estos casos, la máquina ofrece múltiples posibilidades para mejorar el diseño, lo que facilita la adaptación a las necesidades específicas de producción y asegura una solución eficiente y segura.

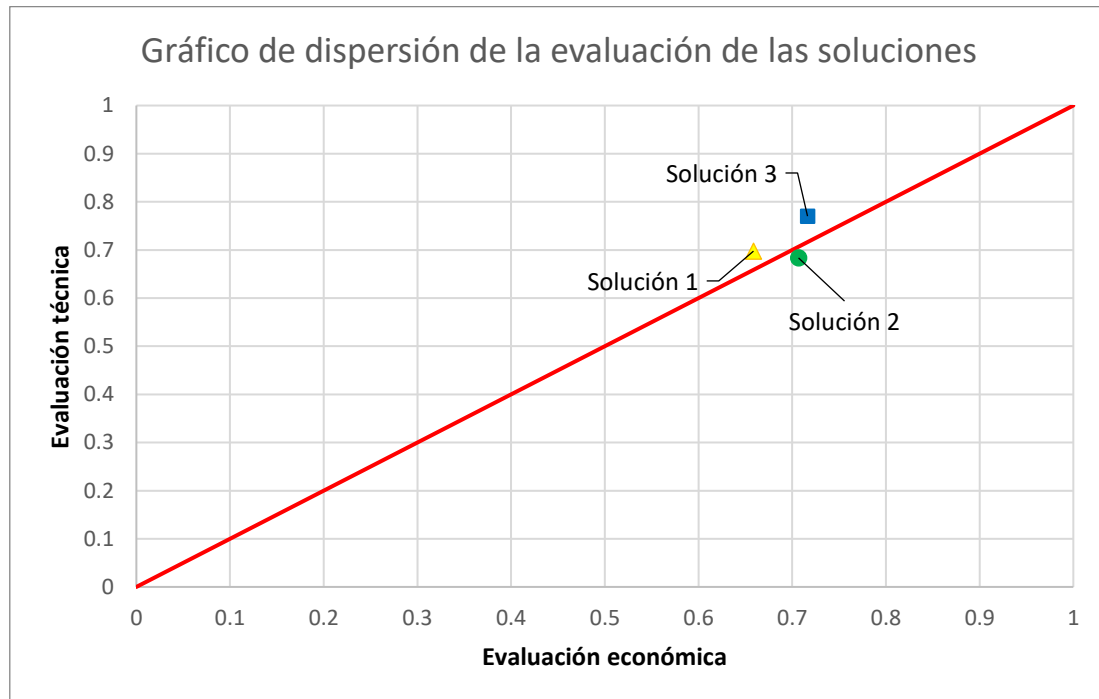


Figura 7:
Gráfico de comparación de las soluciones

Nota: Elaboración propia

3.2.7. Elaboración del proyecto

Diseño preliminar

Al observar la tolva que corona la máquina, se puede disponer de una unión al bastidor por soldadura, o incluso por pernos, para permitir que la misma pueda intercambiarse para márgenes de producción más alto. Aunque, esto conlleva a incrementar la rigidez del bastidor, esto es posible gracias a que el bastidor también trabaja en conjunto con el sistema de desgranado. Sin embargo, para el diseño no se podría comprometer a este elemento en base a su calidad estructural, ya que el cliente permite que el operador alimente la máquina constantemente.

El proceso de alimentación, posteriormente, podría ser intercambiado por un sistema de faja transportadora, mientras que la tolva solo sirva como un elemento que mantenga la producción de la máquina a cierto nivel. Los rodillos que conforman la parte principal de la máquina deben utilizar una recubierta. Dicha protección puede incluirse en el rodillo, o incluso adquirir rodillos de acero para fajas transportadoras y adecuar una faja de caucho para recubrir todo el sistema. En cualquier caso, el sistema propone la compresión de las cabezas de ajo para fracturarlos y separar los dientes.

La estructura de la máquina se compone de vigas y bastidores, utilizando a las vigas como la armadura que finalmente soporta la carga muerta de la máquina. El bastidor cumple con el objetivo proteger al operador de los elementos en movimiento, por lo que una tapa puede instalarse sobre los elementos de transmisión de potencia. El bastidor que trabaja con el sistema para desgranar puede utilizar una base de acero de mayor espesor, o utilizar una plataforma estructural que permita una deformación mínima sobre la misma cuando la máquina trabaje.

Diseño definitivo

Al utilizar una tolva cuña para mantener la producción de la máquina, se cuenta con una boca de apertura más larga que en otros casos. La construcción de esta tolva se realiza en acero estructural, considerando la cantidad de materia prima sugerida por el cliente, así como las acciones del operador. El tipo de unión considerado es el de uniones empernadas, ya que la tolva debería permitir ser extraíble para su transporte y puesta en marcha. Para lograr esto, es posible unirla al bastidor, aprovechando que ciertos puntos del bastidor serán más robustos.

Los rodillos que funcionan en el sistema para desgranar se ordenan en forma de que el espacio entre el rodillo y el bastidor se acorte ligeramente ya que no todas las cabezas de ajo poseen el mismo tamaño y cabe la posibilidad de que no se logren separar todos los dientes en primera instancia. La cubierta de protección considerado es el caucho, ya que la silicona suele ser excesivamente más cara que la primera opción, se puede resolver esto adquiriendo un caucho de mayor espesor. Es importante asegurar que cada eje cuente con la potencia que lo requiera a partir de catarinas y cadenas.

La estructura de la máquina debe de permitir el soporte de cada pieza, sirviendo de asiento para los elementos rotativos, así como del motor y demás elementos. El material bajo el cual se debería diseñar este sistema es el acero ASTM A36, ya que es importante evitar que las vibraciones puedan causar un desbalance excesivo en la máquina. Para el caso de los bastidores, el material es el mismo, con la diferencia del espesor utilizado en el material, otorgándole una mayor a aquellos elementos que trabajan estructuralmente en contraste con aquellos que solo sirven como protección.

3.2.8. Diseño del sistema para despulpar

Selección de los rodillos

El diseño de la máquina parte al entender como ocurre el efecto físico para lograr romper el conjunto de dientes de ajo. Esta acción puede obtenerse a partir del esfuerzo de compresión que genera un cuerpo sobre la cabeza de ajos, lográndose a partir de rodillos, un pistón lineal, entre otras opciones. En el caso del presente sistema, se propone hacer uno de una serie de rodillos, ubicados en paralelo, para conseguir una acción constante para romper las cabezas de ajos, hasta conseguir dientes únicos. El rodillo entonces genera una fuerza de compresión contra el ajo y una superficie.

La distribución de piezas son fruto rodillos de acero que se recubren con caucho para evitar que la superficie dura del acero pueda dañar el fruto. La carga de compresión para romper una cabeza de ajo la consideramos recolectando esta información de García (6) tomando un valor de 63 kgf para lograr la fractura esperada. Como se muestra a continuación, el esfuerzo de compresión puede descomponerse en dos componentes, uno de ellos ejerciendo un esfuerzo directo sobre la superficie de la que se apoya. Por lo que será necesario diseñar este elemento para soportar dichas cargas.

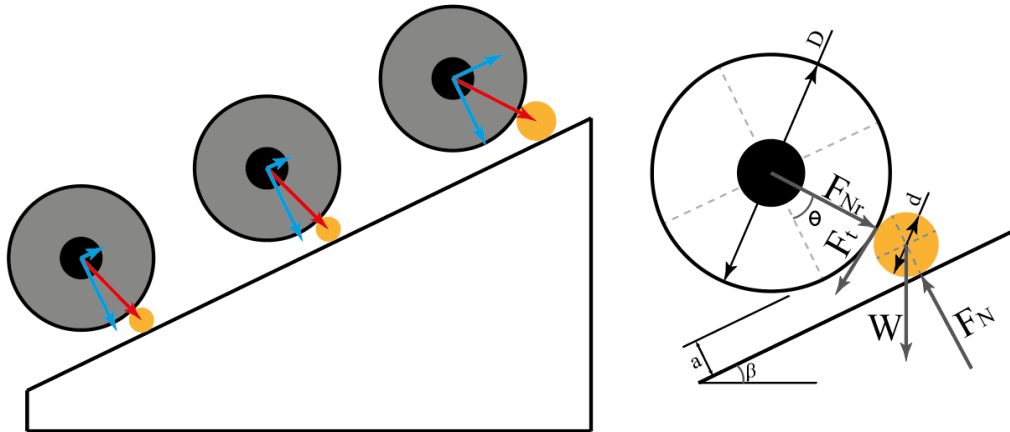


Figura 8:
Distribución de rodillos para el sistema

Nota: Elaboración propia

Se observa que, para ejecutar el proceso de compresión, primero, el fruto debe de enfrentarse ante un esfuerzo de agarre, pues de otro modo, el fruto rebotaría contra el sistema mostrado. Se descomponen las fuerzas que actúan sobre el fruto en referencia al sistema de agarre, siendo éstas, la fuerza neta del rodillo y la fuerza tangencial del mismo. Utilizamos un

plano de coordenadas cuyo eje X es paralelo al plano donde se encuentra el fruto para descender:

$$F_t \times \cos\theta > F_{Nr} \times \sen\theta$$

Se observa que la fuerza que requerimos comparar depende principalmente del ángulo con el que inciden la fuerza neta del rodillo. García (2014) ofrece una ecuación que permite calcular el diámetro requerido por el rodillo en base a este ángulo. Esta ecuación se expresa como:

$$D > \frac{d - a}{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\theta}}}$$

Donde:

- D : Diámetro del rodillo (mm).
- d : Diámetro del fruto (mm). Considerado para frutos del entorno regional, observándolos como si se tratase de una esfera. Cuyo diámetro promedio se encuentra con 52 milímetros; aunque es posible todavía, encontrar cabezas de ajos que alcanzan 60 milímetros.
- a : Distancia mínima del rodillo a la plataforma inclinada (mm). Este valor varía dependiendo del espacio que se otorga al diente del ajo. Ya que el primer rodillo posee un gran margen de dientes sin separar por completo, y se desea evitar un atascamiento de frutos, se otorga una distancia de 35 milímetros.
- θ : Ángulo de incidencia de la fuerza neta del rodillo ($^\circ$). Se considera un ángulo de 34 grados, que ofrece una geometría que evita incrementar la distancia mínima del rodillo a la plataforma inclinada.

Así, calculamos:

$$D > \frac{60 \text{ mm} - 35 \text{ mm}}{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 34}}}$$

$$D > 138,23 \text{ mm}$$

Al comprobar la geometría, se observa que el ángulo de incidencia del rodillo puede verse incrementado, alcanzando hasta un ángulo de 40° cuando la distancia mínima del rodillo a la plataforma alcanza 25 milímetros. Esto puede generar que la carga no sea suficiente para comprimir el fruto, sino solamente girarlo. Por lo que determinamos a partir de este ángulo la fuerza tangencial mínima requerida por el rodillo.

$$F_t = F_{Nr} \times tg\theta$$

Aplicamos los datos:

$$F_t = 63 \text{ kgf} \times \text{tg}(40) = 52,86 \text{ kgf}$$

Además, podemos corregir el diámetro para el rodillo:

$$D > \frac{60 \text{ mm} - 35 \text{ mm}}{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 40}}}$$

$$D > 106,86 \text{ milímetros}$$

Ya que el valor mínimo para la geometría final requiere un diámetro mínimo de 106,86 milímetros, podemos utilizar un rodamiento más corto, con un recubrimiento con un espesor conservador. Así podemos definir que, haremos uso de un rodillo de acero con 100 milímetros con un recubrimiento de caucho de 10 milímetros. Aunque es recomendable utilizar un rodillo con solamente 5 milímetros de recubrimiento de caucho, es más difícil encontrar rodillos con 5 milímetros adicionales en su diámetro, por lo que procedemos con el elemento seleccionado.

El diseño de los rodillos se realizó en el programa SolidWorks y se realizó el análisis de tensiones siguiente:

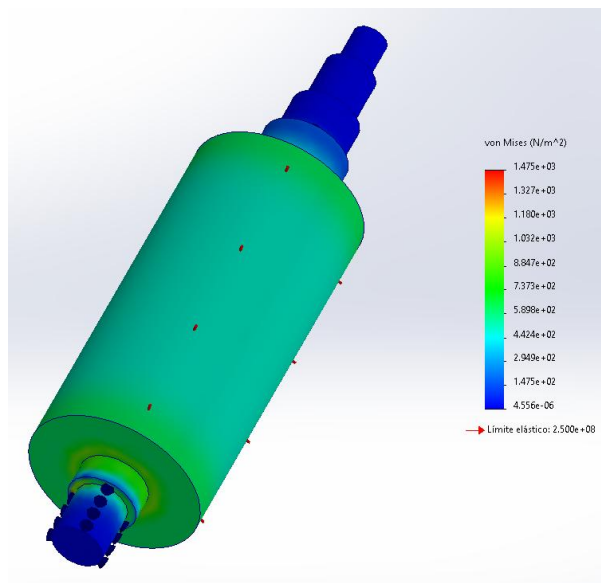


Figura 9:

Observación de tensiones debido a las cargas en el rodillo

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia

De lo anterior podemos observar que el rodillo no sufrirá ningún esfuerzo a la hora de separar los ajos de las cascarras ya que la presión que necesita ejercer no se deformará el rodillo, ya que la máxima tensión que existirá sobre este es de 1475 N/m^2 y su límite elástico es de 2500 N/m^2 .

Diseño de la plataforma de soporte

Para el diseño de la plataforma de soporte se planea diseñar un elemento que permita el deslizamiento de las cabezas de ajo por gravedad, por lo que se debe conocer el coeficiente de fricción que dispone este elemento. De manera experimental, García Hernández (6) consigue un ángulo de inclinación para el diseño de caída por gravedad para este fruto, recomendando un ángulo de inclinación para elementos como la lona. Se planea recubrir la plataforma de lámina de acero con una superficie de caucho, por lo que se habrá de dimensionar el arreglo de acero con el que sostiene.

Gracias a que el bastidor estará recubierto en las partes de mayor importancia por recubrimientos de caucho, es posible utilizar acero ASTM A36 para este elemento. Se considera, además, las cargas que actúan sobre el sistema. En el caso en que podría atorarse un elemento demasiado duro, la máquina todavía debería tener la capacidad de soportarlo, por lo que se considera este evento para el diseño de las vigas de la plataforma. La fuerza debido a este suceso se calcula de la resultante de las fuerzas que actuarían sobre este objeto partiendo de la fuerza de compresión calculada anteriormente.

$$F = \sqrt{63^2 + 52,86^2} = 82,24 \text{ kg}$$

Además, para el ángulo de inclinación de la plataforma:

$$\beta = 35^\circ$$

Se diseña la máquina para soportar este elemento, considerando, además, que existe una carga disminuida secuencial que requieren los rodillos posteriores al principal. Para determinar estas cargas, se propone que cada rodillo requiere una fuerza 25% menor a la inicial, siempre y cuando la cabeza de ajo haya sido rota inicialmente por el primer rodillo. Esta suposición parte, también de manera experimental, aunque es difícil determinar el valor exacto debido a la gran variedad de tamaños que puede poseer un diente de ajo, y la probabilidad de que dos o más todavía se mantengan unidos.

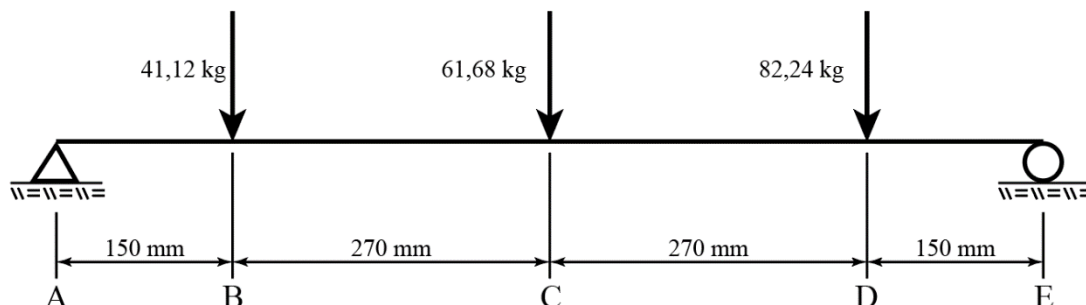


Figura 10:

Disposición de cargas en la viga de la plataforma inclinada

Fuente: Elaboración propia

Debido a la importancia que se le da a la deformación, es importante asegurar que la distancia mínima del rodillo a la plataforma no se incremente en demasía. De lo contrario, nos encontraríamos con un sistema que podría dejar pasar las cabezas de ajo más pequeñas, lo que es justamente el inconveniente a evitar. Para ello, planteamos definir la deformación en el punto B, C y D. De tal modo, se utiliza el método de doble integración para calcular estas deflexiones. Así se describen diferentes ecuaciones para el esfuerzo cortante, momento flector, ángulo y deformación en cada tramo:

Para el tramo AB cuya distancia es de 0 metros hasta 0,15 metros:

$$V = 79,3$$

$$M = 79,3(x)$$

$$\theta = \frac{79,3}{2}(x^2) + C_1$$

$$\delta = \frac{79,3}{2 \times 3}(x^3) + C_1(x) + C_2$$

Para el tramo BC cuya distancia es de 0,15 metros hasta 0,42 metros:

$$V = 38,18$$

$$M = 38,18(x) + 6,618$$

$$\theta = \frac{38,18}{2}(x^2) + 6,618(x) + C_3$$

$$\delta = \frac{38,18}{2 \times 3}(x^3) + \frac{6,618}{2}(x^2) + C_3(x) + C_4$$

Para el tramo CD cuya distancia es de 0,42 metros hasta 0,69 metros:

$$V = -23,5$$

$$M = -23,5(x) + 32,0736$$

$$\theta = -\frac{23,5}{2}(x^2) + 32,0736(x) + C_5$$

$$\delta = -\frac{23,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{32,0736}{2}(x^2) + C_5(x) + C_6$$

Para el tramo DE cuya distancia es de 0,69 metros hasta 0,84 metros:

$$V = -105,74$$

$$M = -105,74(x) + 88,8192$$

$$\theta = -\frac{105,74}{2}(x^2) + 88,8192(x) + C_7$$

$$\delta = -\frac{88,8192}{2 \times 3}(x^3) + \frac{88,8192}{2}(x^2) + C_7(x) + C_8$$

Para complementar la información que tenemos en las ecuaciones, se debe de calcular los coeficientes debido a la integración. Para ello, nos valemos del principio de continuidad que ha de existir en cada uno de los puntos que comparten los tramos. Así, se pueden obtener los siguientes valores:

Para el tramo AB cuya distancia es de 0 metros hasta 0,15 metros:

$$V = 79,3$$

$$M = 79,3(x)$$

$$\theta = \frac{79,3}{2}(x^2) - 5,416$$

$$\delta = \frac{79,3}{2 \times 3}(x^3) - 5,416(x)$$

Para el tramo BC cuya distancia es de 0,15 metros hasta 0,42 metros:

$$V = 38,18$$

$$M = 38,18(x) + 6,618$$

$$\theta = \frac{38,18}{2}(x^2) + 6,618(x) - 5,416$$

$$\delta = \frac{38,18}{2 \times 3}(x^3) + \frac{6,618}{2}(x^2) - 5,416(x) - 0,046$$

Para el tramo CD cuya distancia es de 0,42 metros hasta 0,69 metros:

$$V = -23,5$$

$$M = -23,5(x) + 32,0736$$

$$\theta = -\frac{23,5}{2}(x^2) + 32,0736(x) - 12,152$$

$$\delta = -\frac{23,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{32,0736}{2}(x^2) - 12,152(x) + 1,259$$

Para el tramo DE cuya distancia es de 0,69 metros hasta 0,84 metros:

$$V = -105,74$$

$$M = -105,74(x) + 88,8192$$

$$\theta = -\frac{105,74}{2}(x^2) + 88,8192(x) - 31,729$$

$$\delta = -\frac{88,8192}{2 \times 3}(x^3) + \frac{88,8192}{2}(x^2) - 31,729(x) + 5,762$$

En este caso no se analiza el sistema con respecto a la precisión de su ensamblaje, sino a la capacidad para deformarse en los puntos de interés. Por lo que se determina el valor del

momento de inercia que cada instancia requiere, de tal modo que se pueda apreciar el tipo de viga que requiere. De este modo, podremos determinar, incluso, si una viga de sección variable sería la más adecuada. Por esto, determinamos el momento de inercia requerido para el punto B, C y D; considerando un límite de deformación de 1 milímetro para cada cálculo.

Consideramos que, para determinar el momento de inercia, la ecuación se puede despejar a:

$$IE\delta = \iint M(x)dx$$

$$I = \frac{\iint M(x)dx}{E \times \delta}$$

Donde:

- $\iint M(x)dx$: Segunda integral de la ecuación del momento flector con respecto a la distancia desde el extremo izquierdo del arreglo ($kgf - m^3$). Seleccionado a partir del punto de referencia tomado en el diagrama. Además, es necesario corregir la unidad de kilogramos fuerza con el valor de Newtons para facilitar el cálculo.
- E : Coeficiente de elasticidad del material (MPa). Al considerar el acero ASTM A36 para el cálculo, se puede obtener este valor de catálogos de materiales, por lo que su magnitud alcanza $199,948 GPa$.
- δ : Deformación permitida (m). Determinada a partir del criterio del diseñador. Para este caso, tomaremos un límite de deformación de 1 milímetro.
- I : Momento de inercia de la sección transversal de la viga (m^4). Obtenido de catálogos de vigas de acero ASTM A36 comerciales en la región donde se diseña el elemento, aunque en este caso, obtendremos un valor mínimo requerido, por lo que habrá de seleccionarse una viga a partir de esta condición.

Así, tenemos, para el punto B:

$$I = \frac{-0,7678 \text{ kgf} - m^3 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}{199,948 \times 10^9 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}} = 3,767 \times 10^{-8} m^4$$

$$I = 0,0377 \times 10^6 mm^4 = 0,0905 \text{ pulg}^4$$

Para el punto C:

$$I = \frac{-1,30554 \text{ kgf} - m^3 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}{199,948 \times 10^9 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}} = 6,405 \times 10^{-8} m^4$$

$$I = 0,064 \times 10^6 mm^4 = 0,1539 \text{ pulg}^4$$

Para el punto D:

$$I = \frac{-0.7767 \text{ kgf} - m^3 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}{199,948 \times 10^9 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}} = 3,81 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I = 0,0381 \times 10^6 \text{ mm}^4 = 0,0915 \text{ pulg}^4$$

Entonces, se observa que el punto de mayor interés es el punto C, donde se requiere una viga más resistente. De utilizar una viga de sección variable tendríamos que comprometer el punto intermedio, lo que podría conllevar a incrementar de manera innecesaria a la plataforma con su propio peso. Por esto, se decide utilizar una viga de acero ASTM A36 de 40 milímetros por 40 milímetros con un espesor de 2 milímetros. Sobre ella, se sienta una plancha de acero ASTM A36 de por lo menos 1 milímetros, aunque recomendablemente se deben utilizar 2 milímetros de espesor.

Cabe señalar que, para proteger a los frutos de la rigidez del material, también se debe utilizar una capa de caucho sobre la base, en favor de evitar que los dientes de ajo puedan dañarse. Para ello, se propone utilizar una capa de caucho de por lo menos 2,5 milímetros; aunque es difícil conseguir este material, por lo que posiblemente sea más fácil adquirir caucho con espesor de 3 ó 4 milímetros. En cualquier caso, toda la superficie debería estar recubierta por este material y no solamente las partes donde los rodillos hacen contacto con las cabezas de ajo.

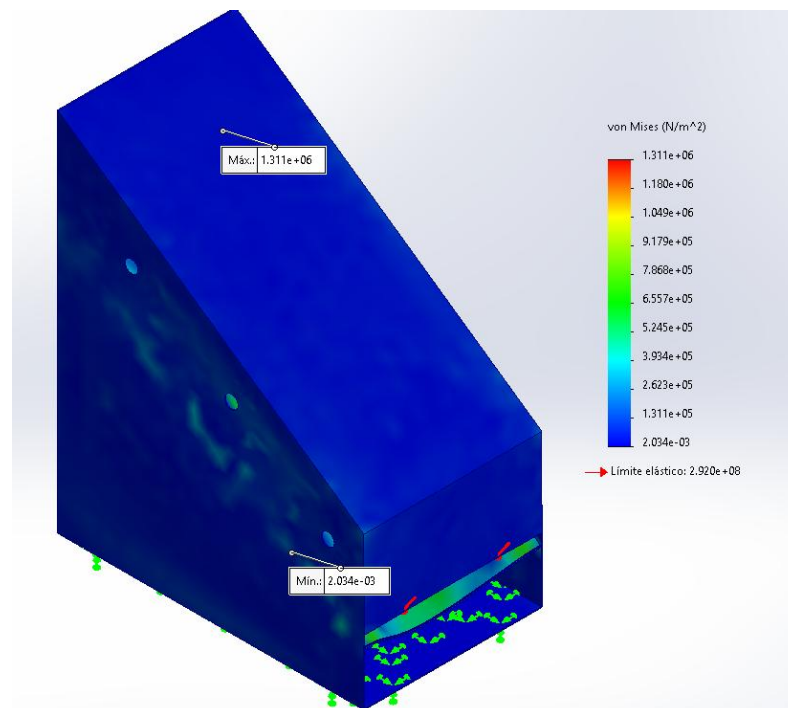


Figura 11:

Observación de tensiones debido a las cargas en la estructura superior

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia

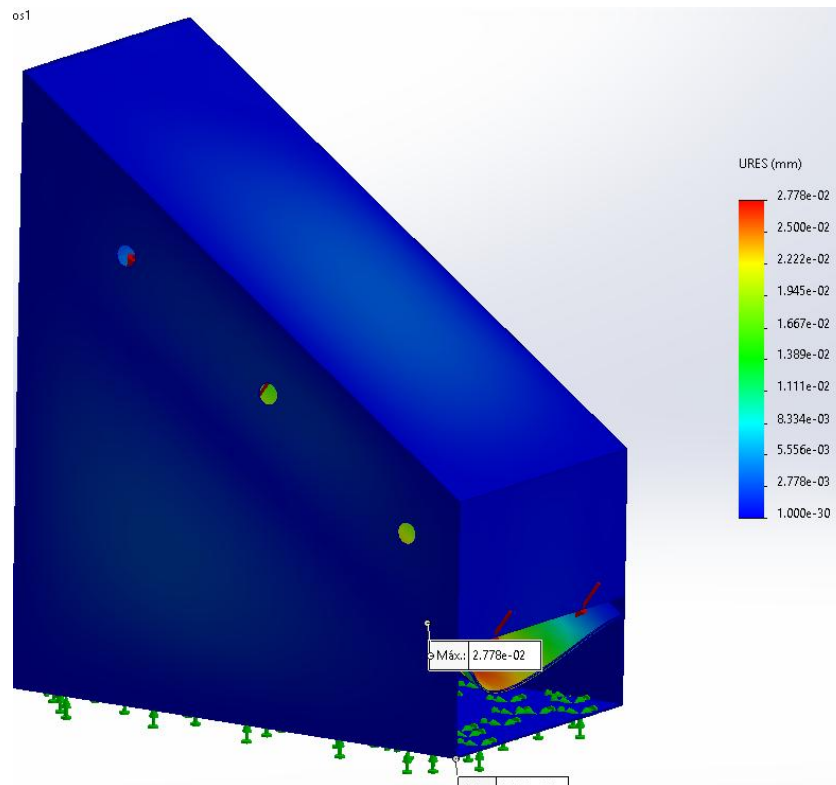


Figura 12.

Observación del desplazamiento debido a las cargas en la estructura superior

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia

En la Figura 11, se observa que la tensión máxima en la estructura superior del pelador de ajos alcanza los $1.311 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, mientras que el límite elástico del material es de $1.311 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Esto demuestra que la estructura superior es completamente funcional y capaz de soportar las tensiones durante el funcionamiento. Además, en la Figura 12, se puede apreciar que el desplazamiento máximo, causado por las fuerzas que la máquina deberá soportar durante su operación, es de $2.778 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$. Este valor es tan bajo que no tendrá un impacto significativo en el rendimiento de la máquina.

3.2.9. Diseño del sistema de transmisión de potencia

Cálculo de potencia

Para el cálculo de potencia se toma en cuenta la fuerza que requiere el sistema para lograr el proceso de desgranado. Obteniéndose a partir de datos experimentales se pudo estimar el mayor esfuerzo necesario para fracturar una cabeza de ajo y dividirla en sus dientes. Sin embargo, es posible que esta fuerza no consiga dividir equitativamente cada uno de los dientes, por lo que se utiliza un rodillo adicional, y un rodillo con cepillos hasta conseguir la división

completa de cada uno de los dientes de aros. Las fuerzas estimadas para este proceso se encuentran en el apartado anterior.

Además, sería posible considerar la potencia mínima necesaria para iniciar el movimiento cuando la máquina se encuentra en estado de reposo. Sin embargo, es posible que esta fuerza sea muy pequeña, dado el tamaño de los rodillos, y la fuerza necesaria por cada uno de ellos, ya que se requiere calcular la fuerza tangencial. De todos modos, el cálculo parte de este proceso, acotando que depende del radio del rodillo y la velocidad angular del mismo. Dado que la velocidad de alimentación depende inicialmente de la tolva, se considera utilizar 200 revoluciones por minuto para dicha velocidad.

Entonces, aplicamos la ecuación para el cálculo de potencia (P):

$$P = T \times \omega$$

Donde:

- T : Torque generado por la fuerza necesaria para el proceso ($N - m$). Dado que este proyecto plantea el uso de 3 rodillos, se considera utilizar una sumatoria de todas las fuerzas, para la suposición de que cada uno de los rodillos ejerce una fuerza tangencial sobre el mismo radio. Esto supone que, $T = F \times d$. Donde la fuerza (F) equivale a: $52,86 \text{ kgf} + 39,65 \text{ kgf} + 29,74 \text{ kgf} = 122,25 \text{ kgf}$; que, para leerse en Newtons, equivale a: $1198,86 \text{ N}$. La distancia (d) representa el radio dado para los rodillos, que luego de la selección, se estima poseen 60 milímetros de radio. Entonces, la ecuación del torque se forma como: $T = 1198,86 \text{ N} \times 0,06 \text{ m} = 71,9316 \text{ N} - m$.
- ω : Velocidad angular del elemento de trabajo (rad/s). Comentado anteriormente, se estima utilizar 200 revoluciones por minuto, que equivale a $20,94 \text{ rad/s}$.

Entonces, podemos determinar la potencia:

$$P = 71,9316 \text{ N} - m \times 20,94 \frac{rad}{s} = 1506,25 \text{ Watt}$$

La fuerza necesaria para iniciar el actuar de la máquina depende del momento de inercia con respecto al eje de rotación del sistema. Que debido al tamaño pequeño de los rodillos resultaría un valor pequeño. Para compensar este cálculo, se propone utilizar un coeficiente de eficiencia que considere el ensamblaje de los elementos mecánicos, por lo que permita considerar un valor conservador para el diseño. Así, podemos determinar que la potencia (P_F) para seleccionar el motor del sistema toma como referencia el resultado de la siguiente ecuación:

$$P_F = \frac{P}{\eta}$$

Donde:

- P: Potencia calculada (*kW*). Obtenida previamente del cálculo anterior, en este caso, su valor es: 1506,25 *Watt*
- η : Eficiencia mecánica del sistema. Valor sugerido por el diseñador, considerando, un valor conservador, se tiene 0,8.

Entonces, podemos obtener:

$$P_F = \frac{1506,25 \text{ Watt}}{0,8} = 1882,81 \text{ Watt}$$

$$P_F = 1,88 \text{ kW} = 2,52 \text{ HP}$$

Para la máquina desgranadora, se ha optado por un motor de gasolina portátil en lugar de un motor eléctrico, considerando las condiciones de operación en áreas rurales como el valle del Mantaro, donde el acceso a la electricidad es limitado o inconsistente. El motor seleccionado es un motor de gasolina PowerTitan 152F, que se ajusta a los requerimientos de potencia y eficiencia del diseño.

Tabla 8:
Características del Motor Seleccionado

Característica	Detalle
Modelo	Motor a gasolina PowerTitan 152F
Tipo de motor	Monocilíndrico, 4 tiempos, refrigerado por aire
Potencia	3 HP (2,24 kW)
Cilindrada	98 cc
Velocidad nominal	3.600 rpm
Sistema de arranque	Manual por retroceso
Peso	9 kg
Consumo de combustible	Aproximadamente 0,45 L/h
Capacidad del tanque de combustible	1,4 L
Capacidad del depósito de aceite	0,38 L

Nota: información extraída de Maquinagro S.A., Elaboración propia.

Selección de componentes de transmisión

Para el tipo de transmisión se debe de considerar la carga a la que se encontrará sometida la máquina, que, puede sugerir la inclinación hacia un tipo de transmisión por fajas, cadenas o engranajes. La velocidad estimada para una faja todavía permite su uso, sin embargo, se corre el riesgo de un resbalamiento de la faja, que conllevaría a perder cierta potencia en algunos puntos de la transmisión. Ya que se propone hacer uso de 3 ejes diferentes, el uso de engranajes conseguiría que se cambie el sentido de giro de los ejes; algo que no estamos buscando.

El primer nivel de reducción requiere una relación bastante alta, de 10: 1; por lo que la mejor opción es utilizar un reductor de engranaje sin fin y corona. De utilizar un reductor de Las opciones para esta reducción son sencillas, puesto que la diferencia de estos elementos recae sobre los fabricantes. Se determina utilizar un reductor de engranajes de gusano *NMRV063 80B14* relación de velocidad de 10: 1; reduciendo la velocidad hasta 145 revoluciones por minuto. Esto supone elevar dicha velocidad, por lo que se diseña el siguiente escalonamiento de la reducción.

Por lo tanto, queda como última opción hacer uso de cadenas y catarinas, las cuales funcionan adecuadamente bajo el tipo de transmisión esperado. Además, gracias a la baja revolución del sistema, permitirá un funcionamiento considerablemente suave, evitando que la transmisión resbale, disminuyendo los choques y generando un sistema de transmisión silencioso. Para el diseño y selección de los componentes que se transmiten, se propone hacer uso de dos sistemas, uno en el que los elementos trabajan para reducir la velocidad del motor, y otro, en el que se transmite la potencia sin reducción.

Para el primer par, que considera la transmisión del motor al eje de primer rodillo. Consideramos pertinente hacer uso del catálogo *IWIS* (2020) para transmisiones por cadena. De este modo, se determina la potencia de diseño (P_D) a partir de la siguiente fórmula:

$$P_D = P \times f_G$$

Donde:

- P : Potencia a transmitir (kW). Se considera el valor a transmitir desde el elemento seleccionado, en este caso, a la salida del motor PowerTitan 152F de 3 HP (2,2371 kW) y el reductor se cuenta con 145 rpm de velocidad angular.
- f_G : Factor de corrección general. Depende diversos factores, donde se representan otros factores de corrección que dependen de condiciones específicas. Su ecuación se expresa mediante:

$$f_G = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \times f_6$$

Donde:

- f_1 : Factor de corrección por el número de dientes de la catarina pequeña. Seleccionado inicialmente de un valor propuesto por el diseñador, para luego corregirse con la selección adecuada al comprobar la selección. Consideramos 17 dientes para la primera iteración, lo que da un resultado de 1,12 para el factor.
- f_2 : Factor de corrección por la relación de transmisión. Seleccionado inicialmente de un valor propuesto por el diseñador, para luego corregirse con la selección adecuada al comprobar la selección. Si bien se conoce el valor matemático de la transmisión, no es posible conocer todavía la relación real entre catarinas. Sin embargo, podemos partir de este dato, donde la relación se obtiene de $\frac{200}{145} = 1,38$. Entonces el factor de corrección por relación de transmisión equivale a: 1,1668.
- f_3 : Factor de corrección por choque. Seleccionado a partir del tipo de trabajo al que estará sujeta la cadena, puesto que, de presentar cargas variadas, se presenta un choque que influye en la capacidad de transmisión de potencia de la cadena. Este factor depende de un factor de choque (Y); dado que la transmisión posee carga ligera, se considera un factor de choque igual a 1,5; que finalmente ofrece un factor de corrección por choque igual a 1,185.
- f_4 : Factor de corrección por la relación de la distancia entre centros. Seleccionado inicialmente de un valor propuesto por el diseñador, para luego corregirse con la selección adecuada al comprobar la selección. Se obtiene de la ecuación $(\frac{a}{p})$, donde influye la distancia entre centros (a) y el paso (p) de la catarina. Ya que la distancia entre centros requiere que el motor se encuentre por debajo del sistema, se debe incrementar el largo de la distancia entre centros. Se considera un valor de una relación de 30, que finalmente ofrece un factor de corrección por relación de la distancia entre centros igual a 1,09.
- f_5 : Factor de corrección debido a la lubricación. Depende de la velocidad lineal que posee la cadena, y ya que, la velocidad angular es relativamente baja, se predice que la velocidad lineal estará debajo de los 4 m/s. En caso de que este valor sea mayor, se corrige luego del proceso de selección. Finalmente, para una lubricación perfecta, tenemos un valor de 1 para este factor de corrección.

- f_6 : Factor de corrección debido a la cantidad de conexiones o cantidad de pasos. Para una transmisión por cadena de dos catarinas y una cadena, se utiliza un valor de 1.

Finalmente, calculamos el factor general:

$$f_G = 1,12 \times 1,1668 \times 1,185 \times 1,09 \times 1 \times 1 = 1,688$$

Entonces, la potencia de selección de cadena es:

$$P_D = 2,2371 \text{ kW} \times 1,549 = 3,776 \text{ kW}$$

Se utiliza la norma DIN 8188 para la selección de una cadena con estándar americano partir de un diagrama de selección. Aunque el diagrama permite utilizar una cadena de menor grado, se considera a la cadena M128 A 12A, como la mejor opción. En base a esta información, se comprueba la selección de este elemento a partir de los parámetros especificados por el fabricante. Esta cadena tiene un paso (p) de 19,05 milímetros que posee una masa por longitud (q) de 1,47 kg por metro y un área de rodamiento (f) de 1,06 cm²; y, una carga de rotura estándar (F_B) de 31 800 N.

Determinamos el valor del diámetro primitivo de la catarina mayor y menor:

$$d = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{z}\right)}$$

Donde:

- p : Paso de la cadena (mm).
- z : Cantidad de dientes en la catarina.

Para el diámetro primitivo de la catarina menor:

$$d_{men} = \frac{19,05 \text{ mm}}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{17}\right)} = 103,67 \text{ mm}$$

Determinamos la cantidad de dientes de la polea mayor:

$$i = \frac{z_{may}}{z_{men}} = \frac{\omega_{men}}{\omega_{may}}$$

Donde:

- z_{may} : Cantidad de dientes de la polea mayor.
- z_{men} : Cantidad de dientes de la polea menor.
- ω_{may} : Velocidad angular de la catarina mayor.
- ω_{men} : Velocidad angular de la catarina menor.

Así, tenemos:

$$1,38 = \frac{z_{may}}{17}$$

Entonces:

$$z_{may} = 23,46$$

n el caso de usar una catarina con números pares de dientes se corre el riesgo de que pueda obstruirse puesto que es recomendable que el número de pasos sea par. Por lo que se estima considerar 25 dientes para la catarina mayor. Así, estimamos la nueva relación:

$$i = \frac{25}{17} = 1,47$$

Entonces, de la relación se obtiene la velocidad angular de la catarina menor:

$$\frac{25}{17} = \frac{\omega_{men}}{145}$$

$$\omega = 213,24 \text{ rpm}$$

Luego, para el diámetro primitivo de la polea mayor:

$$d_{may} = \frac{19,05 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{25}\right)} = 151,99 \text{ mm}$$

Comprobamos el número de pasos (X):

$$X = 2 \times \frac{a}{p} + \frac{z_{may} + z_{men}}{2} + \frac{A \times p}{a}$$

Donde:

- a : Distancia entre centros (mm). Seleccionado para utilizar un valor provisional, que se puede obtener de la relación establecida con anterioridad. Se consideró 571,5 milímetros para esto.
- p : Paso de la cadena seleccionada (mm). Seleccionado previamente de la cadena seleccionada por lo que su valor es igual a 19,05 milímetros.
- A : Factor de compensación. Obtenido a partir de tablas, o también, de la fórmula: $A = \left(\frac{z_{may} - z_{men}}{2 \times \pi}\right)^2$. Esto significa que el valor es: 1,621.

Así calculamos:

$$X = 2 \times \frac{571,5}{19,05} + \frac{(25 + 17)}{2} + \frac{1,621 \times 19,05}{571,5} = 81,054$$

Se recomienda utilizar números de pasos pares, por lo que, para obtener un diseño más compacto, se decide reducir la cantidad de pasos a 80. Entonces, la distancia entre centros se obtiene:

$$a = [2(X) - (z_{may} + z_{men})] \times C \times p$$

Donde:

C : Factor de distancia entre centros. Obtenido de tablas del fabricante para reducir el tamaño de la ecuación, que depende del resultado de: $\left(\frac{X-z_{men}}{z_{may}-z_{men}}\right)$. Dado esto, el resultado es 0,24977.

Entonces resolvemos:

$$a = [2(80) - (25 + 17)] \times 0,24977 \times 19,05 = 561,458 \text{ mm}$$

Se determina la velocidad lineal de la cadena (v) por medio de:

$$v = \frac{d \times \pi \times n_1}{60000}$$

Donde:

- d : Diámetro primitivo de la catarina menor (mm). Calculado anteriormente, para la catarina menor, el diámetro primitivo es 103,67 mm .
- n_1 : Velocidad angular de la catarina menor. Calculado anteriormente, para la catarina menor, la velocidad angular es 213,24 rpm .

Se resuelve:

$$v = \frac{103,67 \text{ mm} \times \pi \times 213,24 \text{ rpm}}{60000} = 1,158 \frac{m}{s}$$

Se puede calcular la fuerza de tracción que ocurre en la cadena (F) por medio de la fórmula:

$$F = \frac{1000 \times P}{v}$$

Donde:

- P : Potencia calculada anteriormente (kW). Se aplica la potencia a transmitir, antes de aplicar el factor de corrección general. Por lo que se tiene 2,2371 kW .
- v : Velocidad lineal de la cadena (m/s). Calculado anteriormente en el punto anterior, este valor es igual a 1,158 m/s .

Entonces:

$$F = \frac{1000 \times 2,2371 \text{ kW}}{1,158 \frac{m}{s}} = 1931,865 \text{ N}$$

La fuerza centrífuga (F_r) que soporta la cadena se obtiene de:

$$F_r = q \times v^2$$

Donde:

- q : Masa de la cadena por longitud (kg/m). Determinado del catálogo en cuestión, se acotó su valor en al inicio de este apartado, es 1,47 kg/m .

- v : Velocidad lineal de la cadena (m/s). Determinado anteriormente, es igual a $1,158 m/s$.

Se resuelve:

$$F_r = 1,47 \frac{kg}{m} \times \left(1,158 \frac{m}{s}\right)^2 = 1,971 N$$

Se observa que la fuerza centrífuga que soporta la cadena es extremadamente baja en comparación con el valor de la fuerza de tracción. Por lo que, en muchos casos, este valor no es considerado para posteriores cálculos, pues resulta despreciable. Por esto, se considera, finalmente, la fuerza de total de tracción (F_G) ignorando dicha fuerza.

Determinamos la presión en el rodamiento matemático (p_r) al usar la fórmula:

$$p_r = \frac{F_G}{f}$$

Donde:

- F_G : Fuerza total de tracción (N). Determinado anteriormente, es igual a $1931,865 N$.
- f : Área del rodamiento (cm^2). Determinado del catálogo seleccionado, acotado con anterioridad al inicio de este apartado, por lo que equivale a $1,06 cm^2$.

Se calcula:

$$p_r = \frac{1931,865 N}{1,06 cm^2} = 1822,51 \frac{N}{cm^2}$$

Por otro lado, la presión en el rodamiento permisible (p_{zul}) se obtiene de:

$$p_{zul} = \frac{p_v \times \lambda}{f_5 \times f_6}$$

Donde:

- p_v : Presión permisible de referencia ($\frac{N}{cm^2}$). Obtenida del catálogo de selección del elemento, que depende de la velocidad lineal de la cadena y la cantidad de diente de la catarina menor. En este caso, este valor es igual a $2420 \frac{N}{cm^2}$.
- λ : Factor de fricción por desplazamiento. Obtenido de catálogo, depende de del factor de choque (Y). Por eso, se estima que es igual a $0,68$.
- f_5 : Factor de corrección debido a la lubricación. Seleccionado anteriormente, es igual a 1 .
- f_6 : Factor de corrección debido a la cantidad de conexiones o cantidad de pasos. Seleccionado anteriormente, es igual a 1 .

Entonces:

$$p_{zul} = \frac{2420 \frac{N}{cm^2} \times 0,865}{1 \times 1} = 2093,3 \frac{N}{cm^2}$$

Ya que la presión permisible sobre los rodamientos (p_{zul}) es mayor a la presión matemática sobre los rodamientos (p_r) podemos decir que este parámetro de selección comprueba el elemento. Por esto, nos compete calcular solamente, los factores de seguridad para la carga estática de rotura (γ_{st}) y, para la carga dinámica de rotura (γ_d). Para ello, aplicamos:

$$\gamma_{st} = \frac{F_B}{F_G}$$

Donde:

- F_B : Fuerza de rotura de la cadena (N). Determinado del catálogo de selección, acotado anteriormente para el elemento selección. Esto significa que este valor es igual a 31 800 N .
- F_G : Fuerza total de tracción (N). Determinado anteriormente, es igual a 1931,865 N .

Luego:

$$\gamma_{st} = \frac{31\,800\,N}{1931,865\,N} = 16,46$$

Para el otro factor:

$$\gamma_d = \frac{F_B}{F_G \times Y}$$

Donde:

- Y : Factor de choque. Seleccionado anteriormente para el cálculo y selección de la cadena. Se considera un valor de 1,5.

Esto significa:

$$\gamma_d = \frac{31\,800\,N}{1931,865\,N \times 1,5} = 10,97$$

El valor mínimo recomendado para el factor de seguridad de carga estática de rotura (γ_{st}) es 7, por lo que podemos decir que este elemento sobrepasa correctamente los parámetros de selección. Con respecto al factor de seguridad de carga dinámica de rotura (γ_d) es 5; por lo que el valor calculado también permite comprobar este valor al ser mayor. Podemos decir que la selección de este componente fue la correcta, por lo que podemos sugerir la construcción o adquisición de estos en hierro fundido, asegurando un bastidor para la lubricación de este a partir de un lubricante SAE 30.

Complementamos el cálculo determinando la distancia entre centros para las catarinas de los ejes de transmisión donde se sientan los rodillos. Calculamos inicialmente el número de pasos (X). Recordamos que, para este sistema, las catarinas poseen la misma cantidad de dientes, por lo que la ecuación se reduce a:

$$X = \frac{2 \times a}{p} + Z$$

Donde:

- a : Distancia entre centros (mm). Se estimó en el apartado anterior utilizar 270 milímetros para esto.
- p : Paso de la cadena (mm). Se seleccionó la cadena al inicio de este apartado, cuyo paso es igual a 19,05 milímetros.
- z : Número de dientes de las catarinas. Seleccionado a partir de la catarina menor, por lo que es igual a 17.

Entonces:

$$X = \frac{2 \times 270}{19,05} + 17 = 45,35$$

Tal como se comentó anteriormente, es recomendable utilizar un número par de pasos, por lo que se incrementa este valor para ser igual a 46. Esto finalmente nos permite calcular la distancia real entre centros; que, siendo catarinas iguales, la ecuación se puede acortar a:

$$a = \frac{X - z}{2} \times p$$

Se resuelve para los datos previamente establecidos:

$$a = \frac{46 - 17}{2} \times 19,05 = 276,225 \text{ mm}$$

Esta es la nueva distancia de separación que existe entre los rodillos, cuya magnitud se encuentra en el valor esperado, por lo que el diseño de la plataforma no requiere una iteración adicional. También, se utilizó una plancha de acero en dicha plataforma para incrementar el valor del momento de inercia de la sección de las vigas, que permite continuar con el cálculo. La distancia entre centros para el eje principal de los rodillos también es permisible para la distribución de la estructura de dicha plataforma, por lo que podemos proceder.

Diseño de los ejes

Para este punto del diseño se tiene como enfoque, analizar el asiento del rodillo y las dos catarinas que se encargan de recibir la potencia, además de transmitirla hacia el siguiente rodillo. Existen dos ejes diferentes, uno que recibe la potencia transmitida desde el motor, pasando por el primer eje; sobre este último, se sientan dos catarinas de 17 dientes, donde una

se encarga de recibir la potencia, y la otra de transmitirla al siguiente eje. El eje final, que es donde se sienta el rodillo con cepillo, recibe la potencia por medio de una catarina de 17 dientes, donde termina la transmisión.

Para el material se considera utilizar acero AISI 1040 puesto que este elemento se encontrará envuelto por el rodillo, fuera del contacto con el material. Además, el uso de rodamientos sellados podría evitar que algunos contaminantes entren a la cámara de desgranado. Aunque esto es poco probable, se prefiere el uso de elementos que permitan una garantía en el funcionamiento de la máquina, para evitar acciones adicionales en el uso. Estos ejes son analizados considerando que la carga del proceso de desgranado actúa de manera secuencial.

Entonces, al poder diseñar el eje que irá montado en el rodillo, podremos replicar sus dimensiones sobre los otros elementos. Para el cálculo del diámetro, se plantea utilizar el modelo que Mott (18), donde intervienen ciertos factores provenientes tanto del material, como de las cargas a las que se somete el eje. Para el presente proyecto, se toma en cuenta lo postulado por dicho autor, quien sugiere dos ecuaciones para casos diferentes, uno donde se cuenta con el momento flector y par torsor, y otro, cuando solamente se cargan esfuerzos cortantes sobre el elemento.

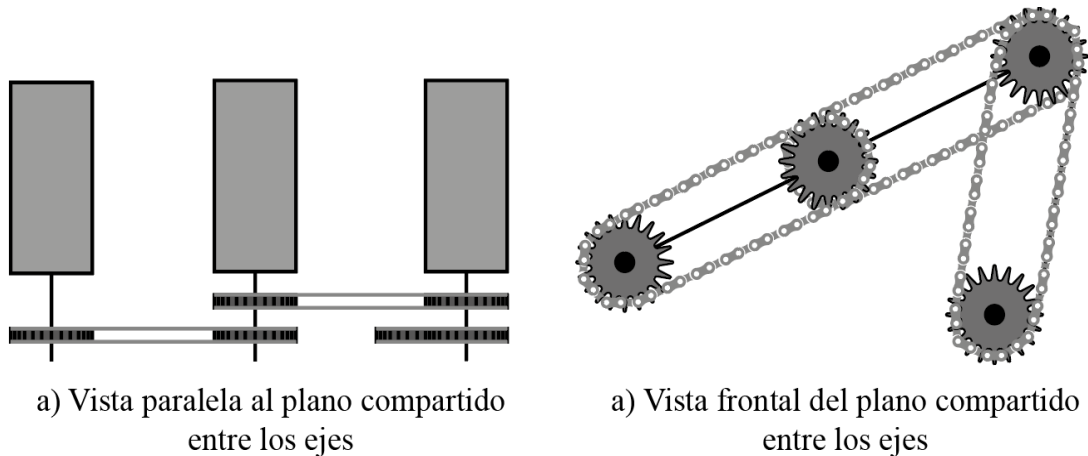


Figura 13:

Distribución de los elementos en el eje

Nota: Elaboración propia

Estas son; la primera ecuación:

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{K_t \times M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

La segunda ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{2,94 \times K_t \times V \times N}{S'_n}}$$

Donde:

- N : Factor de seguridad. Valor propuesto por el diseñador, seleccionándose a partir de las consideraciones convenientes correspondientes a la calidad de los datos, la seguridad del cálculo, el tipo de uso del elemento, entre otros.
- M : Momento flector al que se somete el elemento ($lb - pulg$). Seleccionado a partir de las cargas a las que se somete el elemento.
- T : Par torsor al que se somete el elemento ($lb - pulg$). Seleccionado a partir de las cargas a las que se somete el elemento.
- V : Esfuerzo cortante al que se somete el elemento (lb). Seleccionado a partir de las cargas a las que se somete el elemento.
- K_t : Factor de concentración de esfuerzos. Seleccionado al considerar la geometría que gobierna el elemento. Esto supone analizar chaflanes, agujeros para cuñas, ranuras para anillos de retén, entre otros.
- S'_n : Resistencia a la fatiga modificada ($kips$). Valor seleccionado en consideración del material, que depende de un valor de resistencia a la fatiga el cual recibe una variación debido a efectos de factores variados. Para el cálculo, se considera utilizar acero AISI 1040 con un tratamiento térmico OQT 800. Esto permite calcular el valor a la tensión y la resistencia a la fatiga (S_n), siendo esta última, el punto a evaluar, se anota su magnitud: 45 $kips$. Luego, se debe aplicar la ecuación para obtener la resistencia última a la fatiga, la cual se expresa mediante:

$$s'_n = s_n \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f$$

Se establece el significado de cada factor:

- k_a : Factor debido a la condición superficial. Este elemento requiere conocer el esfuerzo a la tensión (s_u), cuyo valor será anotado posteriormente ya que también es importante para el dimensionamiento diametral del eje. Además, para este factor, se usa una ecuación que permite calcularlo, dando como resultado 0,768.
- k_b : Factor debido al tamaño. Este factor requiere considerar un valor promedio previo para determinar su magnitud, pues también requiere de una ecuación. Luego, es posible corregir este valor y rehacer el cálculo. Para evitar esto, y conviniendo a un diseño conservador, se utilizar un diámetro máximo de 2 pulgadas, por lo que el resultado para el factor es 0,8162.

- k_c : Factor debido al tipo de carga. Este elemento depende principalmente al tipo de carga, flexionante, torsora o de tracción, que actúa sobre el eje. Ya que, para su evaluación se estudia analizando el esfuerzo de fatiga debido a un esfuerzo flexionante invertido repetitivo y un esfuerzo de corte torsional constante, este factor posee un valor igual a 1.
- k_d : Factor debido a la temperatura. Para este elemento se debe tener la cuenta la temperatura de trabajo de la pieza, o cuanto menos, la posible temperatura a la que se somete el eje. Debido a las condiciones de trabajo, se puede considerar que la temperatura del elemento no sobrepasará los 50°. Por lo que este factor toma como resultado: 1,01.
- k_e : Factor debido a la confiabilidad. Ya que todavía existe una posibilidad de fallo estadístico para el elemento, se considera un factor de confiabilidad para el proceso de diseño y construcción. Considerando dicha confiabilidad como 95%; se toma como valor para este factor: 0,868.
- k_f : Factor debido a efectos variados. Este último elemento engloba diversos factores que podrían influir en el cálculo o acción del eje una vez éste se encuentre instalado. Es posible, por ejemplo, que exista corrosión que pueda dañar el eje, frecuencias cíclicas que actúen en momentos inoportunos, entre otras condiciones. Para tomar en consideración este punto, se recomienda utilizar un valor de 0,85.

Así:

$$s'_n = 45 \text{ kips} \times 0,768 \times 0,8162 \times 1 \times 1,01 \times 0,868 \times 0,85$$

Por lo tanto, la resistencia última a la fatiga (s'_n) sería: 21,02 kips

- S_y : Punto de fluencia (kips). Valor obtenido al considerar las propiedades del acero seleccionado, incluyendo, además, el tratamiento térmico y superficial que haya sufrido el elemento. Para elementos maquinados en frío, con las especificaciones del acero anotadas previamente, se toma una magnitud de: 92 kips.

Luego, se han de determinar las cargas que actúan sobre el eje, ya que existen dos catarinas, realizaremos la descomposición de las fuerzas que ejercen estos elementos. Del mismo modo, el rodillo efectuará una carga que se opone al esfuerzo que este último genera sobre la cabeza de ajo. Esto se puede observar en el diagrama de esfuerzos cortantes y momentos torsores que se muestra entre los anexos; será de dicho gráfico de donde finalmente

se extraen la información para el dimensionamiento descrito anteriormente. Por lo tanto, tenemos:

El par torsor (T), dado en libras por pulgada, entregado por el motor se expresa mediante:

$$T = 63000 \times \frac{P}{n}$$

Donde:

- P : Potencia entregada (HP). Potencia entregada por el motor, cuya potencia es de 3 HP; se considera la potencia total que ofrece el elemento.
- n : Velocidad angular del eje en consideración (rpm). Debido a que se calculó con anterioridad, esta velocidad en el eje del rodillo es 214,24 rpm.

Así, podemos determinar:

$$T = 63000 \times \frac{3}{214,24} = 882,18 \text{ lb} - \text{pulg}$$

La fuerza del rodillo en el punto N , considerando además que existe un ángulo de inclinación de 35° para la plataforma de desgranado (Recordar que se toma como referencia el plano de coordenadas referente al sistema de transmisión de potencia y no al sistema de desgranado). Por lo tanto, se describen dos componentes para el punto N :

$$F_{Ny} = 181,31 \text{ lb} \times \cos(35^\circ) = 148,52 \text{ lb} (\uparrow)$$

$$F_{Nz} = 181,31 \text{ lb} \times \sin(35^\circ) = 103,99 \text{ lb} (\downarrow)$$

La fuerza (F) de la catarina del punto Q y O ; se representa mediante:

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

Donde:

- r : Diámetro primitivo dividido entre dos (pulg). Se considera para una catarina de 17 dientes que se reparte en cada uno de los ejes, la cual posee 103,67 milímetros o 4,08 pulgadas de diámetro.

Por lo tanto:

$$F = \frac{882,18 \text{ lb} - \text{pulg}}{2,04 \text{ pulg}} = 432,44 \text{ lb}$$

Se considera el ángulo de inclinación para ambos, siendo un ángulo de 35° para la catarina en el punto O , y un ángulo de 15° para la catarina en el punto Q :

$$F_{Qy} = 432,44 \text{ lb} \times \sin(35^\circ) = 248,04 \text{ lb} (\downarrow)$$

$$F_{Qz} = 432,44 \text{ lb} \times \cos(35^\circ) = 354,23 \text{ lb} (\downarrow)$$

También:

$$F_{Qy} = 432,44 \text{ lb} \times \cos(15^\circ) = 427,71 \text{ lb} (\downarrow)$$

$$F_{Qz} = 432,44 \text{ lb} \times \sin(15^\circ) = 111,92 \text{ lb} (\downarrow)$$

Habiendo determinado los datos necesarios para aplicar en la ecuación, se puede realizar los cálculos en base a cada una de las características de cada asiento de los elementos en el eje. Se recuerda, que se considera el factor de esfuerzos para cada punto, tomando en cuenta la geometría que rige dicho punto. Así tenemos:

Para el punto M, se tiene un chaflán para sentar adecuadamente el rodamiento, por lo que se prefiere un chaflán agudo, lo que, a su vez incrementa el factor de concentración de esfuerzos. Además, consideramos que en este punto no existe momento flector, por lo que se utiliza la ecuación adecuada para este caso:

$$D_1 = \sqrt{\frac{2,94 \times 2,5 \times 127,94 \text{ lb} \times 2}{21,02 \text{ kips}}} = 0,299 \text{ pulg}$$

$$D_1 = 7,598 \text{ mm}$$

Para el punto N, nos encontramos con el asiento del rodillo, que se planea asegurar por medio de un anillo de retén y el escalonamiento del lado derecho. Debido al uso del anillo de retén el factor de concentración de esfuerzos se incrementa. Además, aquí se cuenta con momentos flectores y el par torsor:

$$D_2 = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{3 \times 1159,12 \text{ lb} - \text{pulg}}{21,02 \text{ kips}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{882,18 \text{ pulb} - \text{lb}}{92 \text{ kips}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_2 = 1,5 \text{ pulg} = 38,098 \text{ mm}$$

El anillo de retén incrementa el tamaño del rodamiento en un margen de 3%. Por esto, se tiene:

$$D_2 = 1,545 \text{ pulg} = 39,24 \text{ mm}$$

Para el punto O, se encuentra el asiento de la primera catarina, por lo que se puede utilizar un chaflán redondeado, cuyo factor de concentración de esfuerzos no es tan alto. Además, podemos considerar las cargas encontradas en este punto. Entonces, aplicamos la fórmula para dimensionar:

$$D_4 = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{1,5 \times 690,61 \text{ lb} - \text{pulg}}{21,02 \text{ kips}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{882,18 \text{ pulb} - \text{lb}}{92 \text{ kips}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_4 = 1,006 \text{ pulg} = 25,553 \text{ mm}$$

Recordemos que el diámetro 3 (D_3) se encuentra entre el diámetro 2 (D_2) y el diámetro 4 (D_4), por lo que depende de estos valores para diseñarse:

$$D_3 > D_4; D_2$$

En el punto P, se sienta el segundo rodamiento, de manera análoga a como se diseñó el asiento del primero, se procede con el cálculo. De este modo tenemos:

$$D_5 = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{2,5 \times 870,97 \text{ lb} - \text{pulg}}{21,02 \text{ kips}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{882,18 \text{ pulb} - \text{lb}}{92 \text{ kips}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_5 = 1,284 \text{ pulg} = 32,615 \text{ mm}$$

Finalmente, tenemos el punto Q, que es el asiento de otra catarina. Entonces, podemos complementar este cálculo aplicando el diseño que tenemos hasta ahora. Sin embargo, es posible comprobar este punto considerando solamente el par torsor, en lugar del esfuerzo cortante como contraste del cálculo del punto M:

$$D_6 = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \times \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{882,18 \text{ pulb} - \text{lb}}{92 \text{ kips}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_6 = 0,553 \text{ pulg} = 14,048 \text{ mm}$$

Gracias a la información que tenemos se pudo dimensionar, de manera matemática, cada uno de los escalonamientos que tenemos. Sin embargo, todavía se puede aproximar estos valores para tener dimensiones que sean más sencillas de mecanizar, considerando, además, el factor de concentración de esfuerzos que aplicamos. Así, se resume cada una de las dimensiones calculadas:

$$D_1 = 30 \text{ mm}$$

$$D_2 = 40 \text{ mm}$$

$$D_3 = 50 \text{ mm}$$

$$D_4 = 40 \text{ mm}$$

$$D_5 = 30 \text{ mm}$$

$$D_6 = 20 \text{ mm}$$

Selección de cojinetes y rodamientos

Habiendo seleccionado el diámetro de los rodamientos, podemos observar que ambos requieren un diámetro, en el eje, de 30 milímetros. Esta dimensión se tomó por conveniencia, ya que resulta más sencillo seleccionar el rodamiento que podríamos incluir en este punto. Aunque, ciertamente, el rodamiento del lado izquierdo podría ser uno pequeño, el tamaño mínimo todavía es representativo, ya que se requiere uno de por lo menos 15 milímetros. Entonces, para trabajar de manera conservadora se hace uso la selección bajo la dimensión prevista.

Determinamos inicialmente, el factor de velocidad (f_n) en base a la velocidad angular del eje:

$$f_n = \sqrt[3]{\left(\frac{33,3}{214,24}\right)} = 0,5377$$

Luego, determinamos el factor de vida (f_h), el cual, depende de la carga dinámica del rodamiento seleccionado y el factor de vida previamente calculado:

$$f_h = 0,5377 \times \frac{10800}{1901.7} = 3,0536$$

Se determina, el número de horas de que podrá mantenerse en funcionamiento. Ya que es una máquina de uso constante, se espera que por lo menos, su tiempo de vida esté por encima de 10 000 horas. Así, tenemos:

$$L_{10h} = 500 \times (3,0536)^3 = 14\,237,65 \text{ horas}$$

El rodamiento seleccionado proviene del catálogo NTN bajo el código del fabricante: F-UC205D1/LP03. Este elemento fue seleccionado gracias a que puede encontrarse tanto en chumaceras tipo puente y de tipo brida de diversos tamaños, incluso con sellos para evitar la contaminación, que facilitará el diseño de los elementos posteriores en el diseño estructural. Además, gracias a su tiempo de vida por encima de lo esperado, se podrá mantener este elemento trabajando sin requerir un mantenimiento constante ni revisiones cotidianas.

3.2.10. Diseño del sistema estructural

Selección de componentes estructurales

En la parte estructural del sistema, se pudo diseñar inicialmente la plataforma donde se realiza el trabajo del sistema. Por lo que es necesario diseñar la parte inferior de la máquina, donde se encuentra el soporte que sienta la plataforma de soporte de los rodillos, la tolva y el motor. El diseño de este sistema considera la ubicación del motor por debajo de la plataforma, para evitar la inclusión de este motor en la parte superior, ubicando el punto de centro de masa de la máquina en una parte inferior. Así, se corre un menor riesgo de que podría existir una volcadura en el sistema.

Este diseño considera la ubicación del motor y el reductor de gusano de manera horizontal, permitiendo esconder el sistema por completo debajo de la plataforma. Por lo que podemos considerar que la viga que soporta estos elementos son dos piezas, mientras que unos travesaños permiten sentar los demás elementos. Estos travesaños ejercen la fuerza bajo las cuales se diseña la máquina, por lo que evitar una deformación sobre este punto resulta importante. Sin embargo, todavía es necesario evitar una deformación excesiva en la máquina sobre el punto de máxima deformación.

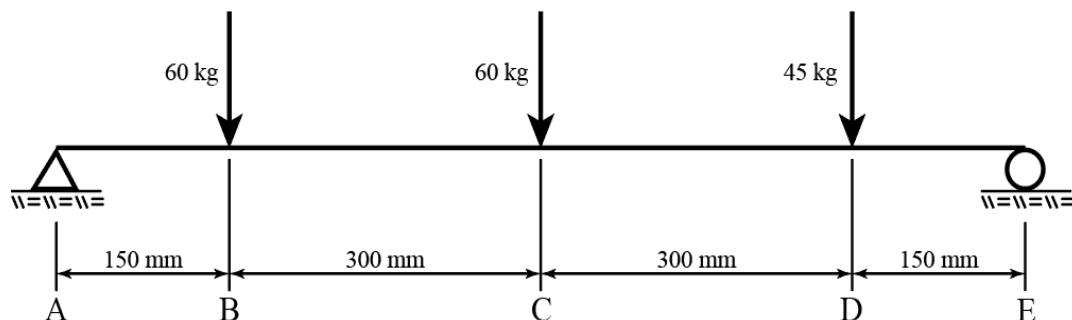


Figura 14:
Distribución de cargas sobre la viga estructural

Nota: Elaboración propia

Tal como se ve en la figura, su distribución es prácticamente igual a la distribución propuesta en la plataforma. Esto sucede pues, se propone utilizar dos puntos de apoyo sobre la viga, que coincidan con los intermedios de la plataforma superior. De este modo, la estructura debería ser capaz de soportar de mejor manera los esfuerzos de compresión a los que se encuentra sujeta cuando la máquina fractura las cabezas de ajos, absorbiendo al mismo tiempo, las vibraciones del sistema. Para comprobar el diseño, se hace énfasis en dos puntos: el punto de máxima deflexión y el punto de unión del motor y el reductor.

Así, para llegar a medir las deflexiones del material, partimos del cálculo de reacciones en los puntos A y E. Siendo estos:

$$R_A = 87,5 \text{ kg} \wedge R_E = 77,5 \text{ kg}$$

Con estos valores, podemos utilizar algún método para describir las fórmulas necesarias para determinar la deformación. Para el presente caso, se propone aplicar el método de doble integración, el cual nos permitirá calcular, no solamente la deformación, sino el ángulo que posee la viga en el punto de análisis deseado. Por lo que determinamos tramos para obtener las sendas ecuaciones, de esfuerzo cortante, momento flector, ángulo y deformación:

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del tramo AB son:

$$V = 87,5$$

$$M = 87,5(x)$$

$$\theta = \frac{87,5}{2}(x^2) + C_1$$

$$\delta = \frac{87,5}{2 \times 3}(x^3) + C_1(x) + C_2$$

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del tramo BC son:

$$V = 27,5$$

$$M = 27,5(x) + 9$$

$$\theta = \frac{27,5}{2}(x^2) + 9(x) + C_3$$

$$\delta = \frac{27,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{9}{2}(x^2) + C_3(x) + C_4$$

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del tramo CD son:

$$V = -32,5$$

$$M = -32,5(x) + 36$$

$$\theta = -\frac{32,5}{2}(x^2) + 36(x) + C_5$$

$$\delta = -\frac{32,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{36}{2}(x^2) + C_5(x) + C_6$$

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del tramo DE son:

$$V = -77,5$$

$$M = -77,5(x) + 69,75$$

$$\theta = -\frac{77,5}{2}(x^2) + 69,75(x) + C_7$$

$$\delta = -\frac{77,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{69,75}{2}(x^2) + C_7(x) + C_8$$

Luego, se observa la existencia de coeficientes, debido al proceso de integración que requieren un valor numérico, por lo que es necesario resolver el sistema de ecuaciones. Para esto, consideramos pertinente el uso del principio de continuidad, que sugiere que cada punto compartido por los tramos debe de poseer la misma magnitud en los resultados de las ecuaciones. Lo que finalmente nos permite calcular dichos coeficientes y determinar los puntos asignados para el análisis:

Las ecuaciones corregidas que rigen el comportamiento del tramo AB son:

$$V = 87,5$$

$$M = 87,5(x)$$

$$\theta = \frac{87,5}{2}(x^2) - 6,084$$

$$\delta = \frac{87,5}{2 \times 3}(x^3) - 6,084(x)$$

Las ecuaciones corregidas que rigen el comportamiento del tramo BC son:

$$V = 27,5$$

$$M = 27,5(x) + 9$$

$$\theta = \frac{27,5}{2}(x^2) + 9(x) - 6,759$$

$$\delta = \frac{27,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{9}{2}(x^2) - 6,759(x) + 0,034$$

Las ecuaciones corregidas que rigen el comportamiento del tramo CD son:

$$V = -32,5$$

$$M = -32,5(x) + 36$$

$$\theta = -\frac{32,5}{2}(x^2) + 36(x) - 12,834$$

$$\delta = -\frac{32,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{36}{2}(x^2) - 12,834(x) + 0,945$$

Las ecuaciones corregidas que rigen el comportamiento del tramo DE son:

$$V = -77,5$$

$$M = -77,5(x) + 69,75$$

$$\theta = -\frac{77,5}{2}(x^2) + 69,75(x) - 25,491$$

$$\delta = -\frac{77,5}{2 \times 3}(x^3) + \frac{69,75}{2}(x^2) - 25,491(x) + 4,109$$

Para determinar el punto de máxima deformación se realiza un proceso de cálculo para determinar los puntos máximos y mínimos de la ecuación del ángulo. Pues, cuando dicha ecuación es igual a cero, la deformación es máxima. Así, se logró determinar que el punto de máxima deflexión ocurre cuando:

$$x = 0,4465$$

Por otro lado, se propuso tomar el punto D como referencia, ya que es en esta ubicación donde se sienta el motor, del cual se debe calcular el ángulo generado por las cargas. Se asume que las cargas de compresión del sistema de desgranado no inciden sobre este sistema de manera estática, sino de manera dinámica el trabajar por lo que se propone incrementar el momento de inercia de la sección. Para diseños de precisión moderada la deformación se encuentra limitada, sin embargo, el ángulo depende de las tolerancias dadas por el fabricante del sistema de transmisión para evitar un desalineamiento.

Entonces, la deformación máxima, obtenida da a partir de la doble integral es:

$$\delta = \frac{27,5}{2 \times 3}(0,4465^3) + \frac{9}{2}(0,4465^2) - 6,759(0,4465) + 0,034$$

$$\delta = \iint M(x)dx = -1,67919 \text{ kgf} - m^3$$

Corregimos las unidades de la deformación para utilizarlas en las ecuaciones posteriores:

$$\iint M(x)dx = -1,67919 \text{ kgf} - m^3 = -16.467 \text{ N} - m^3$$

Consideramos la existencia de dos vigas en el momento del cálculo de deflexión, aunque para el cálculo del ángulo de deflexión solamente influye una de ellas. Para determinar el momento de inercia, la ecuación se puede despejar a:

$$IE\delta = \iint M(x)dx$$

$$I = \frac{\iint M(x)dx}{E \times \delta_l}$$

Evitamos acotar la representación de cada uno de los elementos que influyen en la ecuación puesto que estos elementos ya se describieron anteriormente. Con la diferencia que, la deformación límite permita para este sistema es 0,000675 milímetros. Si bien, sobre este punto, el punto donde $x = 0,4465$; representa el punto de análisis, sobre este no se sienta ningún elemento rotativo. Por lo que, su análisis se orienta al simbolismo de un diseño

conservador, que finalmente, nos permitirá seleccionar una viga que ofrezca un ángulo de deflexión igual de conservador.

Entonces, se resuelve:

$$I = \frac{-16.467 \text{ N} - \text{m}^3}{2 \times 199,948 \times 10^9 \text{ Pa} \times 0,000675 \text{ m}} = 6,103 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I = 0,06103 \times 10^6 \text{ mm}^4 = 0,1466 \text{ pulg}^4$$

De un catálogo de secciones de viga se puede obtener una sección para las vigas que se toman como referencia. Coincidentemente, se pudo tomar como opción una viga cuadrada de 40 milímetros por 40 milímetros con 2 milímetros de espesor. Este elemento, utilizado en la plataforma ofrece una rigidez sustancial para el sistema, por lo que utilizarlo en la estructura permitirá adquirir este elemento con una reducción de costo. Además, el tipo de unión esperado para la estructura son uniones soldadas, que deberán aplicarse alrededor del perímetro de las vigas al entrar en contacto con las columnas.

Finalmente, podemos comprobar que la selección de la viga ofrezca un ángulo reducido para el punto donde se sienta el motor y el reductor. Así, podemos aplicar la ecuación determinada anteriormente para el tramo donde se encuentra el punto D. De este modo tenemos:

$$IE\theta = \int M(x)dx$$

Se calcula el resultado de la ecuación para tal punto:

$$\int M(x)dx = -\frac{77,5}{2}(0,75^2) + 69,75(0,5) - 25,491 = 5,025 \text{ kgf} - \text{m}^2$$

$$\int M(x)dx = 5,025 \text{ kgf} - \text{m}^2 = 49,278 \text{ N} - \text{m}^2$$

Así procedemos:

$$\theta_D = \frac{49,278 \text{ N} - \text{m}^2}{2 \times 199,948 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 6,8 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\theta_B = 1,812 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

La inclinación sugiere que el punto donde se sienta el motor está inclinado de manera horizontal en dirección hacia la izquierda, acortando su deformación conforme se acerca hacia el punto extremo derecho, es decir, el punto E. Debido a que el ángulo es bastante pequeño, la deformación que sufre este punto es también pequeña, por lo que se puede decir que la tolerancia dada para su ensamblaje será suficiente para evitar que los ejes se desbalancen

paralelamente. Sin embargo, para obtener un diseño más adecuado, se propone usar una pequeña base para el motor del mismo material que la estructura.

Así, podemos concluir este punto, considerando la inclusión de travesaños de la misma sección, que permitirán el diseño del asiento del motor y el reductor, además de servir como unión para la estructura analizada desde la perspectiva presentada. Se sugiere, también, aplicar soldadura con electrodos E6011 para los puntos de unión, incluyendo puntos de anclaje para el bastidor de seguridad del sistema de transmisión de potencia. para esto, es posible considerar plásticos de alta dureza, como el polipropileno, o acero ASTM A36, con planchas de bajo espesor.

Simulación estructural del sistema

En el punto anterior se pudo determinar las secciones para cada una de las vigas, columnas y travesaños a utilizar en la máquina. Gracias a esto, se pudo diseñar finalmente, la estructura, considerando para ella los tipos de unión necesario. Además, también se logró definir las características de los bastidores, tanto para la parte superior, como la inferior. Para analizar profundamente la selección de estos elementos, se procede a una simulación, donde se podrá comprobar que deformaciones tomadas en consideración estén de acuerdo con el diseño propuesto.

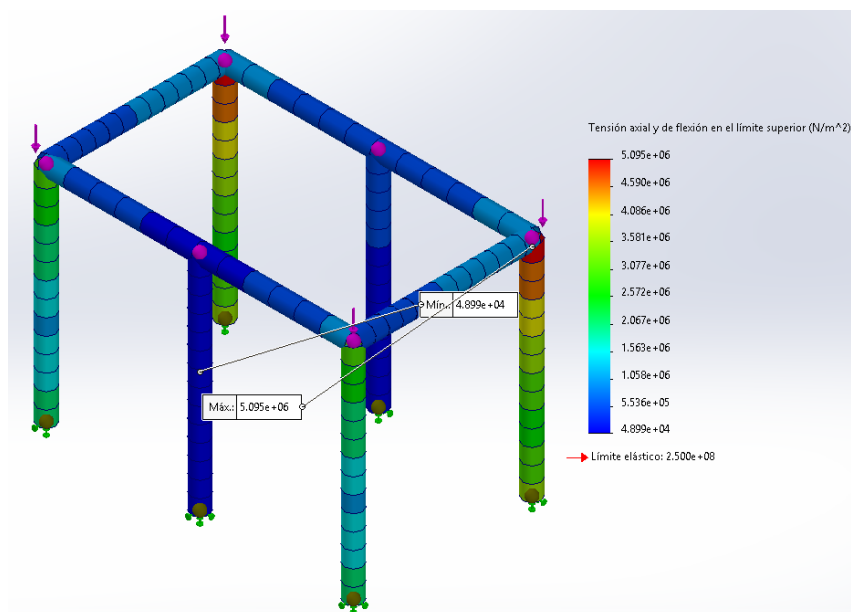


Figura 15:

Observación de tensiones debido a las cargas en la estructura

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia

Las tensiones mostradas sugieren que la construcción, cuanto menos, por simulación, soporta su propio peso, además de las cargas situadas en los puntos donde se sientan los componentes de mayor importancia. Gracias a la simulación, podemos, también, estimar qué elemento soportarán una mayor carga, y por lo tanto, requieren de un espesor mayor. Ya que el diseño matemático plantea utilizar dos milímetros de espesor para la estructura, la parte inferior de la misma es la que más carga soporta, pues es donde se sientan los demás sistemas.

Esto ocurre ya que la viga diseñada fue la que marca una mayor tensión sobre ella, y sin embargo, todavía permite asegurar que soporta la tensión a la que está sometida. Esto se refleja en los valores de tensión, donde el máximo valor alcanza: 250 MPa. Siendo este, un valor permisible, se puede considerar que el elemento fue adecuado para cumplir con su propósito. Podemos acotar, también, que las vigas utilizadas están unidas por soldadura a las columnas, para el diseño se tomó en cuenta que solo uno de los apoyos funciona como un soporte fijo, mientras los otros lo hacen como soportes móviles.

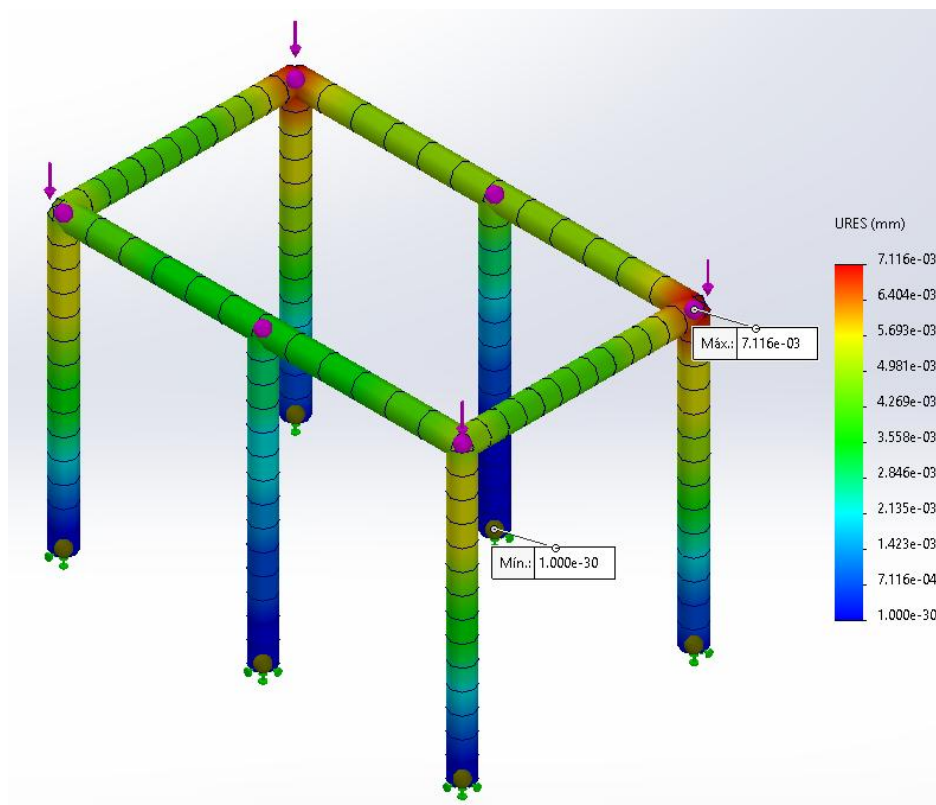


Figura 16:

Observación de deformaciones debido a las cargas en la estructura

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia

La simulación también permite conocer las deformaciones de los elementos estructurales, recordando que fueron sometidos a cargas externas debido a la masa de los elementos que se

sientan en ella. Las deformaciones esperadas concuerdan con los valores matemáticos especificados anteriormente, aunque existe una diferencia, pues las deformaciones generadas con respecto al plano de planta se encuentran gracias a la simulación. Sin embargo, estas deformaciones todavía se encuentran dentro de los rangos esperados en el diseño, por lo que podemos decir, son permisibles.

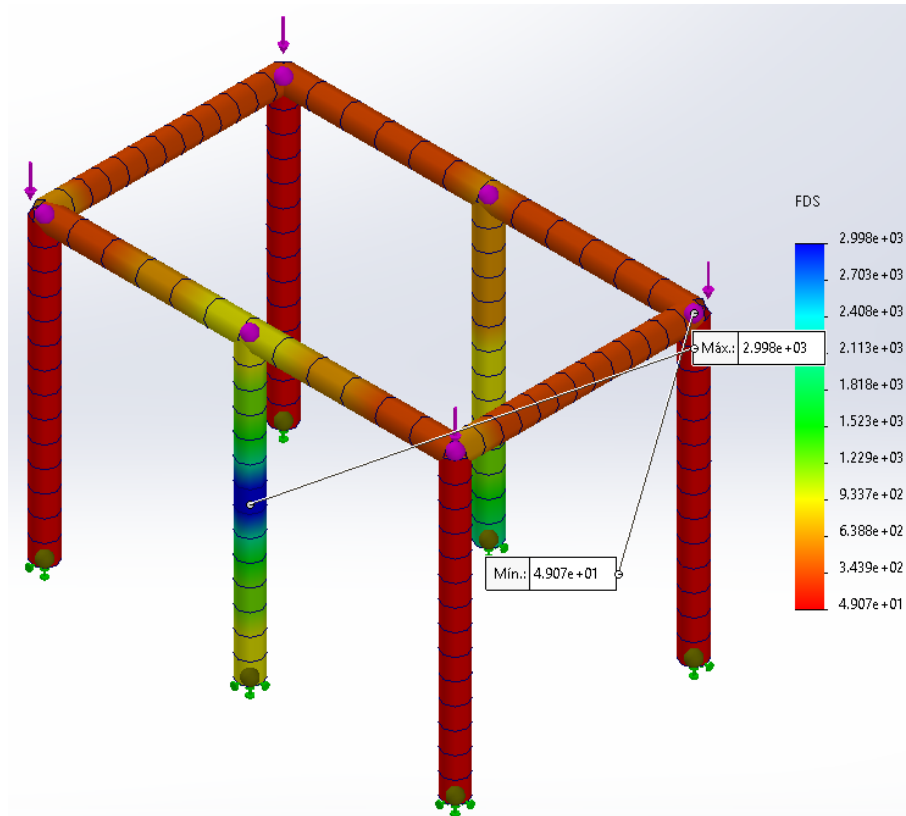


Figura 17:
Factor de seguridad mínima

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia.

El factor de seguridad mínimo es de 49 lo que indica que la estructura está bien diseñada y puede soportar el peso en dicho calculo se aplica la teoría de Von Misess.

Así también se realizo el análisis vibracional de la estructura de soporte teniendo en cuenta la vibración que se generara durante el funcionamiento para ello se aplico el peso de la maquina a la estructura y una forma modal con el valor de 122.42 Hz, de lo cual obtuvimos que la máxima amplitud vibratoria relativa (AMPRES) es de $2.856 \cdot 10^{-1}$ (2%), lo cual no afectara de manera significativa al funcionamiento.

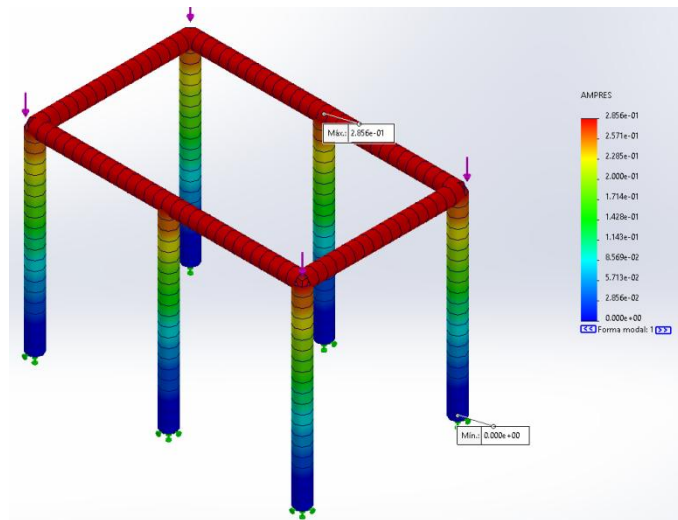


Figura 18:
Análisis vibracional de la estructura

Nota: Obtenido del programa SolidWorks. Elaboración propia.

Finalmente, podemos complementar este apartado al detallar los valores de deformación en los elementos críticos de la viga. La máxima deformación fue obtenida en las vigas superiores, y ya que el diseño partió de estas, se puede considerar adecuada la selección de piezas. Dicha deformación equivale a $7.116e^{-03}$ milímetros, inclinándose hacia la parte inferior de la máquina, mientras que la deformación mínima en las columnas es de $1.000e^{-30}$ milímetros. Ninguno de estos valores representa un inconveniente de diseño, por lo que damos por concluido el diseño final de esta sección.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Resultado general:

El diseño de la máquina desgranadora ha logrado establecer una serie de características clave para obtener dientes de ajos pelados de forma eficiente y sin dañar la pulpa. Para ello se han realizado los planos de la maquina los cuales incluyen: plano de ensamblaje de la máquina, Catarina, ejes, tolva, recolector. Esto se ha logrado mediante la implementación de un sistema de compresión que asegura la separación de los dientes de ajo sin afectar la calidad del producto final, teniendo en cuenta las condiciones particulares del valle del Mantaro, como la disponibilidad de energía y los recursos locales.

Objetivo específico 1:

Determinar las características de diseño del sistema de separación de una máquina desgranadora, asegurando que los bulbillos se obtengan sin daño para la pulpa, considerando las condiciones del valle del Mantaro.

El diseño del sistema de separación ha sido optimizado mediante el uso de un proceso de compresión, que es ideal para separar los dientes de ajo sin dañar la pulpa, a diferencia de los sistemas de impacto que podrían romper la pulpa. La fuerza de compresión requerida para este proceso se ha determinado como 52,86 kgf, lo cual es suficiente para fracturar la cáscara sin afectar la calidad del ajo. Además, este diseño toma en cuenta las condiciones del valle del Mantaro, utilizando un motor de gasolina que se adapta a la falta de electricidad en ciertas áreas rurales. El sistema de alimentación también se ha diseñado para optimizar la producción, permitiendo la inclusión de una tolva que ajusta la capacidad de trabajo según las necesidades locales.

Objetivo específico 2:

Establecer los criterios técnicos para dimensionar y seleccionar los componentes principales de la máquina desgranadora, como rodillos, transmisión de potencia y estructura, optimizando su rendimiento en el contexto agrícola local.

Los componentes principales de la máquina desgranadora han sido seleccionados y dimensionados de acuerdo con las necesidades específicas del valle del Mantaro. Los rodillos se dimensionaron para generar una fuerza de compresión adecuada, y se seleccionaron materiales como el acero AISI 1040 para los ejes y el acero ASTM A36 para la estructura, lo

que garantiza una alta resistencia y durabilidad. El sistema de transmisión utiliza un motor PowerTitan 152F de 3 HP con un reductor de tornillo sin fin y corona NMRV063 80B14, lo que proporciona una transmisión eficiente de potencia. Además, se seleccionaron componentes de transmisión como las catarinas y la cadena M128 A 12A para asegurar una transmisión efectiva y de bajo mantenimiento. La estructura fue diseñada con vigas de acero de 40 mm x 40 mm y un espesor de 2 mm, lo que garantiza resistencia a las tensiones y vibraciones generadas durante el proceso de desgranado.

Objetivo específico 3:

Evaluar los aspectos técnicos relevantes para el diseño de la máquina desgranadora, para garantizar su eficiencia, rentabilidad y adaptación a las necesidades del mercado de ajos en el valle del Mantaro.

La máquina desgranadora ha sido diseñada para ser eficiente y rentable en el contexto agrícola local. La capacidad de producción mínima de la máquina es de 200 kg/h, lo que representa una mejora significativa en comparación con los métodos manuales, que procesan entre 50 y 80 kg/h. La máquina también minimiza el desperdicio de material, con una reducción del 10-15% en comparación con los métodos manuales, lo que aumenta la rentabilidad para los productores. El sistema de transmisión ha sido diseñado para ser eficiente, con un consumo de energía optimizado que se adapta a las condiciones de operación en el valle del Mantaro, donde la electricidad puede ser limitada. Además, el sistema de compresión asegura que los bulbillos se obtengan sin daño para la pulpa, lo que mejora la calidad del producto final. La máquina también presenta un diseño robusto que puede soportar las cargas operativas, con una tensión máxima de $1.311 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, dentro de los límites permisibles.

4.2. Discusión de resultados

En el diseño industrial, existen diversas filosofías para abordar la creación de productos, pero cuando se aplica el Diseño Centrado en el Usuario (DCU), la prioridad se coloca en comprender las necesidades y expectativas del usuario final, considerando no solo las condiciones actuales, sino también los posibles futuros requerimientos del mismo. A diferencia de enfoques más tradicionales que pueden centrarse únicamente en el consumidor o en el uso del producto, el DCU se enfoca en diseñar soluciones que mejoren la experiencia del usuario durante toda la vida útil del producto.

Aplicamos el DCU en la medida en que no solo satisface las necesidades inmediatas del usuario, sino que también prevé un diseño flexible que permita la evolución del producto en

función de las expectativas cambiantes. En lugar de simplemente cumplir con las demandas actuales del cliente, se anticipan los desafíos futuros que el usuario podría enfrentar con el uso continuado del producto. Esto implica una mayor empatía con el usuario, lo que permite establecer requerimientos que son dinámicos, y no solo estáticos, abriendo espacio para su adaptación a lo largo del tiempo.

Cuando se considera la necesidad de un usuario, es crucial identificar no solo las herramientas y funcionalidades que se esperan, sino también cómo estos elementos interactúan en su contexto de uso. En este proceso, el diseñador centrado en el usuario no solo toma decisiones sobre qué herramientas utilizar, sino que también explora alternativas que optimicen la facilidad de uso, la ergonomía y la satisfacción general del usuario. Así, el diseñador se convierte en un mediador entre la tecnología disponible y las necesidades reales del usuario, comparando diferentes alternativas de diseño basadas en la retroalimentación directa del usuario final.

A diferencia de otros enfoques, en los cuales se prioriza la elección de tecnologías más complejas o costosas, en el DCU se evalúan soluciones que también sean fáciles de usar y accesibles para el usuario. El proceso de diseño, por ejemplo, hace uso de herramientas CAD y CAM de manera estratégica para modelar y simular el producto de acuerdo a las interacciones humanas y las condiciones reales de uso, sin depender exclusivamente de técnicas de fabricación sofisticadas que pueden resultar fuera del alcance de los usuarios o del contexto local.

Además, el DCU sugiere que el diseñador no se limite solo a la fabricación de piezas a través de máquinas CNC, sino que también considere otras alternativas más simples que podrían ofrecer una mejor experiencia en ciertos contextos de uso, sin perder la funcionalidad ni la calidad. A través de la inclusión de estos enfoques, se asegura que el diseño sea accesible y viable no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde la experiencia que proporcionará al usuario final.

Para el sistema de desgranado se tuvo que considerar el tipo de efecto físico a incluir en la máquina para lograr la función principal. Estos efectos eran dos, un proceso de compresión y otro de impacto, tomando, preferiblemente el primero. Un proceso de impacto supone el uso de elementos más frágiles, que en el caso de los frutos no sucede. Temistocles (7) resalta la importancia de determinar la fuerza trabajo para máquinas similares; cuya solución no fue otra que obtenerse de manera experimental, o de una investigación o como un dato bibliográfico.

Ricaldi Torres (10) enumera que otras máquinas de desgranado utilizan cadenas, rodillos dobles, o incluso, dientes de acero; sin embargo, cada una depende del tipo de elemento que se

desea trabajar. En el caso de los ajos, se trata de frutos relativamente blandos, con cuerpos que encapsulan unas piezas de pulpa por medio de la cáscara. Se determina la necesidad de no solamente romper esta capa de cáscara, sin la unión que existe entre los bulbillos. Por esto, existen diversas alternativas, donde se postula el debilitamiento de la cáscara antes de entrar a la máquina, para luego pasar por un proceso de compresión.

Para el diseño del sistema de transmisión de potencia, como regla general, se debe definir la fuente de potencia necesaria para el sistema. Hoy en día, estas fuentes suelen requerir un elemento que permita automatizar el proceso, en lugar de requerir un ser humano o un animal para entregar una fuerza. Las alternativas más comunes suelen ser un motor eléctrico o uno de combustión interna, cuya selección depende del ambiente donde la máquina habrá de cumplir sus funciones. Cholca & Mantilla (8) sugieren que la potencia de estos motores puede, a veces, no ser adecuadamente transmitida.

Al seleccionar las piezas encargadas de la transmisión de potencia se debe tener en cuenta la carga a la que estará sujeta, la existencia de vibraciones, e incluso, el tipo de trabajo que se estima. En el caso de las cadenas, se espera que las velocidades angulares sean bajas y con potencias altas. Aunque en el proyecto se tiene una potencia no tan grande, todavía permite el uso de cadenas; que, a su vez, requiere la selección de unas catarinas. Estas últimas se disponen en consideración con el tipo de cadena seleccionado y un número recomendado de dientes.

Por otro lado, la selección de vigas de la estructura de una máquina supone entender el comportamiento estructural de la misma, aunque redundante, se han de detallar de manera más precisa las deformaciones existentes. García Hernández (6) explica que, al seleccionar un componente estructural, no solamente las tensiones juegan un papel importante, sino también lo hacen las deformaciones generadas por estas últimas. Esto se debe al uso de elementos dinámicos en la construcción de máquinas, principalmente, elementos que poseen movimientos rotativos, lineales, entre otros.

Ya que se debe comprometer a la estructura a absorber vibraciones, más que solamente servir como un elemento rígido de soporte, las deformaciones causadas por los esfuerzos deben de ser limitados. Incluso, en algunos casos, midiendo la frecuencia natural en la que una máquina trabaja, pues, dependiendo a la cantidad de elementos de movimiento dinámico, se podría llegar a presentar un evento de resonancia. Para evitar esto se puede aumentar la rigidez de la estructura, o incluir amortiguadores para vibraciones en los elementos críticos del sistema.

Al tratarse de una máquina cuyo accionamiento puede ser constante y depende de los bulbos de ajo, se estima el nivel de producción en base a la velocidad de transición que posee la materia prima a lo largo de la línea de desgranado. Para el caso de los ajos, dentro de un

sistema de caída por gravedad, la velocidad de trabajo depende de la gravedad, y de usar una plataforma, de la inclinación de la misma. También es posible incrementar el margen de producción al aumentar el largo de los rodillos de trabajo, consiguiendo que una mayor cantidad de ajos sean desgranados en simultáneo.

Siendo la solución propuesta un dispositivo que se debería incluir dentro de una línea de producción, es posible que ciertos elementos de importancia no hayan sido seleccionados. Por ejemplo, la inclusión de una línea de alimentación para la máquina, o una línea automatizada de limpieza y recepción. Sin embargo, estos elementos no fueron requeridos por el cliente, por lo que su selección no fue considerada para el proyecto. Por otro lado, se sugiere, para proyectos más completos, considerar estos aspectos, sobre todo, cuando la máquina está proyectada para líneas de producción automatizadas.

Se comentó previamente que existen ciertos elementos no considerados que podrían mejorar el diseño de la máquina. Uno de ellos, sería incluir un sistema de limpieza de los desechos que podría dejar el proceso de desgranado. Para esto, existen opciones como adjuntar un tamiz vibratorio o rotacional, o incluso, considerar instalar un ventilador para la extracción de estos contaminantes. Introducir este nuevo sistema, sin embargo, convendría a su vez, a la inclusión de un elemento de transición, como una faja y otro contenedor para realizar este proceso de limpieza.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La máquina desgranadora diseñada alcanza una capacidad mínima de producción de 200 kg/h, lo que representa un aumento significativo respecto a los métodos manuales tradicionales, que procesan entre 50 y 80 kg/h. Este rendimiento se debe a la correcta aplicación del sistema de compresión, que asegura la separación de los dientes de ajo sin dañar la pulpa. La máquina puede ejercer una fuerza de compresión de 52,86 kgf, suficiente para separar los dientes sin causar fracturas en la pulpa, cumpliendo con el objetivo de diseño de obtener bulbillos de ajo sin daños.
- El motor seleccionado tiene una potencia de 3 HP (2,52 kW), suficiente para satisfacer las demandas del sistema de desgranado. Los cálculos de potencia muestran que la máquina necesita solo 2,2371 kW para funcionar a plena capacidad, lo que deja un margen de seguridad adecuado. Esto valida que el diseño de la transmisión y los componentes principales (como los rodillos) están correctamente dimensionados para las condiciones del valle del Mantaro, donde las fuentes de energía son limitadas. La potencia de trabajo efectiva calculada es de 1,88 kW, lo que asegura un bajo consumo energético y optimiza el uso de la energía disponible, cumpliendo con el objetivo de optimizar el rendimiento energético.
- La máquina desgranadora puede soportar una tensión máxima de $1.311 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, que corresponde al 6,23% de su límite elástico de $2.920 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, lo que demuestra que la estructura es completamente funcional y segura para operar bajo las condiciones de trabajo previstas. Además, el desplazamiento máximo de $2.778 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ debido a las fuerzas de funcionamiento es extremadamente bajo, lo que indica que el rendimiento de la máquina no se verá afectado por estas deformaciones durante su uso continuo. Esto asegura la estabilidad y longevidad de la máquina, cumpliendo con el objetivo de garantizar una estructura segura y durable.
- La máquina reduce el desperdicio de material en un 10-15% en comparación con los métodos manuales, donde el desperdicio de cáscaras y restos de ajo puede superar el 20%. Esta mejora impacta directamente en la rentabilidad de los productores, ya que optimiza el uso del material disponible. Con una capacidad de producción de 200 kg/h y un ciclo de trabajo de 6 horas diarias, la máquina puede procesar 1.200 kg/día, lo que implica un aumento de la productividad de hasta un 100% respecto a los métodos manuales. Este resultado responde a la necesidad de una mayor eficiencia en el proceso de desgranado y

es crucial para el desarrollo económico de los productores de ajo en la región, cumpliendo con los objetivos de eficiencia y rentabilidad.

- El sistema de transmisión ha sido diseñado con base en el motor PowerTitan 152F de 3 HP, que entrega la potencia necesaria a un reductor de tornillo sin fin y corona NMRV063 80B14, con una relación de reducción de 10:1. Este sistema optimiza la potencia entregada a los rodillos mediante un conjunto de ejes de acero AISI 1040 y catarinas de 17 y 25 dientes, unidas por una cadena M128 A 12A. Esta configuración asegura un rendimiento adecuado y fiable en las condiciones del valle del Mantaro, cumpliendo con el objetivo de seleccionar y dimensionar adecuadamente los componentes principales para el rendimiento óptimo del sistema.

5.2. Recomendaciones

- El diseño de máquinas considera diversos elementos para lograr su objetivo, no solamente analizar, bajo aspectos físicos, la resistencia de los materiales, sino también, su función. Entender que la perspectiva del diseño mecánico no solamente se cierne a la comprobación de elementos, permite al diseñador incluir características adicionales que sobresalen. Esto quiere decir que es importante, conocer la funcionalidad, y el cómo el usuario dispone a lo largo de la vida útil del producto para trabajar.
- Realizar ajustes en el sistema de compresión de los rodillos para garantizar que los dientes de ajo se separen sin dañar la pulpa. Si los resultados de las pruebas indican que la fuerza de compresión actual no es suficiente para ciertos tamaños de ajos, se podría considerar aumentar la velocidad de los rodillos o ajustar su geometría, logrando un 15-20% de mejora en la efectividad del proceso de separación.
- Para mejorar la eficiencia energética de la máquina, se recomienda considerar motores con una eficiencia del 90% o superior. Esto podría reducir el consumo de energía en un 12-15%, lo que se traduciría en ahorros significativos a largo plazo y una reducción en los costos operativos. Se sugiere implementar un variador de frecuencia para ajustar dinámicamente la velocidad de los rodillos según las condiciones de operación, lo que podría mejorar el rendimiento y la eficiencia energética, especialmente durante picos de demanda.
- Incorporar un sistema de recolección de desechos más eficiente, como un aspirador o una faja vibratoria, que permita recuperar 5-10% más de cáscaras y restos del proceso. Estos desechos podrían ser reutilizados para otros fines agrícolas como compost o fertilizantes orgánicos, contribuyendo así a la sostenibilidad del proceso de producción.

- Se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo basado en el tiempo de funcionamiento, como cada 250 horas, lo que corresponde aproximadamente a un mes de operación continua. Este programa debe incluir la revisión de componentes clave como los rodillos, el motor y los sistemas de transmisión, lo que contribuirá a maximizar la vida útil de la máquina y minimizar los costos por reparaciones inesperadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Núñez, Renzo.** *Ajo Allium Sativum Nuevas variedades vegetales Perú, Mundo.* Perú : Departamento de Inteligencia de Mercados, 2020.
2. **MIDAGRI.** *Perspectivas del mercado EEUU 2020: AJO.* Perú : Unidad de Inteligencia Comercial, 2020.
3. **Agraria.** Perú es el décimo mayor exportador de ajos a nivel mundial. *Agencia Agraria de Noticias.* [En línea] 2022. <https://agraria.pe/noticias/peru-es-el-decimo-mayor-exportador-de-ajos-a-nivel-mundial-29926>.
4. **Massini, Roberto.** *Maquinarias y Plantas en la Industria de los Alimentos.* Argentina : Maestría Internacional en Tecnología de los Alimentos, 2019. 10.13140/RG.2.2.13597.77287. .
5. **Norton, Robert L.** *Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos.* 5. México : McGraw-Hill, 2013. 0-07-312158-4.
6. **Garcia Hernandez, Raul Vidal.** *Diseño de una desgranadora-seleccionadora de ajo para pequeños productores de Zacatecas.* Mexico : Universidad Autónoma de Chapingo, 2014. 10.13140/RG.2.2.30860.21123.
7. **Temistocles, G.** *Diseño y construcción de una máquina desgranadora de ajo en la parroquia Pilahuin-Ambato.* Ecuador : Universidad Tecnológica Indoamérica, 2018.
8. **Cholca Cacuango, Luis Christian y Mantilla Valencia, Gustavo Andrés.** *Diseño y construcción de una desgranadora de maíz con capacidad de 15 qq/hora.* Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
9. **Yáñez Camacho, Fredy Miguel.** *Estudio del sistema mecánico aplicado al desgranado de maíz suave seco para mejorar tiempos de producción en el cantón San Miguel provincia de Bolívar.* Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2011.
10. **Ricaldi Torres, Julbrex Aldrin.** *Diseño de máquina desgranadora y clasificadora de granos secos de maíz amiláceo con capacidad de 500 Kg/h para el Valle del Mantaro.* Perú : Universidad Continental, 2020.

11. **Ramos Gallegos, Sebastián Rodrigo.** *Diseño conceptual de un desgranador y clasificador de granos de maíz amiláceo por calibre y estado de conservación.* Perú : Pontificia Universidad Católica del Per, 2021.
12. **González Embarcadero, Antonia, Cedillo Portugal, Ernestina y Díaz Garduño, Lucina.** *Morfología y anatomía de las plantas con flores.* Mexico : Universidad Autónoma Chapingo, 2007. 9680203581.
13. *El ajo.* **Lopez, T.** 1, s.l. : Farmacéutica Fitoterapia, 2007, Vol. 26, págs. 78-81.
14. **FAO.** Desgranadora. *Food and Agriculture Organization.* [En línea] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016.
<https://www.fao.org/4/x5051s/x5051s03.htm>.
15. *Implementación de una máquina agrícola de bajo costo para el proceso de desgranado de maíz seco suave originario de la sierra ecuatoriana.* **Tapia, Melton, Arla, Sandra y Tapia, Edison.** 2, Ecuador : Enfoque UTE, 2017, Vol. 8.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.152>.
16. **Swissmex.** *Desgranadora de maíz 612001.* México : s.n., 2020.
17. **Maquinaria de jardineria.** Desgranadoras agrícolas. *Usos y tipos.* *Agraria.pe* *Maquinaria de jardinería.* [En línea] 2021.
<https://maquinariadejardineria.net/blog/desgranadoras-agricolas-usos-tipos/>.
18. **Mott, Robert L.** *Diseño de Elementos de Máquinas.* 4. México : Prentice Hall, 2006. 970-26-0812-0.
19. **Budynas, Richard G. y Nisbett, Keith J.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* Mexico : McGRAW-HILL, 2008. 970-10-6404-6.
20. **Industrias Famacin.** Desgranadora de ajos con ventilador. *Industrias Famacin.* [En línea] 2021. <https://industriasfamacin.com/portfolio/desgranadora-de-ajos-con-ventilador/>.
21. **Rodas Andrade, Hernán.** *Estructuras I Apuntes de Clase.* Ecuador : Gráficas del Sur, 2014. 978-9978-14-280-6.
22. *Diseño, ingeniería, fabricación y ejecución asistidos por ordenador en la construcción: evolución y desafíos a futuro.* **Del Caño, Alfredo, De la Cruz, Pilar y Solano,**

Luis. España : Informes De La Construcción, 2007, Vol. 59(505).

<https://doi.org/10.3989/ic.2007.v59.i505.500>.

23. **Trujillo Suárez, Manuel, Javier Aguilar, José y Neira, Claudia.** *Los métodos más característicos del diseño centrado en el usuario adaptados para el desarrollo de productos materiales.* Colombia : ICONOFACTO, 2016.

<http://dx.doi.org/10.18566/iconofact.v12.n19.a09>.

24. **Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, María del Pilar.** *Metodología de la investigación.* 6. México : McGRAW-HILL, 2014. 978-1-4562-2396-0.

25. *Técnicas de muestreo. Sesgos más frecuentes.* **Canal Díaz, Neus .** 9, 2006, Vol. 9.

26. **Espinoza Montes, Ciro.** *Metodología de Investigación Tecnológica Pensando en Sistemas.* Perú : s.n., 2014. 978-612-00-1667-1.

27. **Fernandez Vasquez, Ubalдино.** *Caracterización del mercado de Ajo (*Allium sativum* L.) en la ciudad de Ayacucho.* Perú : Universidad Nacional de Huancavelica, 2023.

28. **MIDAGRI.** *El ajo en el contexto mundial y nacional .* Perú : MIDAGRI, 2020.

29. **Freshfruit.** El ajo se recuperó tras un inicio de año complicado. *Fresh Fruit.* 2025.

30. **Agroperú.** *Exportación de ajo peruano cayó más del 30 % en enero de 2025.* Perú : Agro Perú Comunicaciones SRL., 2025.

31. **VDI.** *Guideline 2221 - 2222. Systematic approach to the design of technical systems and products.* Alemania : VDI-Verlag, 1986.

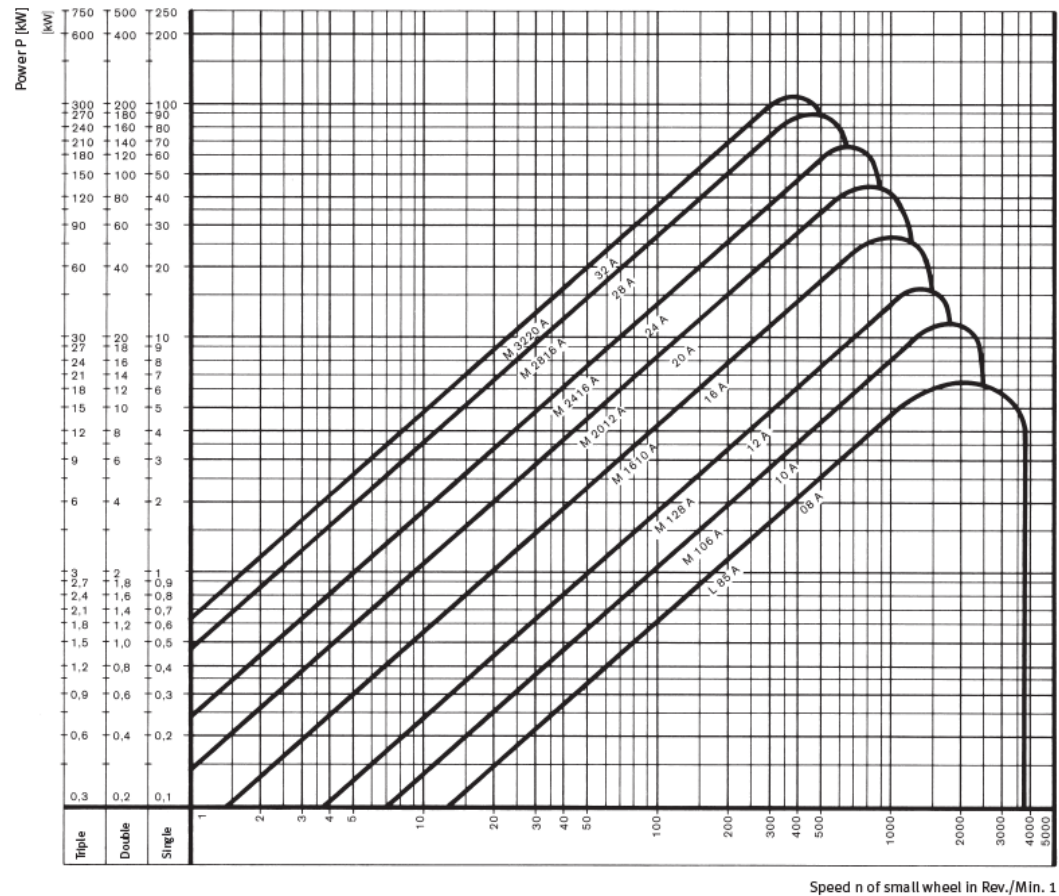
ANEXOS

Anexo A:
Matriz de consistencia

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍTEM	ESCALA	INSTRUMENTO
Máquina desgranadora	Sistema para desgranar Los elementos que componen este sistema tienen como función quitar los elementos que unan los granos o bulbillos de un fruto, extrayéndolos sin que la pulpa de estos frutos sea dañada de alguna manera. Sus herramientas más comunes utilizan cepillos, platos de fricción, rodillos, entre otros.	Dimensiones de la herramienta de trabajo (mm) Dimensiones de los ejes de soporte de la herramienta de trabajo (mm) Revoluciones por minuto	Milímetros Posición Velocidad radial	Cuantitativa discreta	Catálogos Fórmulas para el diseño y dimensiones
	Sistema de transmisión de potencia Los elementos que componen este sistema tienen como función el transmitir la energía mecánica producida en el motor hasta llegar a la herramienta de trabajo. Es posible que este sistema varíe las revoluciones por minuto, dirección en que incide la herramienta de trabajo, entre otros parámetros necesarios para que la máquina cumpla su cometido.	Potencia (HP, kW). Dimensiones del eje de trabajo (mm) Ubicación de los accesorios para el eje (mm)	HP Milímetros Accesorios del eje		
	Sistema estructural Los elementos que componen este sistema recogen los esfuerzos estáticos de cada uno de los demás sistemas, elementos adicionales, carga de alimentación y el de los accesorios de tal modo que la deformación o esfuerzo de deflexión se encuentre por debajo del límite establecido por el diseñador.	Perfil utilizado en la viga y columna de la estructura (Cuadrado, Rectangular, etc) Uniones en la estructura (Permanente, no permanente)	Cualitativos	Cualitativo	
Diente de ajo pelado	Volumen de producción Corresponde al valor de producción numérico esperado para la máquina considerando que debería estar por encima del que se realiza manualmente. Este valor deberá ser la base bajo la cual se diseña la máquina considerando las horas operativas consideradas para el trabajo de la máquina.	Cantidad de bulbillos separados del bulbo inicial.	Variable cuantitativa	Cuantitativa discreta	Datos considerados a partir de la eficiencia de las máquinas en catálogos similares.

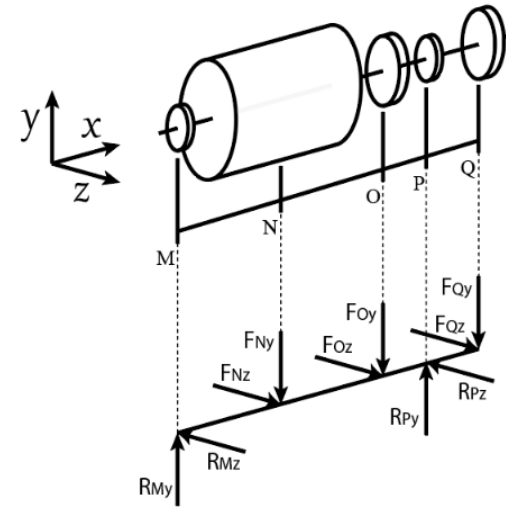
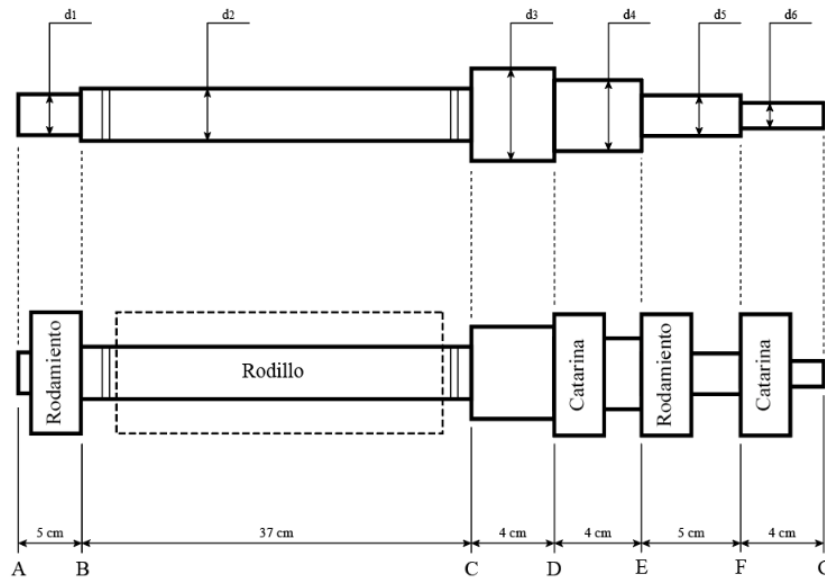
Anexo B: Diagrama de selección de cadenas para estándares americanos

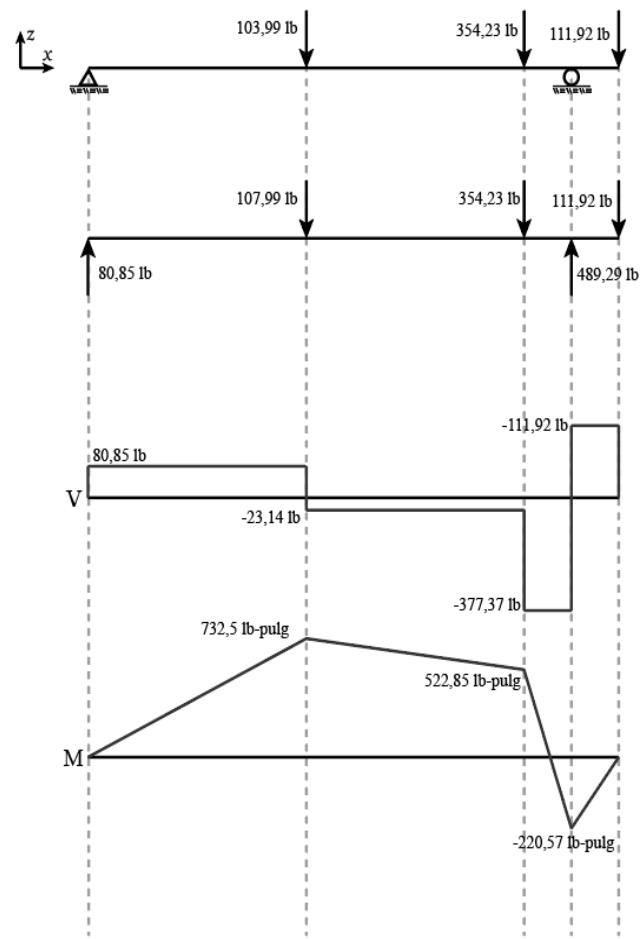
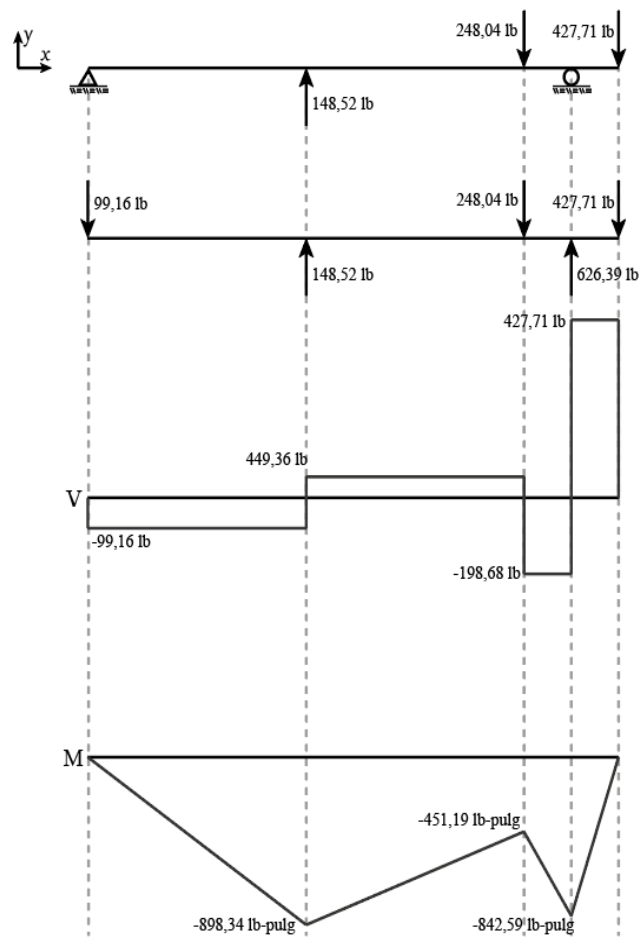
AMERICAN STANDARD CHAINS PERFORMANCE DIAGRAM DIN 8188



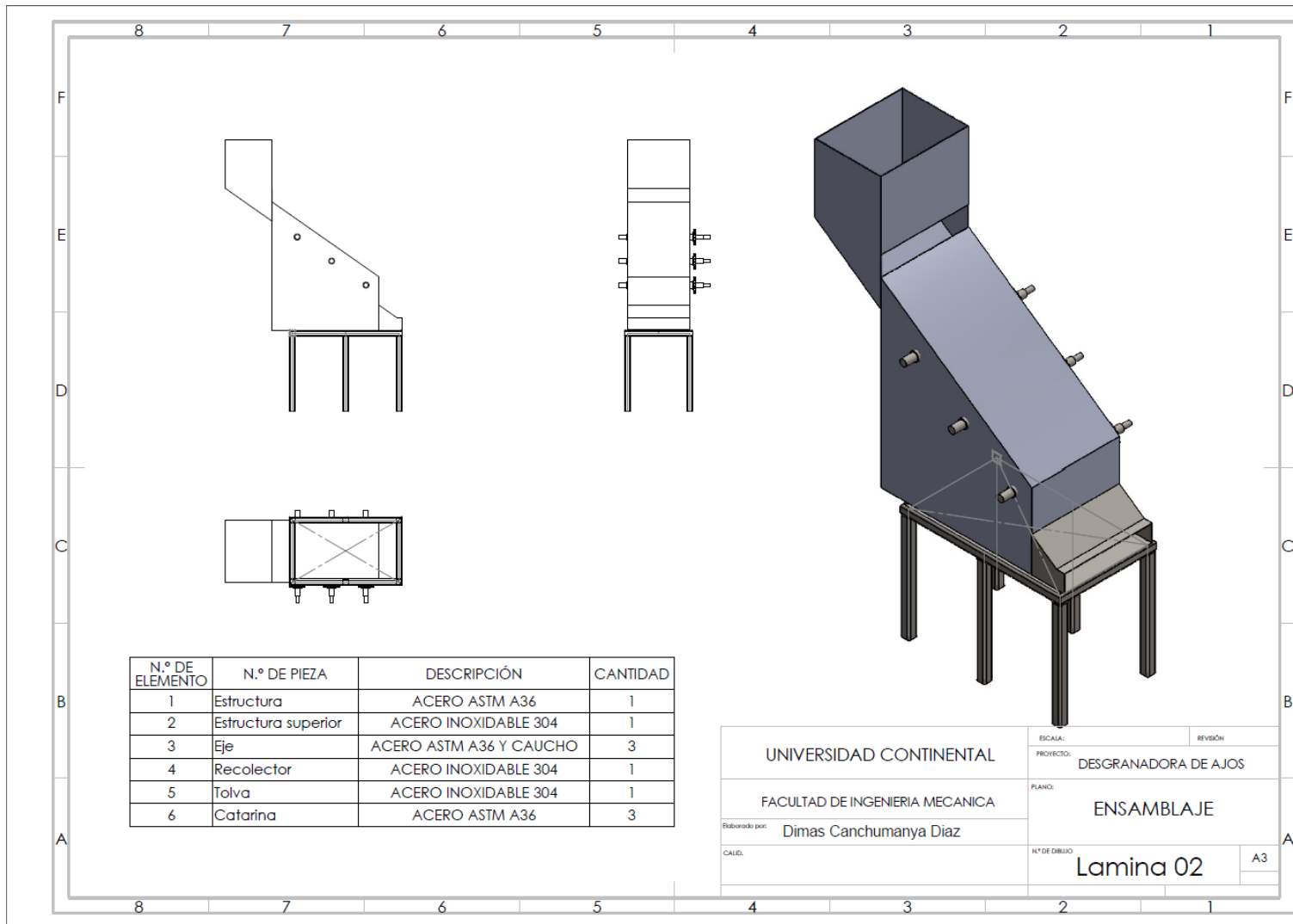
Nota: IWIS Antriebssysteme (2010) Handbook for chain engineering Design and Construction Examples.

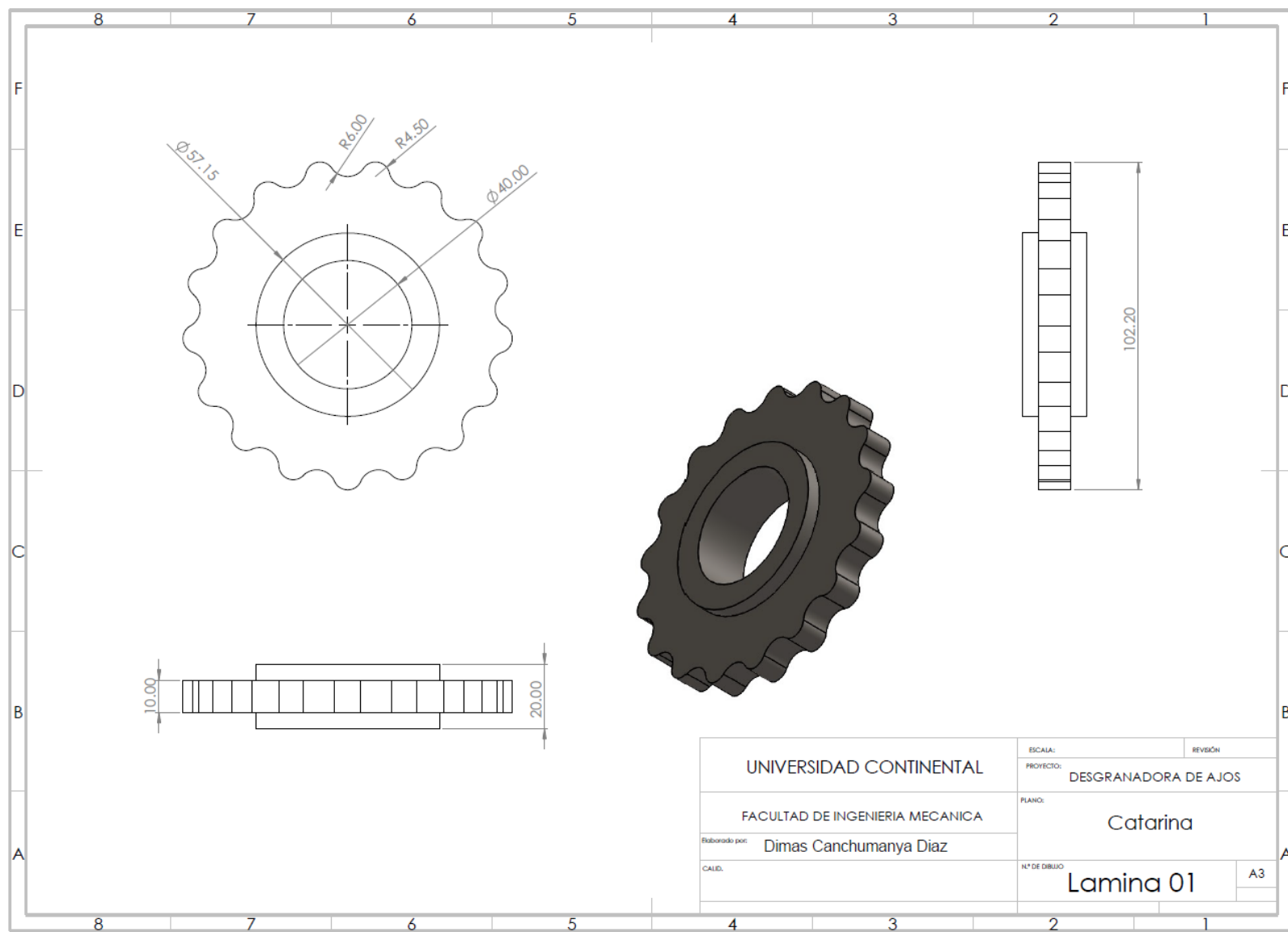
Anexo C:
Diagrama de distribución de fuerzas cortantes y momentos flectores para el diseño del eje

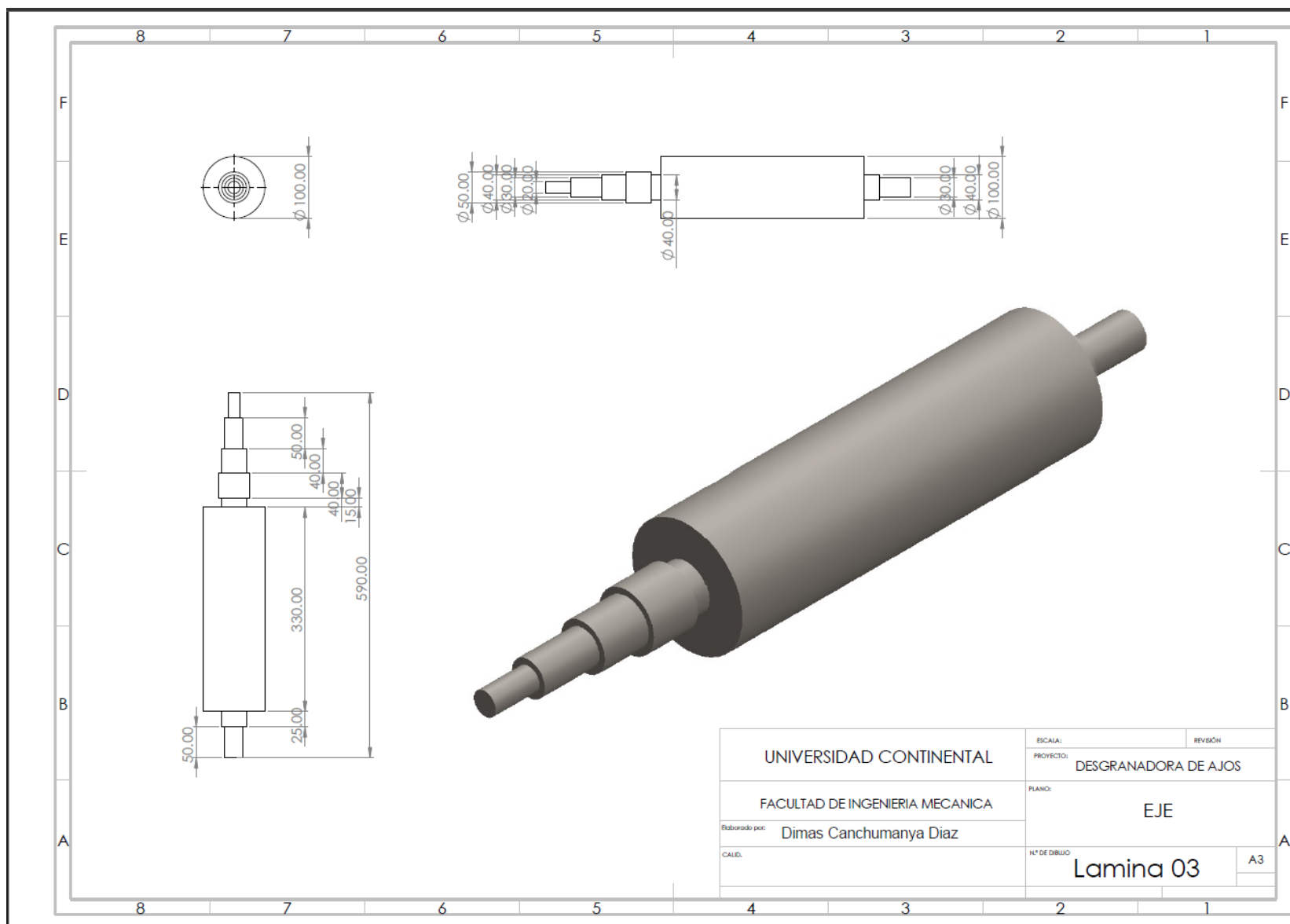


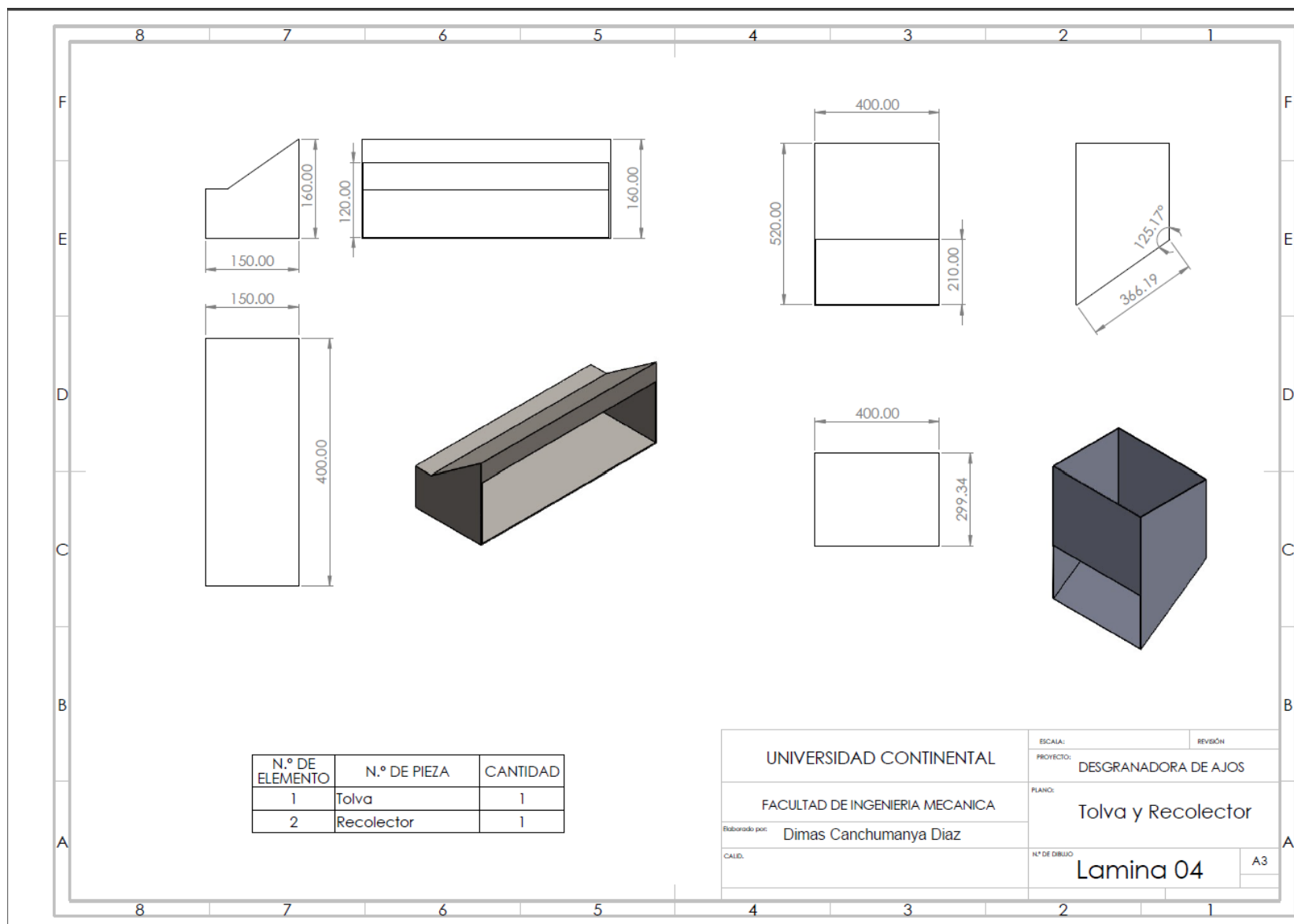


Anexo D: Planos

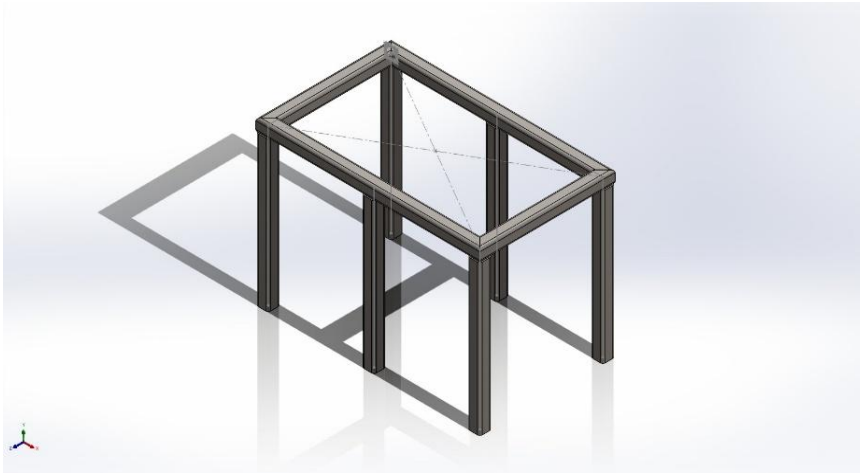








Anexo E:
Resultados de simulación



Simulación de Estructura

Fecha: viernes, 1 de agosto de 2025
Diseñador: Dimas Canchumanya Díaz
Nombre de estudio: Análisis estático 1
Tipo de análisis: Análisis estático

Descripción

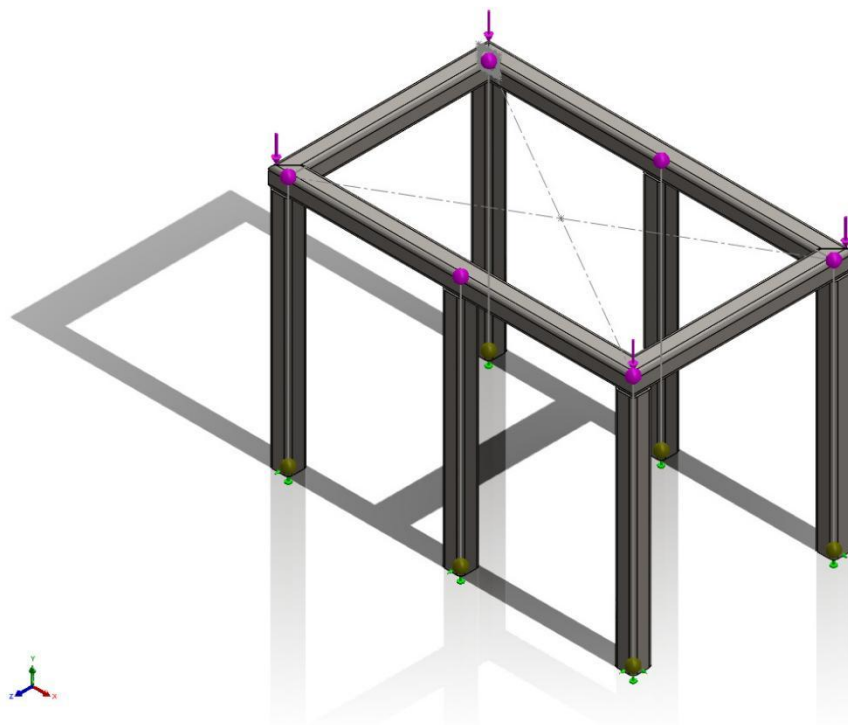
No hay datos

Tabla de contenidos

Descripción.....	119
Suposiciones	121
Información de modelo	122
Propiedades de estudio	128
Unidades	128
Propiedades de material.....	129
Cargas y sujeciones	130
Definiciones de conector	131
Información de interacción.....	131
Información de malla.....	132
Detalles del sensor	132
Fuerzas resultantes	133
Vigas.....	134
Resultados del estudio	137
Conclusión.....	139

Suposiciones

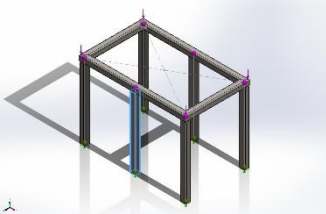
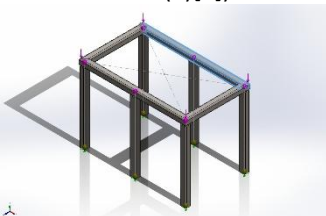
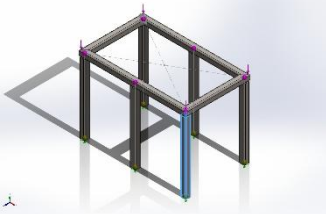
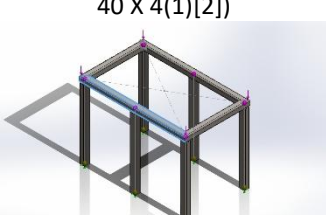
Información de modelo

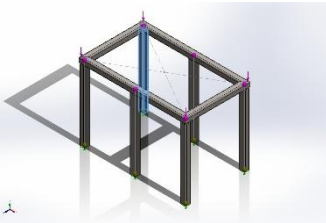
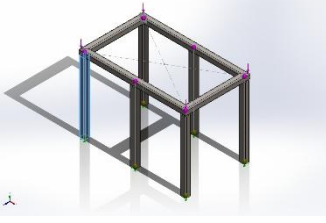
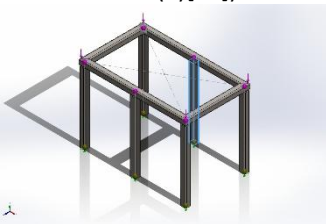


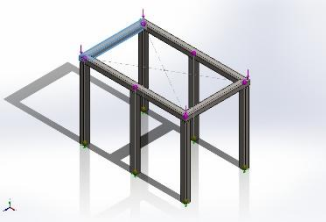
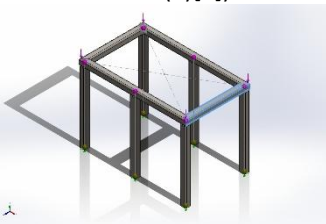
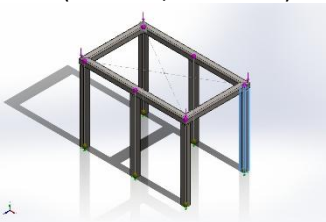
Nombre del modelo: Estructura
Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada>

Sólidos de viga:

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
Sólido 1(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[9])	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:480mm Volumen:0.000256702m³ Densidad:7,850kg/m³	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025

		Masa:2.01511kg Peso:19.7481N	
Sólido 2(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[4]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment perfiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:688.09mm Volumen:0.000367995m ³ Densidad:7,850kg/m ³ Masa:2.88876kg Peso:28.3098N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025
Sólido 3(Recortar/Extender4) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment perfiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:480mm Volumen:0.000256702m ³ Densidad:7,850kg/m ³ Masa:2.01511kg Peso:19.7481N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025
Sólido 4(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[2]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment perfiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m ² Longitud:688.09mm Volumen:0.000367995m ³ Densidad:7,850kg/m ³ Masa:2.88876kg Peso:28.3098N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025

Sólido 5(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[6]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:480mm Volumen:0.000256702m³ Densidad:7,850kg/m³ Masa:2.01511kg Peso:19.7481N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025
Sólido 6(Recortar/Extender3) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:480mm Volumen:0.000256702m³ Densidad:7,850kg/m³ Masa:2.01511kg Peso:19.7481N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025
Sólido 7(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[10]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:480mm Volumen:0.000256702m³ Densidad:7,850kg/m³ Masa:2.01511kg Peso:19.7481N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025
Sólido 8(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[1])	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:400mm Volumen:0.000213922m³ Densidad:7,850kg/m³ Masa:1.67929kg Peso:16.4571N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025

			
Sólido 9(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[3]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:400mm Volumen:0.000213922m³ Densidad:7,850kg/m³ Masa:1.67929kg Peso:16.4571N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025
Sólido 10(Recortar/Extender1) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección-weldment profiles/iso/square tube Área de sección: 0.000534796m² Longitud:480mm Volumen:0.000256702m³ Densidad:7,850kg/m³ Masa:2.01511kg Peso:19.7481N	C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos\Estructura.SLDPRT Jun 19 09:12:22 2025

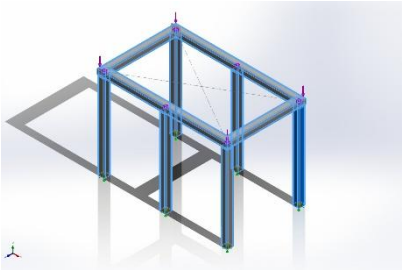
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\rodri\Documents\En proceso\En proceso\peladora de ajos)

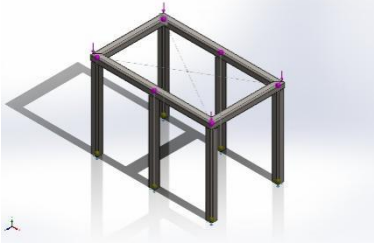
Unidades

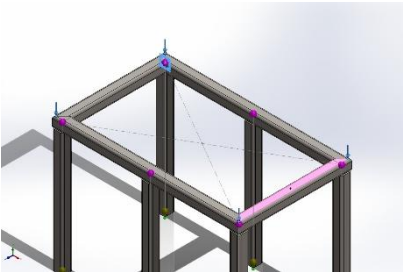
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.5e+08 N/m² Límite de tracción: 4e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7,850 kg/m³ Módulo cortante: 7.93e+10 N/m²	Sólido 1(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[9])(Estructura), Sólido 2(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[4])(Estructura), Sólido 3(Recortar/Extender4)(Estructura), Sólido 4(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[2])(Estructura), Sólido 5(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[6])(Estructura), Sólido 6(Recortar/Extender3)(Estructura), Sólido 7(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[10])(Estructura), Sólido 8(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[1])(Estructura), Sólido 9(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[3])(Estructura), Sólido 10(Recortar/Extender1)(Estructura)
	Datos de curva:N/A	

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 6 Juntas Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 6 vértice(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 600 N Momentos: ---; ---; --- N.m

Definiciones de conector

No hay datos

Información de interacción

No hay datos

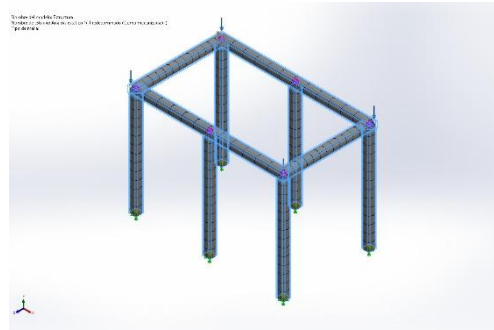
Información de malla

Tipo de malla	Malla de viga
---------------	---------------

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	144
Número total de elementos	134
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	RODRIGO

Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 10 Viga(s) Número de elementos: 13

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-1.90735e-06	3,600	-1.90735e-06	3,600

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-4.40372	2.6077e-07	0	4.40372

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0	0	0	0

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Vigas

Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N)	Corte1(N)	Corte2(N)	Momento1(N.m)	Momento2(N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[9])	1	- 25.36 51	6.4333e-06	- 3.37096	-0.304049	1.31302e-06	-1.09251e-07
	2	25.36 51	- 6.4333e-06	3.37096	1.98953	1.90363e-06	1.09251e-07
Viga-2(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[4])	1	- 14.47 48	2.8027	- 608.032	-4.1355	0.350047	6.54695
	2	14.47 48	-2.8027	8.03198	-0.30113	0.614209	0.65305
	3	14.47 48	2.8027	- 608.032	4.13549	-0.350044	6.54695
Viga-3(Recortar/Extender4)	1	1,225. 18	25.0987	- 18.6108	2.27056	4.05691	- 0.0522193
	2	- 1,225. 18	- 25.0987	18.6108	7.03486	8.49242	0.0522193
Viga-4(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[2])	1	24.70 21	1.68548	12.6826	-1.64304	-0.302655	-0.994764
	2	24.70 21	- 1.68548	- 612.683	1.92082	0.18058	-6.20523
	3	- 24.70 21	- 1.68548	- 612.683	-1.92081	-0.180578	-6.20523
Viga-5(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[6])	1	595.5 37	- 14.0782	17.4936	-3.5721	-2.27523	- 0.0630685
	2	- 595.5 37	14.0782	- 17.4936	-5.17471	-4.76389	0.0630685
Viga-6(Recortar/Extender3)	1	1,225. 18	- 25.0987	- 18.6109	2.27056	-4.05691	0.0522195
	2	- 1,225. 18	25.0987	18.6109	7.03486	-8.49242	- 0.0522195
Viga-7(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[10])	1	- 16.06 4	6.4333e-06	5.6054	-1.4966	-1.31302e-06	-1.09251e-07
	2	16.06 4	6.4333e-06	-5.6054	-1.3061	-1.90363e-06	1.09251e-07
Viga-8(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[1])	1	20.29 63	0.396549	12.4953	-1.37223	-0.286978	0.628384
	2	- 20.29 63	- 0.396549	- 612.495	-0.829631	0.128359	6.57161
Viga-9(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[3])	1	20.29 63	- 0.396538	12.4953	-1.37223	0.286976	-0.6284

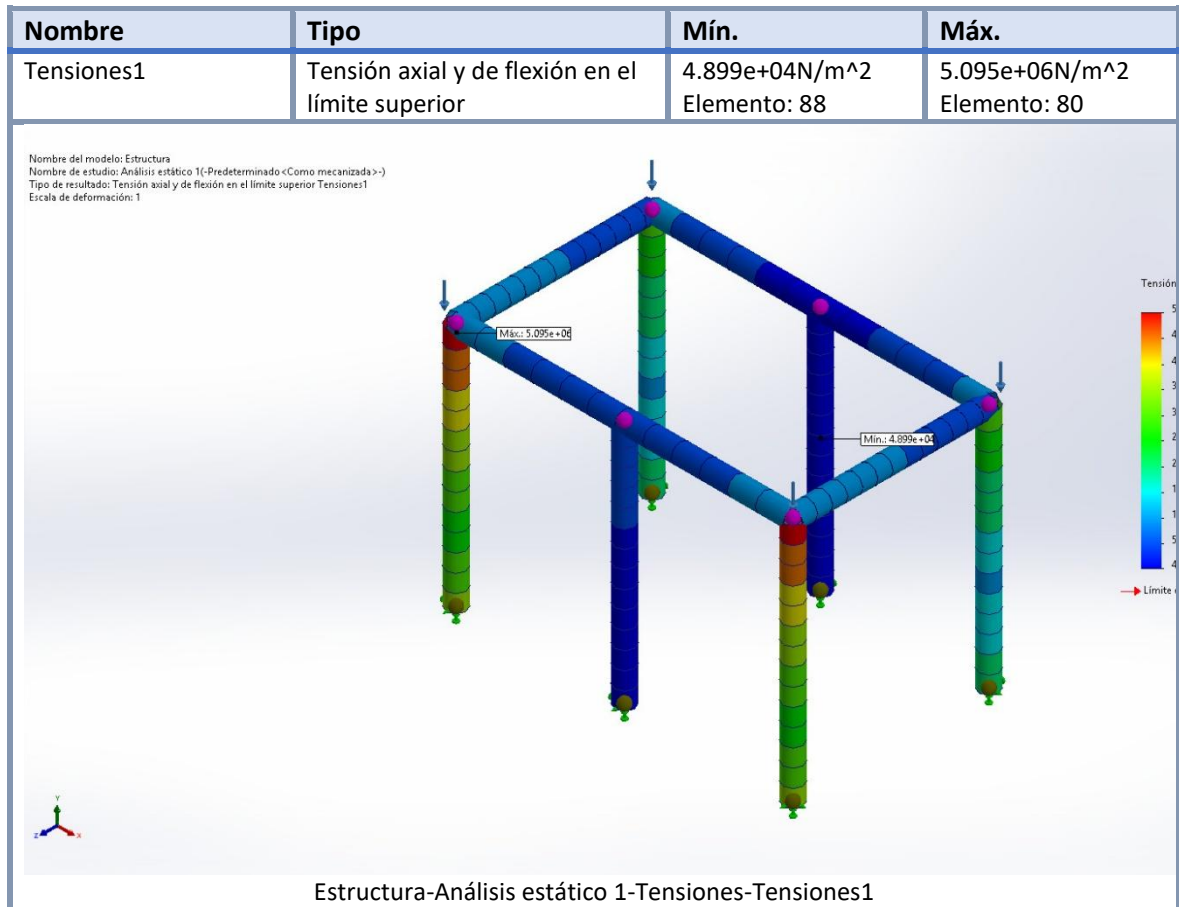
	2	- 20.29 63	0.39653 8	- 612.495	-0.829628	-0.128361	-6.5716
Viga-10(Recortar/Extender1)	1	- 595.5 37	- 14.0783	- 17.4936	-5.17471	4.76389	- 0.0630687
	2	595.5 37	14.0783	17.4936	-3.5721	2.27524	0.0630687

Tensiones de viga

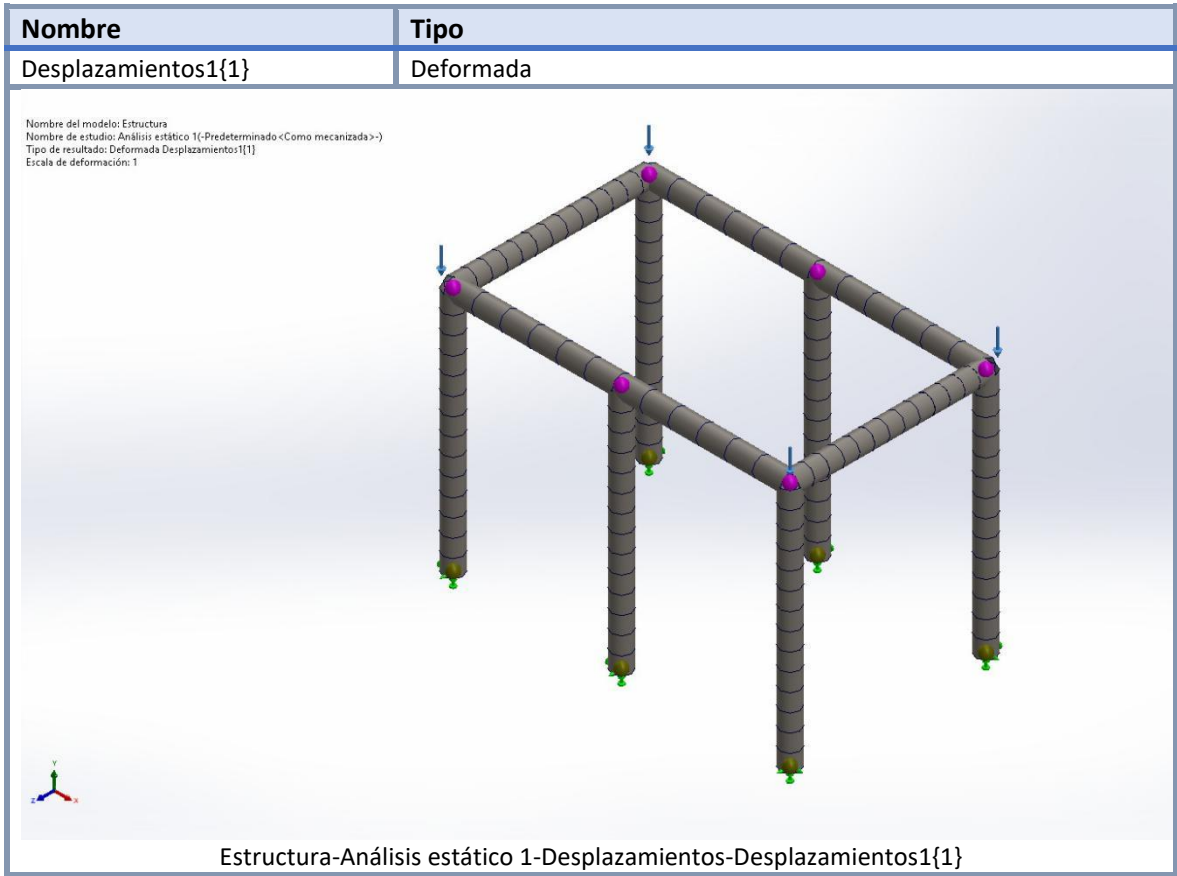
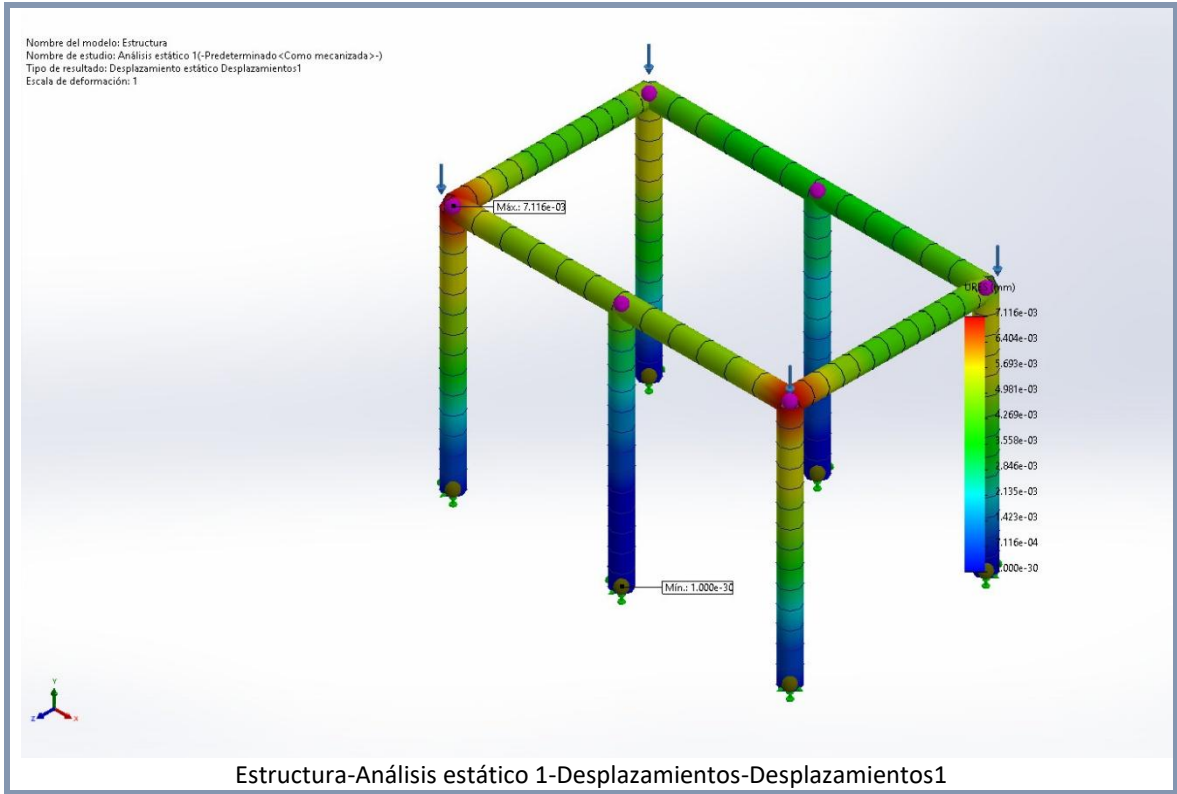
Nombre de viga	Juntas	Axial(N/m ²)	Dir. de pliegue1(N/m ²)	Dir. de pliegue2(N/m ²)	Torsional (N/m ²)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/m ²)
Viga-1(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[9])	1	47,429.5	54,908.9	0.237121	0.0140744	102,339
	2	47,429.5	359,294	-0.343782	0.0140744	406,723
Viga-2(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[4])	1	27,066	746,840	63,215.7	- 843,421	837,122
	2	27,066	-54,381.9	-110,922	84,130.2	192,369
	3	27,066	746,839	63,215.4	843,421	837,120
Viga-3(Recortar/Extender4)	1	- 2.29092e+06	-410,046	732,647	6,727.23	3.43362e+06
	2	- 2.29092e+06	1.27044e+06	-1.53367e+06	6,727.23	5.09503e+06
Viga-4(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[2])	1	46,189.8	-296,720	54,657.2	- 128,149	397,567
	2	46,189.8	346,886	-32,611.4	- 799,380	425,687
	3	46,189.8	346,884	-32,611	799,380	425,685
Viga-5(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[6])	1	- 1.11358e+06	645,094	-410,890	8,124.89	2.16956e+06
	2	- 1.11358e+06	-934,514	860,322	8,124.89	2.90841e+06
Viga-6(Recortar/Extender3)	1	- 2.29092e+06	-410,046	-732,648	6,727.26	3.43362e+06
	2	- 2.29092e+06	1.27044e+06	1.53367e+06	6,727.26	5.09503e+06
Viga-7(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[10])	1	30,037.6	270,274	-0.237121	0.0140744	300,312
	2	30,037.6	-235,872	0.343782	0.0140744	265,910
Viga-8(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[1])	1	37,951.5	-247,815	51,826.1	80,952.6	337,593
	2	37,951.5	149,825	23,180.6	- 846,598	210,957

Viga-9(Tubo cuadrado 40 X 40 X 4(1)[3])	1	37,951.5	-247,815	-51,825.7	- 80,952.8	337,592
	2	37,951.5	149,824	-23,181	846,576	210,957
Viga-10(Recortar/Extender1)	1	- 1.11358e+06	-934,514	-860,323	- 8,124.92	2.90841e+06
	2	- 1.11358e+06	645,094	410,890	- 8,124.92	2.16956e+06

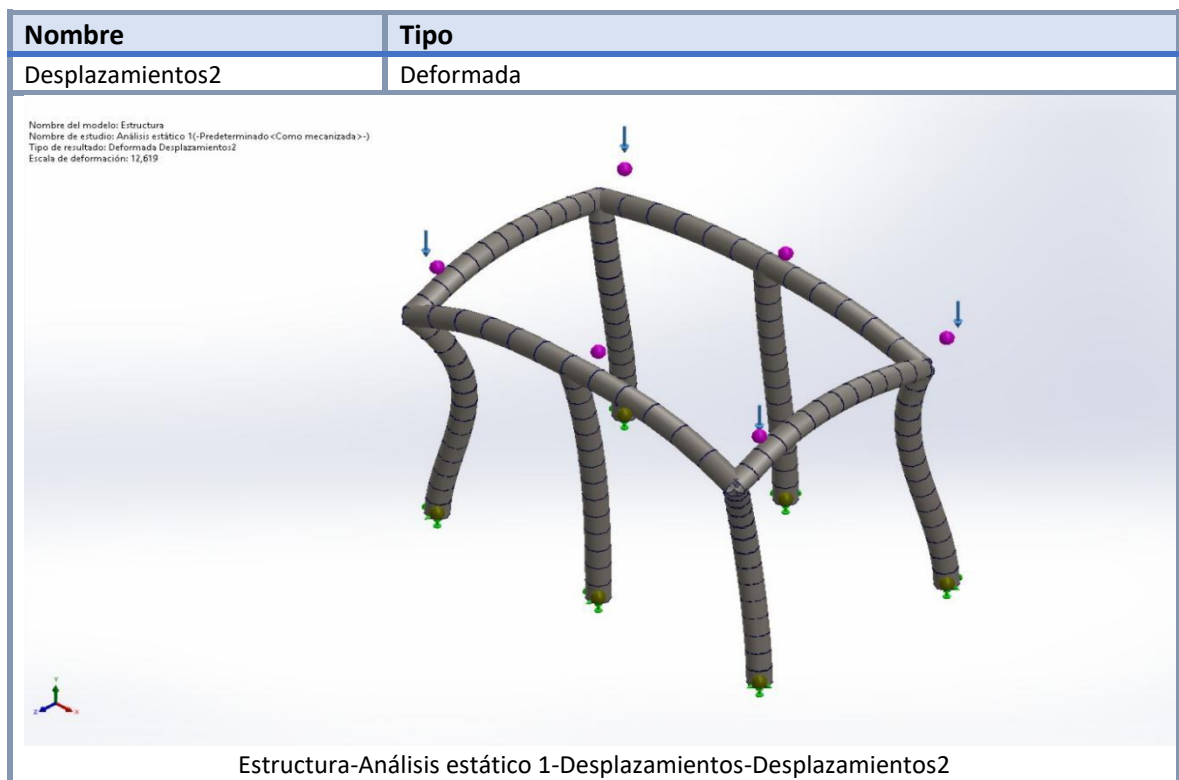
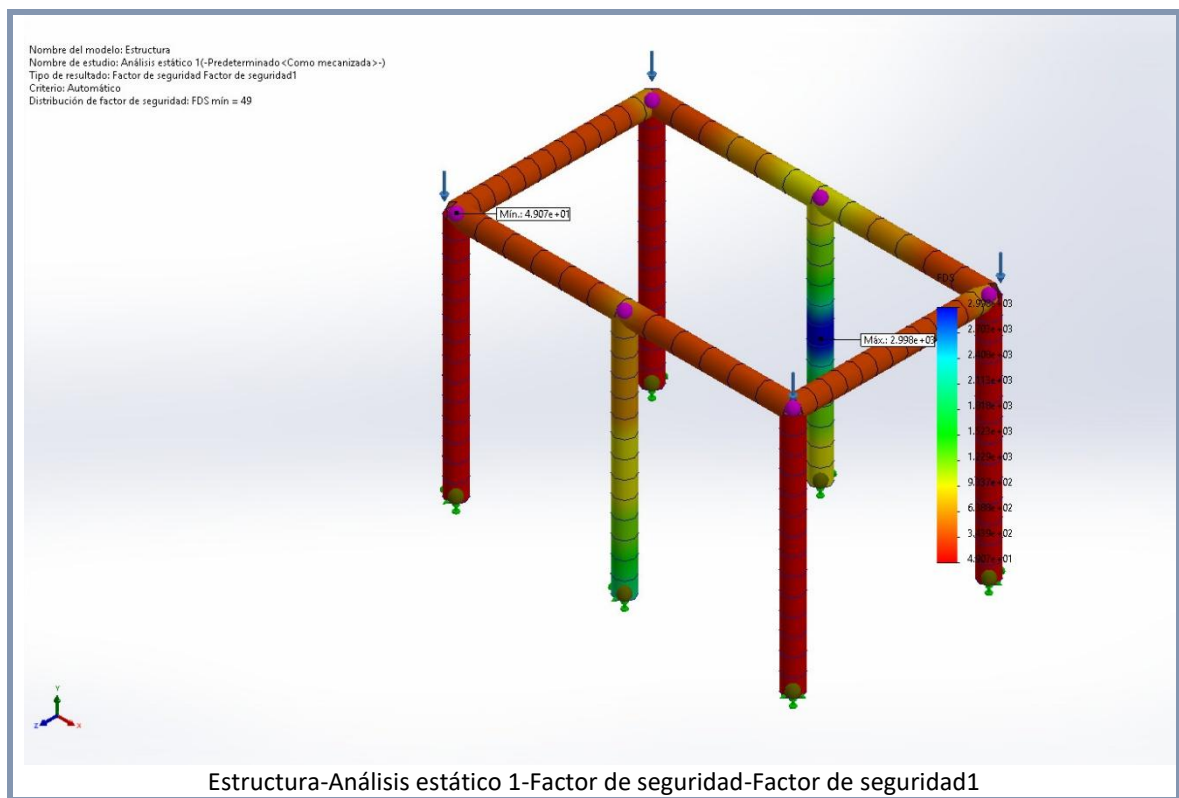
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 1	7.116e-03mm Nodo: 44



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	4.907e+01 Nodo: 44	2.998e+03 Nodo: 90



Conclusión