UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA TRILLADORA DE CHOCHOS PARA ALCANZAR UNA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE 60 KG/H, DESTINADA A UNA COMUNIDAD DEL CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI.

Trabajo de titulación previo la obtención del
Título de Ingenieros Mecánicos

AUTORES: **ERIK ARIEL LEMA JAMI**
CRISTIAN ENRIQUE VILLAMARIN AGUILAR

TUTOR: **WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA**

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Erik Ariel Lema Jami con documento de identificación N°1725090193 y Cristian Enrique Villamarin Aguilar con documento de identificación N°1721551594; manifestamos que:

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

Quito, 18 de julio del año 2024

Atentamente,

Erik Ariel Lema Jami

1725090193

Cristian Enrique Villamarin Aguilar

1721551594

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

Nosotros, Erik Ariel Lema Jami con documento de identificación N°1725090193 y Cristian Enrique Villamarin Aguilar con documento de identificación N°1721551594, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: "Repotenciación de una máquina trilladora de chochos para alcanzar una capacidad de producción de 60 kg/h, destinada a una comunidad del cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 18 de julio del año 2024

Atentamente,

Erik Ariel Lema Jami

1725090193

Cristian Enrique Villamarin Aguilar

1721551594

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, William Gustavo Díaz Dávila con documento de identificación N° 0400926184, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA TRILLADORA DE CHOCHOS PARA ALCANZAR UNA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE 60 KG/H, DESTINADA A UNA COMUNIDAD DEL CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, realizado por Erik Ariel Lema Jami con documento de identificación N°1725090193 y por Cristian Enrique Villamarin Aguilar con documento de identificación N°1721551594 , obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 04 de junio del año 2024

Atentamente,

Ing. William Gustavo Díaz Dávila, MSc.

0400926184

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme la capacidad e ingenio para cursar la carrera de Ingeniería Mecánica en la honorable Universidad Politécnica Salesiana, por guiarme en todo el transcurso de mi vida; por permitirme llegar a este momento y sobrellevar cualquier dificultad encontrada a lo largo de mis estudios superiores.

Agradezco a mis padres Pilar Aguilar y Alejandro Villamarin por brindarme apoyo y amor incondicional para lograr culminar una etapa más de mi vida. A mis abuelitas Gloria y Rosa que en todo momento me han brindado palabras de aliento y han sido ejemplo de éxito. A mis hermanos Jefferson, Mayerly y Noemi quienes me han acompañado y han sido mi inspiración para lograr esta meta. A mi novia Mayra y a nuestra hija Olivia que han sido mi fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida.

A los docentes Universitarios por impartirnos su entendimiento y experiencia laboral, y agradecer al Ing. William Diaz, por aceptar ser nuestro tutor para el proyecto de tesis, por su tiempo y entrega al momento de ayudarnos con alguna inquietud.

A mi amigo Erick Lema, con quien hemos sabido ayudarnos en los últimos semestres y así llegar a realizar el proyecto de tesis, a su vez gracias por ser un amigo y brindarme tu apoyo cuando lo he necesitado. A Gustavo, Luis, Alexis y todos mis compañeros que he podido conocer y compartir momentos en los laboratorios y aulas de clase, donde veíamos lejano la graduación y el momento está por llegar.

Cristian Villamarin

El tiempo de Dios todo es perfecto, ha sido testigo de mi andar y me ha permitido alcanzar grandes logros. En este camino, no he estado solo, y hoy quiero expresar mi más profunda gratitud a quienes han sido pilares fundamentales en mi vida.

A mis queridos padres, César y Rita, mi más sincero agradecimiento. Su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y sus sabios consejos han sido el faro que ha guiado mis pasos. Gracias por ser la base sólida sobre la que he construido mi vida.

A mis hermanos, mis compañeros de travesuras y confidentes, les agradezco por los momentos compartidos, por las risas y las lágrimas, por la complicidad y el apoyo incondicional que siempre me han brindado. Son parte esencial de mi ser.

A mi amada novia, Evelin Gabriela, mi más profundo agradecimiento por ser mi compañera de viaje en este camino de la vida. Tu presencia ha llenado mi existencia de alegría, amor y comprensión. Gracias por estar siempre a mi lado, apoyándome en las dificultades y celebrando juntos cada triunfo. Las experiencias que hemos vivido juntos quedarán por siempre grabadas en mi corazón.

A mis profesores de la universidad, les expreso mi más sincera gratitud por su invaluable labor. Sus conocimientos, su experiencia y su pasión por la enseñanza han sido fundamentales en mi formación profesional y personal. Gracias por prepararme para enfrentar los retos del mundo laboral con las herramientas y la confianza necesarias.

Erick Lema Jami

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO V
ÍNDICE GENERAL VII
ÍNDICE DE TABLAS XI
ÍNDICE DE FIGURAS XII
RESUMEN XIV
ABSTRACT XV
INTRODUCCIÓN 1
PROBLEMA DE ESTUDIO 2
JUSTIFICACIÓN 3
Objetivos 4
Objetivo general 4
Objetivos específicos 4
CAPÍTULO I 5
MARCO TEÓRICO 5
1.1 Historia y características del chocho 5
1.2 Descripción botánica 5
1.2.1 Raíz 6
1.2.2 Tallo 6
1.2.3 Hojas 7
1.2.4 Flores 7
1.2.5 Semilla 8
1.3 Cosecha del chocho 8
1.4 Dimensión del chocho crudo 9
1.4.1 Longitud 9
1.4.2 Ancho 10
1.4.3 Espesor 10
1.5 Trilladora 13
1.5.1 Trilladora manual 13
1.5.2 Trilladora mecanizada 14

1.6 Mecanismo de trillado 15
1.6.1 Cilindro de barras trilladas 15
1.6.2 Cilindro de dientes rígidos 16
1.6.3 Cilindro de barras angulares y cóncavo 16
1.7 Mecanismo de limpieza 17
CAPÍTULO II 18
ANÁLISIS DE VARIANTES 18
2.1 Variantes en la repotenciación 18
2.1.1 Variante 1: Cambio de eje principal con cilindro de barras 18
2.1.2 Variante 2: Cambio de eje con martillos 19
2.2 Criterios de valoración para la selección de la variante 20
2.2.1 Precio 20
2.2.2 Peso ligero. 20
2.2.3 Operación sencilla 21
2.2.4 Seguridad 21
2.2.5 Facilidad de fabricación 21
2.2.6 Competencia 21
2.2.7 Conservación 21
2.3 Valoración de las variantes 21
2.3.1 Ponderación de las alternativas para la repotenciación 22
2.3.2 Conclusión y elección de la alternativa 25
CAPÍTULO III 26
DISEÑO DE LA MÁQUINA TRILLDORA 26
3.1 Rediseño para la repotenciación de la máquina trilladora 26
3.1.1 Lista de partes de la máquina trilladora de chochos 26
3.1.2 Cálculo del torque del motor a combustión interna 27
3.2 Dimensionamiento del sistema reductor de velocidad 29
3.2.1 Características y dimensiones del eje de martillos 30
3.2.2 Selección de la banda del sistema de trasmisión 31
3.2.3 Diseño del pin tipo martillo 36
3.2.4 Análisis del eje soporte del martillo 39

3.2.5 Diseño de eje central 43
3.2.6 Diseño de eje excéntrico 50
3.2.7 Tamiz. 53
3.2.8 Bastidor 55
3.2.8.1 Cargas. 55
3.2.8.2 Esfuerzos 56
3.2.8.3 Deformación 56
3.2.8.4 Factor de seguridad 57
CAPÍTULO IV 59
ANÁLISIS DE RESULTADOS 59
4.1 Evaluación Inicial a la Máquina 59
4.1.1 Funcionamiento 59
4.1.2 Características de máquina 59
4.2 Máquina modificada. 60
4.2.1 Modificación del eje 61
4.2.2 Modificación en Ventilador 62
4.2.3 Modificación en tamiz 62
4.2.4 Modificación en bastidor 62
4.2.5 Datos obtenidos 63
4.3 Análisis comparativo 63
4.3.1 Eje 63
4.3.2 Ventilador 64
4.3.3 Tamiz 64
4.3.4 Bastidor 64
4.3.5 Comparación de datos 66
4.4 Análisis económico 66
4.4.1 Precio de materiales 67
4.4.2 Costos de manufactura 67
4.4.3 Precio mano de obra 67
4.4.4 Costo total 68
CONCLUSIONES 69

RECOMENDACIONES 70
GLOSARIO DE TÉRMINOS 71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensión de chocho. 11
Tabla 2. Criterios de valoración..... 22
Tabla 3. Ponderación de ¨Seguridad¨..... 22
Tabla 4. Ponderación de ¨Precio¨..... 23
Tabla 5. Ponderación de ¨Competencia¨..... 23
Tabla 6. Ponderación de ¨Bajo Peso¨..... 23
Tabla 7. Ponderación de ¨Ejecución Sencilla¨..... 24
Tabla 8. Ponderación de ¨Facilidad de Fabricación¨ 24
Tabla 9. Ponderación de ¨Mantenimiento¨ 24
Tabla 10. Conclusiones..... 25
Tabla 11. Torque de apriete para diferentes materiales. 37
Tabla 12. Evaluación Inicial de la Máquina. 60
Tabla 13. Características de la trilladora. 63
Tabla 14. Tabla comparativa de componentes. 65
Tabla 15. Comparación de datos 66
Tabla 16. Precio de materiales..... 67
Tabla 17. Costos de manufactura..... 67
Tabla 18. Precio mano de obra. 67
Tabla 19. Costo total. 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta del chocho y sus partes [2]..... 6
Figura 2. Tallos de chocho [3]..... 6
Figura 3. Planta del chocho [4]. 7
Figura 4. Flor de chocho [4]..... 7
Figura 5. Semilla del chocho [4]. 8
Figura 6. Cosecha del chocho [6]..... 9
Figura 7. Medición con calibrador longitud..... 9
Figura 8. Medición con calibrador ancho. 10
Figura 9. Medición con calibrador espesor. 10
Figura 10. Dimensión del chocho. 13
Figura 11. Trilladora manual del chocho [4]. 14
Figura 12. Trilladora Mecanizada [9]..... 15
Figura 13. Flujo axial con cilindro de dientes [10]. 16
Figura 14. Cilindro de barras angulares y cóncavo [10]. 17
Figura 15. Unidad de limpieza [13]. 17
Figura 16. Máquina con un cilindro de barras [1]..... 18
Figura 17. Máquina con dientes de trillado [4]. 19
Figura 18. Máquina para diseñar..... 25
Figura 19. Ensamble de máquina trilladora. 26
Figura 20. Dimensión de relación de trasmisión de motor a eje de martillos. 28
Figura 21. Esquema eje de martillo..... 30
Figura 22. Análisis de carga del eje de martillos**.** 31
Figura 23. Vista lateral del eje central..... 31
Figura 24. Correas trapeciales estrechas de alto rendimiento. 32
Figura 25. Cargas de pin de martillo. 37
Figura 26. Diagrama Cortante eje martillo. 38
Figura 27. Momento eje martillo. 38
Figura 28. Tubo cedula 40..... 40
Figura 29. Cargas en tubo cedula. 40
Figura 30. Diagrama cortante de tubo. 40
Figura 31. Diagrama momento de tubo..... 41
Figura 32. Fuerzas en el eje central. 43
Figura 33. Cortante eje central. 43
Figura 340. Momento eje central. 44
Figura 35. Excéntrica. 50
Figura 36. Cargas del elemento. 50
Figura 37. Cortante eje excéntrico. 51
Figura 38. Momento eje excéntrico. 51
Figura 39. Diámetro ideal. 53
Figura 40. Plancha perforada. 54

Figura 41. Distancia de tamiz y eje de martillos. 54
Figura 42. Bastidor con cargas. 55
Figura 43. Muestra máxima tensión en el bastidor. 56
Figura 44. Máxima deformación del bastidor. 57
Figura 45. Bastidor factor de seguridad. 58

RESUMEN

Los pequeños productores de chochos generalmente enfrentan dificultades para adquirir la maquinaria necesaria, como una trilladora de chochos, debido a su elevado costo. Como resultado, la mayoría de los agricultores optan por el trillado manual, lo cual no solo afecta la calidad del producto final y la pérdida de semillas, sino que también requiere la contratación de varios trabajadores.

El objetivo de nuestro proyecto es mejorar una trilladora de chochos para incrementar su capacidad de producción de 50 kg/h a 60 kg/h, y al mismo tiempo separar las semillas de las vainas y los tallos. Esta iniciativa responde a la alta demanda de pequeños y medianos productores de chocho en la comunidad del cantón Sigchos.

En resumen, el diseño se basa en criterios ponderados para mejorar la máquina y facilitar su construcción. El rediseño deberá reducir las pérdidas de chochos en mal estado y evitar la destrucción de semillas durante el proceso de trillado manual.

Para automatizar el trillado del chocho, es fundamental que la máquina cuente con un motor y un cilindro equipado con martillos giratorios, los cuales se encargarán de realizar el proceso de desvainado, es decir, separar el grano de la vaina. Este diseño ha sido desarrollado teniendo el conocimiento de lo que requiere la comunidad, y se realizarán pruebas exhaustivas para asegurar su correcto funcionamiento.

Palabras claves: chochos, repotenciar, eje de martillos, funcionamiento

ABSTRACT

Small-scale lupine farmers often struggle to acquire necessary machinery like lupine threshers due to their high cost. Consequently, many farmers resort to manual threshing, which not only impacts product quality and results in seed loss, but also necessitates hiring multiple workers.

Our project aims to enhance a lupine thresher to increase its throughput from 50 kg/h to 60 kg/h while effectively separating seeds from pods and stems. This initiative addresses the strong demand from small and medium-sized lupine producers in the Sigchos canton community.

In essence, the design is based on prioritized criteria aimed at improving the machine and simplifying its fabrication. The redesigned thresher aims to minimize losses of low-quality lupine and eliminate seed destruction during manual threshing.

To automate lupine threshing, the machine requires a motor and a cylinder equipped with rotating hammers, designed to shell the lupine by separating the grain from the pod. This design has been developed based on community needs, with rigorous testing planned to ensure its functionality

Keywords: chochos, repower, hammer shaft, operation

INTRODUCCIÓN

En el país, hay comunidades que cultivan productos de alta calidad con una gran demanda por parte de las empresas, por lo que es crucial contar con maquinaria agrícola adecuada para optimizar el tiempo de producción. La comunidad de Sigchos ha utilizado una trilladora de chochos durante varios años, lo cual ha facilitado la extracción del producto. Sin embargo, debido al uso continuo y al incremento en la demanda, surge la necesidad de repotenciar esta trilladora debido a problemas como altas vibraciones y desperfectos en el ajuste de bandas y poleas, lo que ha resultado en una máquina poco eficiente y un notable desperdicio de grano.

El equipo por construir y diseñar, se abordarán los defectos identificados en la máquina actual. Se desarrollarán nuevas variables y se ajustará el diseño para garantizar una construcción segura, ergonómica y eficiente que permita incrementar la capacidad de trillado en menos tiempo. Se variarán parámetros como la velocidad del cilindro, el número de cuchillas a lo largo del mismo y la capacidad de trabajo. Estos ajustes serán fundamentales para analizar y mejorar los resultados del proceso de trillado.

Es importante destacar que las máquinas industriales nos ayudan a garantizar un manejo preciso de los productos que vamos a procesar, con el objetivo de alcanzar la excelencia y poder exportar los diversos productos del mercado agrícola nacional a distintas partes del mundo. En este contexto, las condiciones del proyecto actual se centran en el bosquejo y la mejora de la trilladora de chochos, utilizando materiales disponibles en el mercado nacional. El objetivo es ofrecer una opción accesible para los agricultores, facilitando la adquisición de una trilladora a bajo costo.

PROBLEMA DE ESTUDIO

El problema que enfrentan las emprendedoras que cultivan granos andinos en la provincia de Cotopaxi, cantón Sigchos, radica en las deficiencias presentadas por la trilladora de chochos adquirida. Esta máquina se esperaba que incrementara la eficiencia de producción y redujera el tiempo necesario para realizar el trabajo, pero su funcionamiento ha sido irregular. Se observó que carecía de protecciones adecuadas, lo que resultó en desperdicio de grano y una disminución en los rendimientos agrícolas.

El grupo de emprendedoras necesita una solución que aborde todos los aspectos técnicos para mejorar la productividad del grano andino. Al lograr una mayor eficiencia en la trilladora, también se impulsa a las comunidades que mejoren su condición económica. Es crucial desarrollar una solución efectiva que optimice la productividad del grano andino y contribuya al crecimiento económico sostenido de la comunidad.

El cultivo de semillas de chochos se ha convertido en el pilar de esta comunidad con el paso del tiempo, ya que en los últimos años han enfrentado dificultades en el procesamiento de productos agrícolas, especialmente en la separación de la semilla de la cáscara. Este problema se hace evidente durante el proceso de trillado del chocho, que es bastante lento, impidiéndoles obtener la cantidad necesaria para poder comercializar su producto. Como resultado, sus ingresos económicos son muy bajos.

Por lo tanto, surgen las siguientes preguntas respecto a este problema:

¿Es posible repotenciar la máquina desvainadora para reducir el tiempo de procesamiento?

¿Cuál sería el porcentaje en el procesamiento de chochos?

¿Cuánto costaría repotenciar e implementar la desvainadora de chochos?

JUSTIFICACIÓN

La Universidad Politécnica Salesiana se distingue por su compromiso con los individuos más vulnerables de la sociedad y los sectores necesitados. Con los proyectos llevados a cabo con la participación de sus estudiantes, la universidad busca promover el bienestar y el progreso mediante la aplicación práctica del conocimiento. Esto impulsa el crecimiento social y económico en sectores que carecen de los recursos necesarios. En este contexto, la comunidad de Sigchos en la provincia de Cotopaxi representa un área que requiere soluciones para sus desafíos agrícolas. El proyecto de la trilladora de chochos tiene como prioridad aprender del futuro de la agricultura y las generaciones venideras, mejorando el bienestar de las personas del campo.

Los procesos de rediseño y fabricación de la máquina trilladora de chochos, se busca capacitar a las emprendedoras dedicadas a la agricultura para procesar grandes cantidades de grano andino de la mejor manera posible. La finalidad de la máquina va ser la separación del grano de la vaina, preparándolo para su transporte y venta en centros de acopio. Esto elimina la necesidad de realizar el trillado manual, un trabajo arduo y pesado que conlleva riesgos de enfermedades musculares en las manos y espalda.

Se espera que la máquina trilladora de chochos no solo mejore las condiciones de trabajo, sino que también contribuya a la sostenibilidad y estabilidad económica de la comunidad rural. Después de realizar pruebas de funcionamiento en el equipo agrícola piloto, es fundamental tener en cuenta que su productividad debe ser buena sin presentar desperfectos. Su diseño nuevo hace que la máquina trilladora de chochos está orientada a ser eficiente y seguro, facilitando así el trabajo de los agricultores.

Objetivos

Objetivo general

Repotenciar una máquina trilladora de chochos para alcanzar una productividad de 60 kg/h, destinada a la comunidad del cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi.

Objetivos específicos

- Analizar el proceso de trillado del chocho en la máquina actual mediante ensayos experimentales con el fin de estudiar distintas técnicas.

- Rediseñar la máquina trilladora de chochos para que satisfaga los requisitos de productividad especificados.

- Acondicionar la máquina trilladora actual para que realice el trabajo a una capacidad de 60 kg/h.

- Verificar el funcionamiento de la máquina trilladora de chochos para que desempeñe el trabajo de manera fiable.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Historia y características del chocho

El chocho o también llamado lupino (Lupinus mutabilis) pertenece a la familia de las leguminosas, se origina en los andes centrales expandiéndose por Colombia hasta el norte de Argentina debido a las relaciones comerciales. Este producto tiene mucho valor en la gastronomía de los países andinos debido a su elevado contenido proteico, por lo cual es esencial en la nutrición y salud humana [1].

Se cultiva en áreas entre los 2600 a 3400 m de altitud en zonas secas y arenosas, en climas templados y fríos a una temperatura de entre 7 y 14 °C. Se debe tener en cuenta que este producto es sensible a las heladas, esto provoca retraso en la floración, disminución en el rendimiento y granos "chupados". Para el proceso de cultivar el chocho, se debe preparar el suelo con 30 días de anticipación debe ser aplanados con un 5 % de pendiente; para sembrar se debe elegir una semilla de calidad generalmente en Ecuador se usa la semilla 450 Andina del INIAP [2].

Para la fertilización, se aconseja usar de 1 a 3 quintales de fertilizante 12-28-12 junto con 7 quintales de Roca Fosfórica por las hectáreas cultivadas en ausencia en los análisis químicos del suelo. Además, es crucial aplicar por hectárea estiércol descompuesto, un mes antes de la siembra. Durante los primeros 30 días después de sembrar, es esencial llevar a cabo el deshierbe para eliminar las malas hierbas, mejorar la aireación del sistema radicular, especialmente durante períodos de muchas tormentas. Asimismo, es fundamental contar con un sistema de fumigación adecuado para prevenir la entrada de plagas que podrían afectar negativamente el crecimiento saludable del chocho [2].

1.2 Descripción botánica

La principal cualidad del chocho radica en su elevado contenido proteico y su calidad superior en comparación con otros cultivos. Esta planta crece de manera erguida y puede alcanzar alturas que van desde los 0.8 m hasta los 2 m. Las partes de la planta se muestran en la Figura 1.

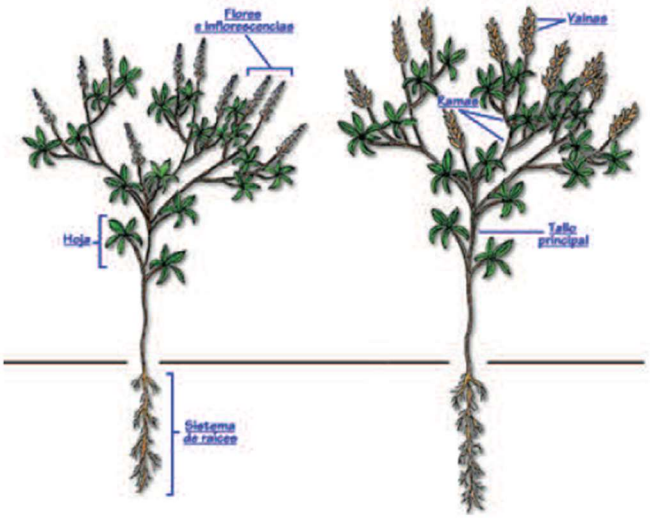


Figura 1. Planta del chocho y sus partes [2].

1.2.1 Raíz

Su raíz es muy larga y su crecimiento en el suelo es vertical, cuenta con un eje central ancho en comparación a las ramificaciones, las cuales presentan en su mayoría pelos radicales que pueden alcanzar a medir hasta más de un metro [3].

1.2.2 Tallo

Puede alcanzar una gran altura y 0.08 a 2 mm. de aspecto robusto y leñoso, debido a su gran contenido en fibra y celulosa se puede usar como combustible [3]. Se puede ver su gran tamaño en la Figura 2.

Figura 2. Tallos de chocho [3].

1.2.3 Hojas

Sus hojas tienen un color verde oscuro y amarillo verdoso, pero depende mucho si contiene antocianina, tiene ocho pinnas que van intercalándose entre variados y lanceolados tiene una estructura en punta de lanza [4]. Así como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Planta del chocho [4].

1.2.4 Flores

El chocho luce una corola vistosa de gran tamaño, con un diámetro de entre 1 y 2 centímetros, compuesta por cinco pétalos delicadamente dispuestos. La planta, dependiendo de su tipo de ramificación, puede presentar hasta tres floraciones sucesivas a lo largo de su ciclo de vida. La coloración de la flor es un espectáculo en sí misma, ya que va cambiando gradualmente desde un azul claro en su fase inicial hasta un azul intenso a medida que madura [4]. Se puede analizar la flor en la Figura 4.

Figura 4. Flor de chocho [4].

1.2.5 Semilla

La semilla del chocho tiene como forma una elipsoidal y otras circulares, su tamaño puede ser de 4 a 15[mm], puede variar sus Dimensiones en las características de desarrollo como del tipo o variedad y si hablamos del color de las semillas es variable desde claros hasta oscuros también puede ser de tonalidad marmoleado [4]. Se observa la semilla en la Figura 5.

Figura 5. Semilla del chocho [4].

1.3 Cosecha del chocho

La cosecha inicia siempre y cuando los granos, vainas y toda la planta estén totalmente secos y maduros es decir deben tornarse de color café amarillento, debido a que si cumplen estas condiciones el producto puede aguantar las plagas y tiene una mayor duración, al igual que mejora su sabor [5].

Primero se debe cortar los racimos de vainas y las plantas manualmente o con una hoz para continuar con la trilla de forma tradicional utilizando varas de madera con las cuales golpea las vainas secas y se procede a separar la cáscara del producto para seleccionar el chocho de mejor calidad para la venta en caso de utilizarlo como semilla, es recomendable elegir plantas en excelente estado y que tengan varios racimos de vainas [6]. La cosecha del chocho se observar en la Figura 6.

Figura 6. Cosecha del chocho [6].

1.4 Dimensión del chocho crudo

Para el diseño se toma en cuenta la dimensión del grano para determinar alternativas de desempeño en el trillado, como son:

1.4.1 Longitud

La longitud que muestra el chocho es de 10.4 mm se lo observar en la figura 7.

Figura 7. Medición con calibrador longitud.

1.4.2 Ancho

El ancho que muestra el chocho es de 8.6 mm se puede observar en la Figura 8.

Figura 8. Medición con calibrador ancho.

1.4.3 Espesor

El espesor que muestra el chocho es de 5.1 mm se puede observar en la Figura 9.

Figura 9. Medición con calibrador espesor.

Para el ensayo se utilizó un pie de rey digital modelo PANTEEC, para cada muestra se tomó su trazabilidad de largo ancho y espesor.

El tamaño promedio de muestra se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 11

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i+1}^{n} \cdot X_i}{N}$$

Donde:

$\overline{X} =$ La media aritemcia de las dimensiones del chocho.

$X_i =$ Es el promedio de las medidad tomadas al cereal.

$N =$ Numero de muestras.

La tabla 1 se presenta las magnitudes del chocho

Tabla 1. Dimensión de chocho.

Número de muestras	Largo[mm]	Ancho[mm]	Espesor[mm]
1	7.7	7.3	5.4
2	1.39	8.5	5
3	8.9	7	4.3
4	8.8	8.5	5.2
5	9.9	7.9	5
6	9.3	7.3	5.5
7	9.5	8.2	4.2
8	9.8	7.8	5.2
9	10	8.2	5.4
10	9.7	8.7	5.88
11	8.9	8	5.4
12	8.9	7.6	5.2
13	9.8	8.4	5
14	9.7	7.7	5.7
15	9.2	8	5.3

16	9.57	8	5.3
17	9.8	7.9	4.6
18	9.4	7.8	4.5
19	9.7	9.6	5.4
20	7	9.1	5.8
21	10.23	7.5	5.6
22	9.7	8	5.2
23	9	6.2	4.8
24	9.7	7.8	5.7
25	9.5	7.7	5.7
26	10.3	7.7	5
27	9.8	7.9	5.6
28	11.5	9.2	5
29	10.9	8.4	5.5
30	10	8.5	6.5
TOTAL	277.59	240.4	157.88
Media aritmética	9.65	8.01	5.26

La media aritmética da como un resultado:

Largo = 9.65 mm

Ancho = 8.01 mm

Espesor = 5.26 mm

La Figura 10 representa las dimensiones promedio del chocho.

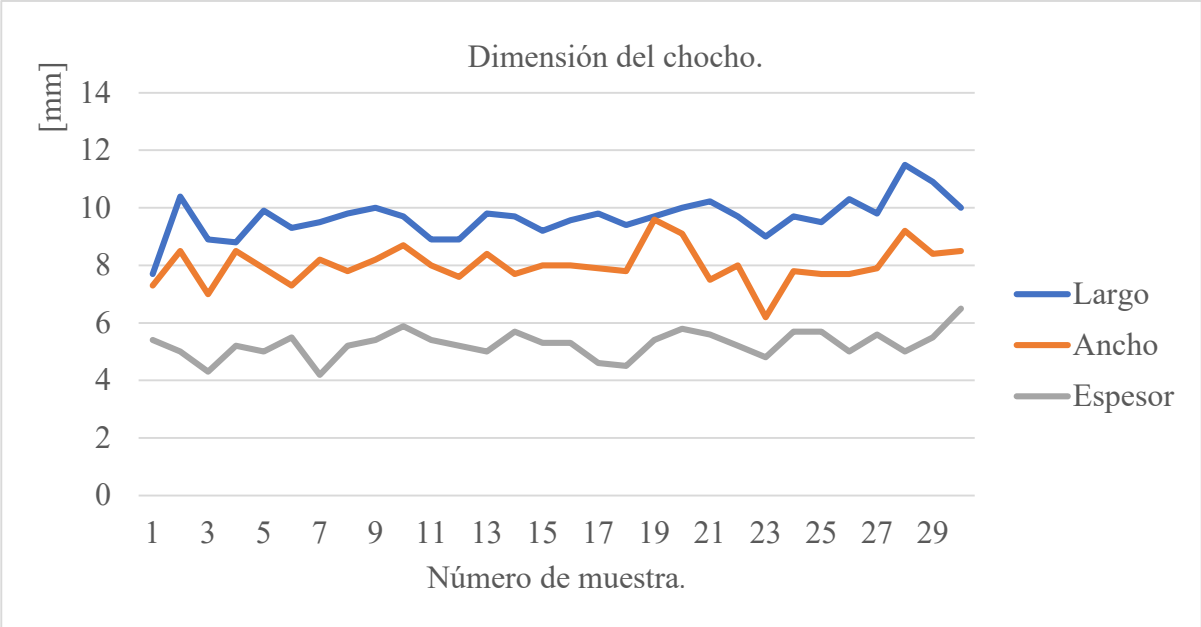


Figura 10. Dimensión del chocho.

1.5 Trilladora

El objetivo de este equipo agrícola tradicional es separar los granos de una vaina o espiga, el cual el principio de funcionamiento es la fricción y golpes repetidos, existe variables que pueden ser la separación de las cuchillas en el largo del cilindro hueco, también interviene la velocidad y el diámetro del cilindro [7].

Las trilladoras agrícolas tienen un motor de combustión interna que ayuda a mover las poleas y las partes de la máquina, también por medio de una banda las poleas principales del cilindro que hace el trabajo de desgranar y dejar el chocho limpio y listo para ponerlos en los costales correspondientes [8].

1.5.1 Trilladora manual

El trillado manual consiste en golpear con tiras de madera con clavos a las plantas secas para separar el grano de la vaina. Debido al esfuerzo que se requiere para esta actividad, es necesario bastante mano de obra que logre el trillado de forma eficiente con buen rendimiento [4]. La técnica de trillado manual se lo observa en la Figura 11.

Figura 11. Trilladora manual del chocho [4].

Ventajas

- Se utiliza en cosechas de hasta una hectárea
- El producto no es maltratado ni desperdiciado
- Los granos son aptos para utilizarlos como semilla

Desventajas

- Mayor esfuerzo físico y tiempo de trabajo
- Se requiere más personal para llevar a cabo las tareas
- Su costo de venta es más elevado [4].

1.5.2 Trilladora mecanizada

El proceso de trillado mecánico se basa en una serie de partes mecánicas que permite el trillado por medio de un motor y un tren de trasmisión obteniendo una mayor eficiencia en el trabajo reduciendo el tiempo y el trabajo [9]. Se puede ver una trilladora mecanizada en la Figura 12.

Figura 12. Trilladora Mecanizada [9].

Ventajas

- Se ahorra en tiempo y trabajo.
- Reducción de personal.
- Costo de operación de un trabajador.
- La producción seria para grandes campos de chochos.

Desventajas

- Por su masa es necesario tener una camioneta para ser trasportada.
- Tiene un cilindro que puede llegar aleccionar gravemente.
- En ocasiones por problemas mecánicos y calibración de la máquina puede dañar los granos de chocho [4].

1.6 Mecanismo de trillado

Su objetivo es seleccionar los granos de las panojas y espigas por lo tanto es importante la operación de fricción y choque ya que la rotación del cilindro trillador, contra la parrilla curva llamada cóncavo, cuyos datos pueden variar al momento de los cálculos [10].

1.6.1 Cilindro de barras trilladas

Está conformado el cilindro con discos y un eje que cruza por la mitad, por otra parte, va acoplado en cojinetes de esfera contiene seis u ocho pines corrugados con estrías oblicuas, si hablamos del funcionamiento del cilindro trillador es su longitud, diámetro y la velocidad periférica. Si se habla del cóncavo o parrilla metálica de puede decir que tiene un conjunto de barras paralelas que se mantienen unidas por varillas curvas de acero, distribuidas una a lado de otra en semicírculo [11].

1.6.2 Cilindro de dientes rígidos

En la práctica del trillado el cilindro tiene una serie de dientes de acero colocadas de forma circular en el exterior de un número de discos, tiene un cóncavo con dientes sujetos a las barras por barras curvas laterales. En vez de friccionar el producto la función de los dientes es desmenuzar y despedazar, esta operación es común mente utilizada en las trilladoras de arroz ya que es muy agresiva [10]. Observamos en la Figura 13 un cilindro de dientes.

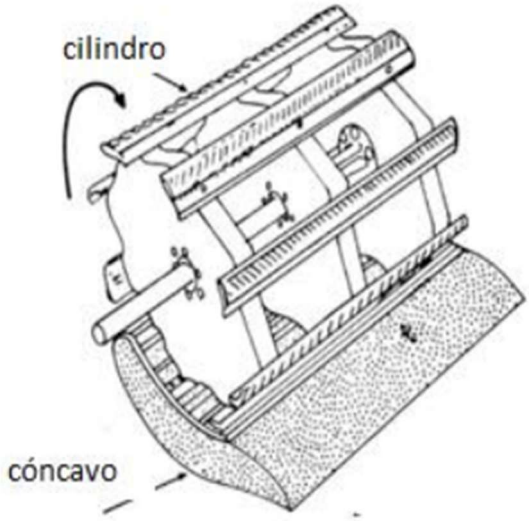


Figura 13. Flujo axial con cilindro de dientes [10].

1.6.3 Cilindro de barras angulares y cóncavo

Este tipo de cilindro trabaja mejor con semillas más pequeñas ya que su mecanismo consiste en ángulos puestos helicoidalmente sujetas a los discos, tiene un caucho como revestimiento con las barras y el cóncavo, gracias a su diseño el movimiento es más suave, por ende, el grano es sacudido y ya no es friccionado. Tiene un batidor que se utiliza para que no se produzca la contra alimentación del cilindro, al crecer el material a los lados de la circunferencia del cilindro.

En algunas trilladoras, el despojador se encuentra en la parte de arriba de la máquina, si se habla del batidor que gira, está situado directamente en la parte trasera y superior del cilindro trillador. Su tarea es minimizar el paso del material que viene desde el cilindro cóncavo y enviar el material hacia abajo, los bastidores pueden estar construidos de tambor con aletas desarmables o no desarmables [11]. Se puede observar en la Figura 14 cilindro de barras.

Figura 14. Cilindro de barras angulares y cóncavo [10].

1.7 Mecanismo de limpieza

El objetivo de la unidad de limpieza es dejar el producto completamente libre de cualquier impureza. Según el tamaño del grano la máquina tiene perforaciones en sus filtros y cuenta con un ventilador para separar el residuo. Se sabe que la suciedad del grano viene de la unidad trilladora y del sacudidor, luego cae sobre el recipiente y la corriente del aire que sale del ventilador, hace que bote los residuos fuera del aparato y el grano se traslade a través de la zaranda y así queda lo más limpio posible [12].

En INIAP Ecuador, se cuenta con la investigación para saber la clasificación de los granos ya que, por medio de tamices y ventilación final, Clipper super, modelox29D¨ este compuesto de cuatro cribas, dos limpiadores y dos clasificadoras y un ventilador [13]. Se puede observar en la Figura 15 una unidad de limpieza.

Figura 15. Unidad de limpieza [13].

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE VARIANTES

2.1 Variantes en la repotenciación

2.1.1 Variante 1: Cambio de eje principal con cilindro de barras

En la variante 1 se requiere cambiar el eje principal por un eje con cilindro de barras, tal como se observa en la Figura 16.

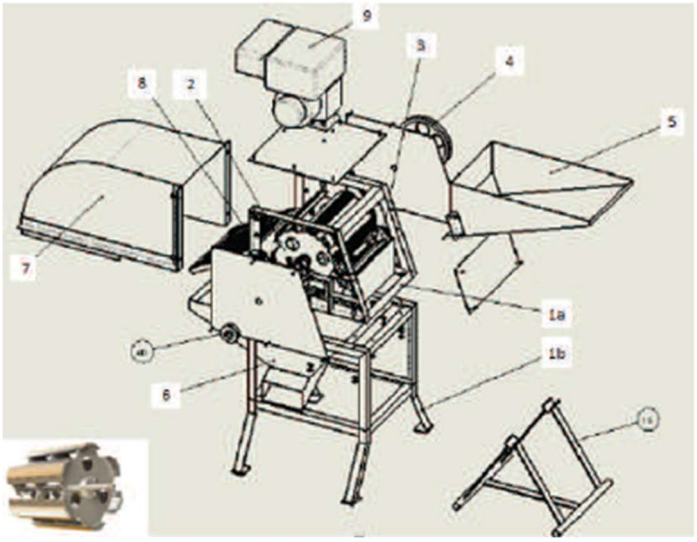


Figura 16. Máquina con un cilindro de barras [1].

La máquina con cilindro de barras que trilla y inicia su funcionamiento al prender el motor (9), trasmite el giro al funcionamiento del mecanismo de trillado (2) con la ayuda del método de transmisión por correas.

Mediante la salida de comestibles (5), a causa del giro del mecanismo trillador mueve la cascar del chocho, paja y tallos que entran al lugar del cilindro de barras y el cóncavo.

Como respuesta del movimiento de giro el mecanismo de trillado se genera el rose de las barras contra una dominante variedad de plantas. Lo que quiere decir que una mutua fricción de las vainas, que rosan con los filos del cóncavo y apartar con su totalidad la vaina del chocho.

Ventajas:

- ✓ Su potencia no es muy elevada
- ✓ Accesibilidad para su mantenimiento y el montaje/desmontaje
- ✓ Para la post cosecha se facilita su traslado
- ✓ Gracias a la combinación del cóncavo con el cilindro tiene un buen rendimiento para la limpieza del grano

Desventajas:

- ✓ Sus costos para el mantenimiento preventivo son elevados
- ✓ La implementación del cilindro de barras es más complicada
- ✓ En cuanto a la humedad de la paja tiene problemas de trillar
- ✓ La falta de exportación en cuanto a materiales para la construcción de maquinaria

2.1.2 Variante 2: Cambio de eje con martillos

En esta variante se requiere cambiar el eje principal por un eje con martillos, como observa en la Figura 17.

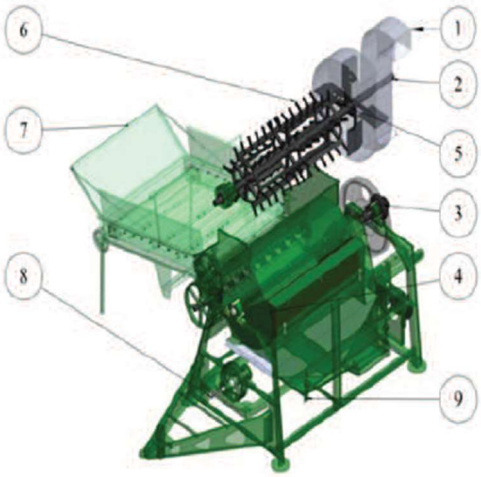


Figura 17. Máquina con dientes de trillado [4].

La trillada con un cilindro de dientes al encender el motor a combustión entra en marcha, el que a través de bandas puede pasar el desplazamiento al cilindro que va a trillar.

Las cáscaras del chocho, tras ser trilladas, se depositan en una tolva. A continuación, ingresan al área de trillado, la cual está compuesta por un cilindro cóncavo provisto que tiene martillos

que golpean las cáscaras separando los granos, al momento de moverse el cilindro comienza a golpear a las vainas del chocho.

El grano ha sido descascarado, luego llega el tamizado para evacuar todos sus residuos como la vaina, palos y polvo ya que se queda residuos del proceso antes mencionado.

Posteriormente, gracias a un ventilador que genera corrientes de aire separa las impurezas ya que no puede quedar ninguna vaina, finalmente Se tiene granos limpios y libre de impurezas.

Ventajas:

- ✓ Su sistema de dientes realiza mayor masa de material.
- ✓ Diseño sencillo.
- ✓ Fácil manejo para él operador.
- ✓ La máquina se puede mover con mayor facilidad.
- ✓ Se tiene mayor cantidad de grano y trillado de alta calidad.
- ✓ Su material es más accesible para la compra y venta a nivel nacional.
- ✓ No tienen mayor tecnología y su mantenimiento es muy sencillo.

Desventajas:

- ✓ Por su fricción se tiene desgaste de los dientes y la forma cóncava.
- ✓ Necesita un sistema continuo del material a trillar.
- ✓ Se debe tener en cuenta que sus dientes tienen una separación por lo cual es necesario tener una medida muy exacta para no tener problemas mecánicos.
- ✓ Es sumamente importante la calibración de la máquina, ya que puede llegar a hacer daño al producto que se está por trillar.

2.2 Criterios de valoración para la selección de la variante

2.2.1 Precio

Por la necesidad de los agricultores es muy importante contar con una máquina que les facilite el trillado del chocho. El mayor valor sugiere que la máquina tiene un precio reducido.

2.2.2 Peso ligero.

Ya que las post cosechas del chocho están en lugares poco accesibles la máquina debe contar con la facilidad de transportarse. El mayor valor indica que la máquina es más liviana.

2.2.3 Operación sencilla

Su sencilles al momento de maniobre y comodidad al momento de operar la máquina. El mayor valor indica que la máquina es sencilla de operar.

2.2.4 Seguridad

Al momento de trabajar con la máquina es importante impedir los accidentes que ocurre al momento de poner la planta del chocho. El mayor valor indica que la máquina es segura.

2.2.5 Facilidad de fabricación

Gracias a su diseño desmontable, la fabricación de sus piezas es más sencilla, por lo que se puede utilizar la maquinaria y materiales que nos venden a nivel nacional. El mayor valor indica que la máquina es de sencilla fabricación.

2.2.6 Competencia

La competencia está vinculada a la elaboración que se obtiene en un periodo otorgado, el mayor valor indica que la máquina posee muy buena competencia.

2.2.7 Conservación

La máquina cuenta con piezas de fácil desmontaje, su estructura es de fácil acceso para reparaciones. El mayor valor indica que la máquina tiene una sencilla reparación.

2.3 Valoración de las variantes

Es un procedimiento empleado para realizar ajustes o rectificaciones a la importancia de algunos criterios que a otros según lo que se necesita para llegar al objetivo. Su evaluación significa que califica cada opción según lo bien que cumple con cada criterio, usar una escala consistente [14]. En la tabla 2 se exhibe los estándares de valoración donde se puede evidenciar el criterio con mayor peso es de seguridad.

Tabla 2. Criterios de valoración

ESTÁNDARES	FACILIDAD DE FABRICACIÓN	COMPETENCIA	CONSERVACIÓN	PRECIO	BAJO PESO	EJECUCIÓN SENCILLA	SEGURIDAD	Σ+1	**VALORACIÓN**
FACILIDAD DE FABRICACIÓN	-	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	2.0	0.07
COMPETENCIA	1.0	-	1.0	0.5	0.5	1.0	0.0	5.0	0.18
CONSERVACIÓN	0.0	0.0	-	0.0	0,0	0.5	0.0	1.5	0.05
PRECIO	1.0	0.5	1.0	-	0.5	1.0	0.5	5.5	0.20
BAJO PESO	1.0	0.5	1.0	0.5	-	0.5	0.0	4.5	0.16
EJECUCIÓN SENCILLA	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	-	0.0	2.5	0.09
SEGURIDAD	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	7.0	0.25
								28.00	1.00

2.3.1 Ponderación de las alternativas para la repotenciación

Se tiene que revisar las opciones para cada uno de nuestros criterios de valoración, en la Tabla 3 hasta la 9. En la tabla 10 se muestra las conclusiones, para obtener la máquina de mayor importancia para realizar la repotenciación de la máquina.

Tabla 3. Ponderación de ¨Seguridad¨

SEGURIDAD	VARIANTE A	VARIANTE B	Σ+1	**VALORACIÓN**
VARIANTE A	-	0.5	1.5	0.5
VARIANTE B	0.5	-	1.5	0.5
SUMA			3	1

Tabla 4. Ponderación de ¨Precio¨

PRECIO	VARIANTE A	VARIANTE B	∑+1	**VALORACIÓN**
VARIANTE A	-	0	1	0.33
VARIANTE B	1	-	2	0.67
SUMA			3	1

Tabla 5. Ponderación de ¨Competencia¨

COMPETENCIA	VARIANTE A	VARIANTE B	∑+1	**VALORACIÓN**
VARIANTE A	-	0	1	0.33
VARIANTE B	1	-	2	0.67
SUMA			3	1

Tabla 6. Ponderación de ¨Bajo Peso¨

BAJO PESO	VARIANTE A	VARIANTE B	∑+1	**VALORACIÓN**
VALORACIÓN A	-	0	1	0.33
VALORACIÓN B	1	-	2	0.67
SUMA			3	1

Tabla 7. Ponderación de ¨Ejecución Sencilla¨

EJECUCIÓN SENSILLA	VARIANTE A	VARIANTE B	Σ+1	**VALORACIÓN**
VARIANTE A	-	0.5	2	0.5
VARIANTE B	0.5	-	2	0.5
SUMA			3	1

Tabla 8. Ponderación de ¨Facilidad de Fabricación¨

FACILIDAD DE FABRICACIÓN	VARIANTE A	VARIANTE B	Σ+1	**VALORACIÓN**
VARIANTE A	-	0	1	0.33
VARIANTE B	1	-	2	0.67
SUMA			3	1

Tabla 9. Ponderación de ¨Mantenimiento¨

MANTENIMIENTO	VARIANTE A	VARIANTE B	Σ+1	**VALORACIÓN**
VARIANTE A	-	0	1	0.33
VARIANTE B	1	-	1	0.67
SUMA			3	1

Tabla 10. Conclusiones

CONCLUSIÓN	SEGURIDAD	PRECIO	COMPETENCIA	BAJO PESO	EJECUCIÓN SENCILLA	FACILIDAD DE FABRICACION	TOTAL	Σ+1	**VALORACIÓN**
VALORACIÓN	0.25	0.2	0.18	0.16	0.09	0.07	0.05	1	-
VARIANTE A	0.5	0.333	0.333	0.3	0.5	0.33	0.33	0.4	II
VARIANTE B	0.5	0.667	0.67	0.7	0.5	0.67	0.67	0.6	I

2.3.2 Conclusión y elección de la alternativa

Utilizando el método de criterios ponderados corregidos, se analizó los datos y se decidió que la mejor opción es la alternativa B por los resultados de la Tabla 10, esto quiere decir que el cambio de eje con martillos para repotenciar la maquina trilladora de chochos es la seleccionada; Así se muestra en la figura 18 el diseño primario de la maquina a ser repotenciada.

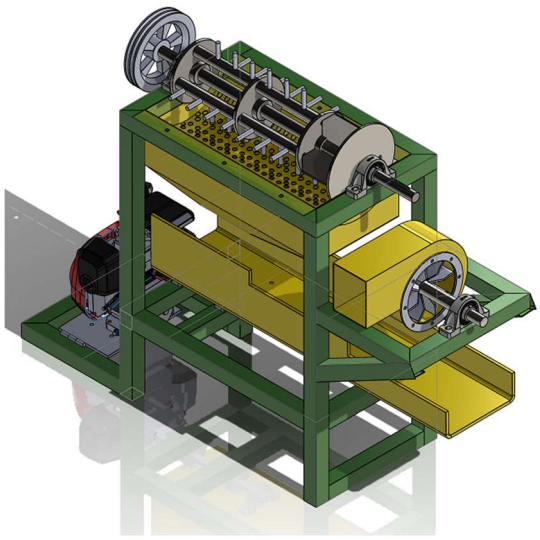


Figura 18. Máquina para diseñar

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA MÁQUINA TRILLDORA

3.1 Rediseño para la repotenciación de la máquina trilladora

La repotenciación de la máquina se basa en la implementación de un sistema de separación con rodillo de dientes tipo martillo, según lo detallado en el capítulo 2. Este sistema funciona mediante el giro del rodillo, el cual golpea las vainas y desprende el grano de las ramas. Un extractor de aire forzado ayuda a revolver los granos desprendidos y a transportarlos a través de una placa tamiz hacia una tolva, donde se separan de las basuras generadas en el proceso. Posteriormente, un segundo extractor de aire forzado se encarga de limpiar aún más el grano, eliminando las basuras restantes. Finalmente, el grano limpio se acumula en un silo listo para su almacenamiento.

3.1.1 Lista de partes de la máquina trilladora de chochos

En el modelo que se representa en la figura 19 así se observan las distintas partes que tiene la trilladora de chochos que se repotenciara.

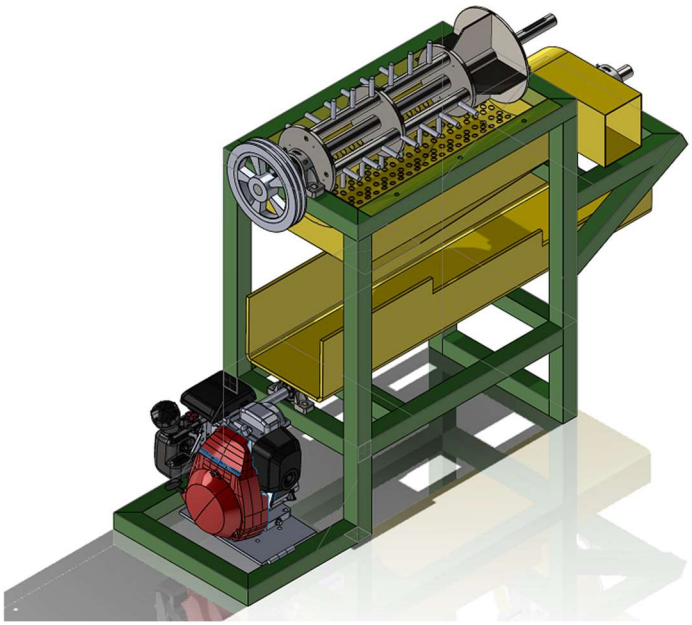


Figura 19. Ensamble de máquina trilladora.

- Motor a combustión interna.
- Eje de martillos. Poleas.

- Bandas.
- Poleas.
- Bastidor.
- Tamiz.
- Pernos.
- Chavetas
- Tolva.

3.1.2 Cálculo del torque del motor a combustión interna

El motor fue extraído de la máquina trilladora a modificar, el motor de combustión interna es marca BISON; modelo BS200; $Pot = 6.5\ [hp]$; 1200 [rpm] en promedio.

Para obtener el torque se tiene los siguiente:

$$Pot = T \cdot n$$ **Ecuación 22**

$$Pot = 6.5[hp] \cdot \frac{746[W]}{1[hp]}$$

$Pot = 4849[W]$

$Pot = 4.85[kW]$

$$T = \frac{Pot}{n}$$ **Ecuación 33**

Donde:

Pot: $4849[W]$

$n_{prom} = 1200[rpm]$

$$T = \frac{4849[W]}{1200[rpm]}$$

Velocidad angular

$$\omega = 1200[rpm] \cdot \frac{2\pi[rad]}{[rev]} \cdot \frac{[min]}{60[s]}$$

$$\omega = 125.66[\frac{rad}{s}]$$

Torque de motor

$$T = \frac{4849[W]}{125.66[rpm]}$$

$$T_{Prom} = 38.58[N \cdot m]$$

3.1.2.1 Relación de trasmisión

Describe la velocidad de entrada y velocidad de salida de un sistema de transmisión. Así se muestra en la Figura 20 las dimensiones de relación.

Ecuación 44

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

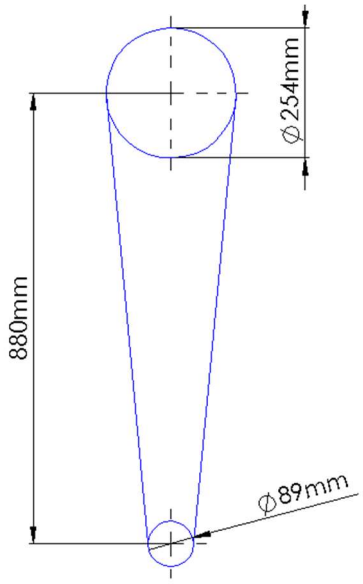


Figura 20. Dimensión de relación de trasmisión de motor a eje de martillos.

Donde:

$d_2 = 254\ [mm]$

$d_1 = 89\ [mm]$

$$i = \frac{89\ [mm]}{254\ [mm]}$$

$$i = 0.35$$

3.2 Dimensionamiento del sistema reductor de velocidad

En la elección de un sistema de trasmisión de velocidades se emplea poleas y bandas, para dimensionar el sistema reductor de velocidades los cereales tienen un rango de trabajo que optimiza la producción, según la tabla que se encuentra en el apéndice de características de chocho tiene un valor entre 400 – 600 [rpm] [15].

Para establecer las revoluciones del motor a combustión interna modelos BS200 en las especificaciones técnica que se encuentra en el apéndice su máxima velocidad es de 3000 [rpm], para ello se considera una velocidad promedio de 1200 [rpm] por factores de desempeño y rangos de trabajo.

Ecuación 55

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{d_1}$$

Donde

$n_1 = 1200[rpm]$

$d_1 = 89[mm]$

$D_2 = 254[mm]$

Ecuación 66

$$n_2 = \frac{d_1}{D_2} \cdot n_1$$

$$n_2 = \frac{89[mm]}{254[mm]} \cdot 1200[rpm]$$

$$n_2 = 420[rpm]$$

Se considera que un rediseño de la máquina trilladora por lo cual se aprovecha los elementos mecánicos existentes.

3.2.1 Características y dimensiones del eje de martillos

El principio básico del trillado en la máquina se basa en el impacto, donde el eje con martillos golpea las vainas de tarwi, generando una fuerza cortante que fractura la cáscara y libera el grano. Este proceso se realiza de manera repetitiva, asegurando la separación efectiva del grano de la vaina a una velocidad recomendada de 400-600 [rpm].

3.2.1.1 Esquema detallado de los componentes del eje de martillo. Como se puede observar en la Figura 21 se tiene el esquema y sus componentes del eje de martillo por lo que va a ser más fácil ver sus partes al momento de la construcción.

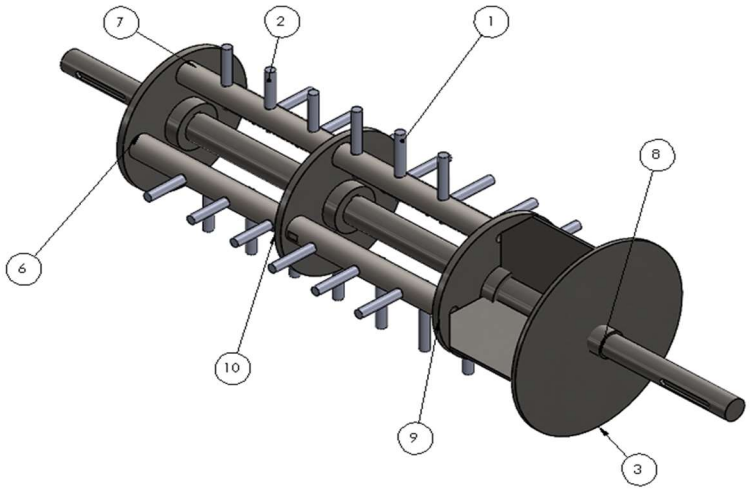


Figura 21. Esquema eje de martillo.

1. Pin tipo martillo grande.
2. Pin tipo martillo pequeño
3. Ventilador principal
4. Eje soporte de martillos.
5. Eje principal
6. Disco soporte lateral

El diseño está compuesto de varios elementos mecánicos que forma el eje de martillo, provisto como pines que simulan martillos para el trillado y son de medidas diferentes, como se| detalla en el plano de construcción.

Los tubos que van a lo largo del eje tienen orificios, formado un efecto de tornillo para que a la vez se vaya distribuyendo a lo larga de la máquina. Las dimensiones se encuentran en el anexo

de planos.

3.2.1.2 Análisis de eje central de rodillo de martillos. La longitud del eje de martillos tiene una distancia de 500[mm]. Para el diseño de los martillos, se analiza las cargas que se tiene en el trillado. Se puede observar en la Figura 22 el análisis de carga.

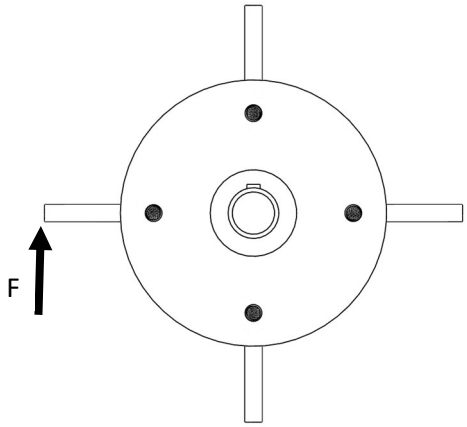


Figura 22. Análisis de carga del eje de martillos**.**

En el análisis del eje de martillos se estima la fuerza de trillado y por experimentación se toma un valor de 7 kg por cada martillo.

Para considerar todas las cargas de diseño en el eje se toma en cuenta las fuerzas de tensión que las bandas ejerce en las poleas y esta trasmiten al eje principal. Se puede observar en la Figura 23 las vistas del eje central.

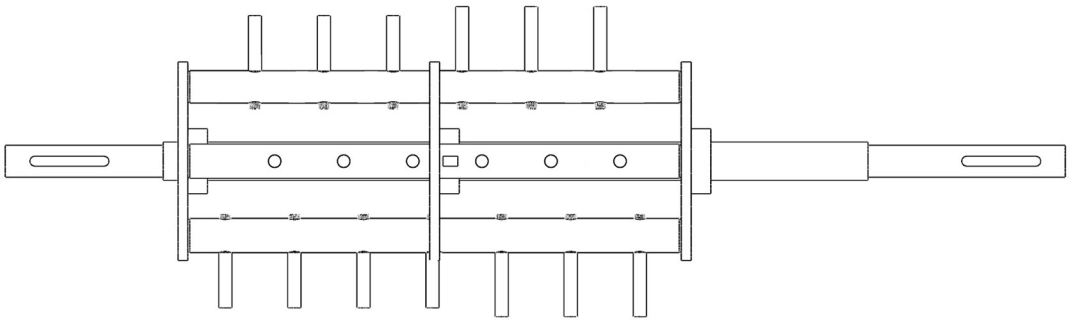


Figura 23. Vista lateral del eje central.

3.2.2 Selección de la banda del sistema de trasmisión

Para la selección de banda de trasmisión de potencia se debe tomar en cuenta el factor de carga c2, el tiempo de trabajo diario y el tipo de máquina. El valor de c2 se toma del anexo 1 [16].

Adicionalmente se toma en cuenta el tipo de aplicación y el tiempo de trabajo. En este caso para el trillado de chochos se considera una máquina ligera con un tiempo de uso de 7 horas, asumiendo que trabaje en tiempo de cosecha alta, dando como resultado un valor $c_2 = 1.1$

3.2.2.1 Potencia teórica. Se tiene que encontrar la potencia teórica para continuar con los cálculos.

Ecuación 77

$$P_B = Pot \cdot c_2$$

Donde:

Pot: 4849 $[W]$

$c_2 = 1.1$

$$P_B = 4849[W] \cdot 1.1$$

$$P_B = 5333.9[W]$$

$$P_B = 5.3[kW]$$

3.2.2.2 Selección del perfil de la correa. En la selección de banda se toma en cuenta la potencia teórica en la Figura 24.

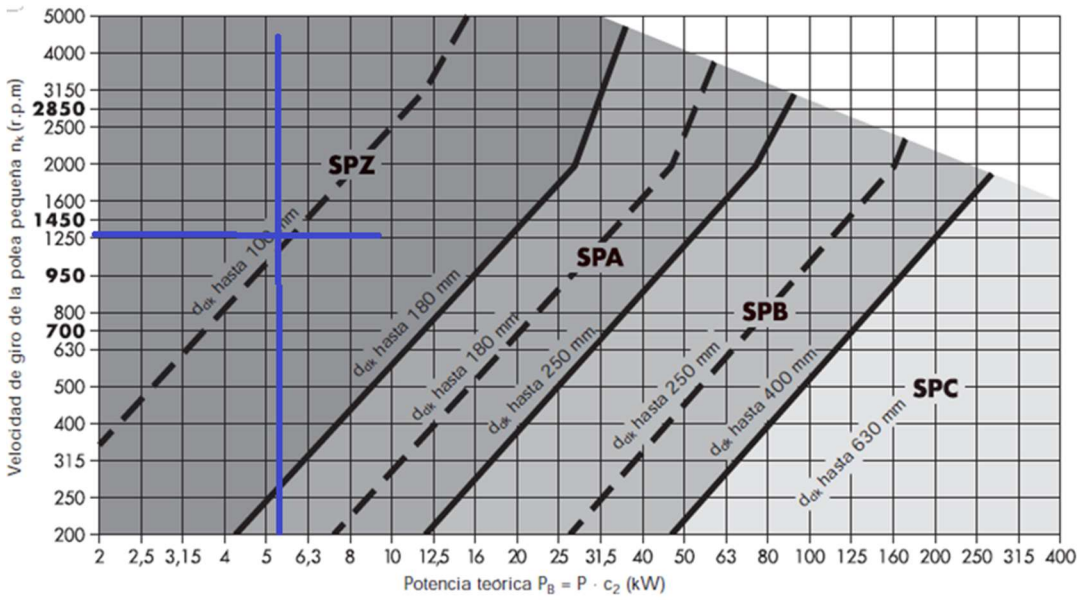


Figura 24. Correas trapeciales estrechas de alto rendimiento.

Del grafico se obtiene una banda tipo SPZ sin embargo se utilizará el tipo SPA por factor de seguridad.

3.2.2.3 Desarrollo de referencia de la correa. Debe tomarse pues como valor determinante del desarrollo de la correa.

Ecuación 88

$$L_{banda} \approx 2 \cdot a + 1.57 \cdot (d2 + d1) + \frac{(d2 + d1)^2}{4 \cdot a}$$

Donde:

a= 880[mm]

$d_2 = 254[mm]$

$d_1 = 89[mm]$

$$L_{banda} \approx 2 \cdot 880[\text{mm}] + 1.57 \cdot \left(89[mm] + 254[mm]\right) + \frac{\left(89[mm] + 254[mm]\right)^2}{4 \cdot 880[\text{mm}]}$$

$$L_{banda\ calculada} \approx 2306[mm]$$

$$L_{banda} = 2300[mm]$$

3.2.2.4 Distancia entre ejes. La longitud de la banda ajustada es:

Ecuación 99

$$a_{nom} \approx a - \frac{L_{banda\ aproximada} - L_{banda}}{2}$$

$$a_{nom} \approx 880 - \frac{2306 - 2300}{2}$$

$$a_{nom} \approx 877[mm]$$

3.2.2.5 Ajuste mínimo x/y de la distancia entre ejes a_{nom}. En el rango de ajuste se toma en cuenta la distancia nominal entre los dos ejes, en el anexo C

Como resultado se tiene en $x \geq 35[mm]/y \geq 20[mm]$

3.2.2.6 Arco de abrazo y factor de corrección. A continuación, Se tiene la ecuación para encontrar.

Ecuación 1010

$$\frac{d_2 - d_1}{a_{nom}}$$

Donde:

$d_2 = 254\ [mm]$

$d_1 = 89\ [mm]$

$$a_{nom} \approx 877\ [mm]$$

$$\frac{254[mm] - 89[mm]}{877\ [mm]}$$

$$= 0.188$$

Con el dato de 0,188 en Anexos C muestra los resultados de:

$$\beta \approx 167°$$

$$c_1 = 0.999$$

3.2.2.7 Factor de desarrollo. Se tiene a continuación el cálculo de la banda.

Donde:

$L_{banda\ calculada} \approx 2306\ [mm]$

En el Anexo C muestra el tipo de banda y el desarrollo de la longitud, valor es el siguiente:

$$c_3 = 0.99$$

3.2.2.8 Potencia nominal por correa. Para $\boldsymbol{P_N}$ se busca en tabla para realizar el cálculo con los siguientes datos:

Donde:

$d_1 = 89\ [mm]$

$i = 0.35$

$n = 1200[min^{-1}]$

Perfil de banda SPA

Se analiza con los datos de anexo C

$$P_N = 1.77 + 0.04$$

$$P_N = 1.77[kW]$$

3.2.2.9 Número de correas. A continuación, Se tiene la ecuación para encontrar el número de correas a utilizar.

Ecuación 1111

$$z = \frac{Pot \cdot c_2}{P_N \cdot c_1 \cdot c_3}$$

Donde:

$Pot = 4.84[kW]$

$P_N = 1.77[kW]$

$c_1 = 0.96$

$c_2 = 1.1$

$c_3 = 0.99$

$$z = \frac{4.84[kW] \cdot 1.1}{2.22[kW] \cdot 0.96 \cdot 0.99}$$

$$z = 2.5$$

Por diseño se usa 2 correas trapeciales de alto rendimiento tipo SPA

3.2.2.10 Velocidad de la correa. Se debe considerar que la velocidad máxima es $\mathbf{v} = \mathbf{42}\ [\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}]$

Ecuación 1212

$$v = \frac{d_1 \cdot n}{19100}$$

$$v = \frac{89[mm] \cdot 1200[rpm]}{19100}$$

$$v = 5.6[\frac{m}{s}]$$

3.2.2.11 Tensión estática mínima por correa. Para considerar el montaje se debe considerar el factor de 1.3.

Ecuación 13[13]

$$T \approx \frac{500 \cdot (2{,}02 - c_1) \cdot P_B}{c_1 \cdot z \cdot v} + k \cdot v^2$$

Donde:

$c_1 = 0.96$

$P_B = 5.3\ [kW]$

$v = 5.6\ [\frac{m}{s}]$

$z = 2.5$

$$T \approx \frac{500 \cdot (2.02 - 0.96) \cdot 5.3[kW]}{0.96 \cdot 2{,}5 \cdot 5.6\left[\frac{m}{s}\right]} + 1.3 \cdot 5.6[\frac{m}{s}]^2$$

$$T \approx 249[N]$$

Para el primer montaje se toma en cuenta el factor de 1.3

$$T = 249[N] \cdot 1.3$$

$$T = 323.7[N]$$

3.2.3 Diseño del pin tipo martillo

Los pines están considerados de dos longitudes 55[mm] y 65[mm], para el diseño se toma en cuenta el más largo, que genera mayores esfuerzos.

Para la unión al tubo soporte se mecanizó rosca M10x1,5, material AISI 1018

La fuerza axial que se genera por el torque de apriete se calcula con la ecuación.

Ecuación 14[14]

$$P = T/Ø$$

Donde:

T = torque de apriente

$\emptyset$ = diametro nominal de perno.

P = Fuerza axial.

En la tabla 13 el acero AISI 1018 se clasifica como acero al carbono

Tabla 11. Torque de apriete para diferentes materiales.

Material del perno y la tuerca	Grado del perno	Torque de apriete (N·m)
Acero al carbono	4.6	20-25
Acero inoxidable	8.8	40-50
Acero de alta resistencia	10.9	60-70

$$P = \frac{25[N \cdot m]}{10[mm]} \cdot \frac{1000[mm]}{1[m]}$$

$$P = 2500\ [N]$$

La fuerza en el martillo para trillar se considera $F_{trilla} = 7\ [kg]$

En la Figura 25 se indica el esquema de cargas que se considera en el diseño del eje a tensión, corte torsión y flexión.

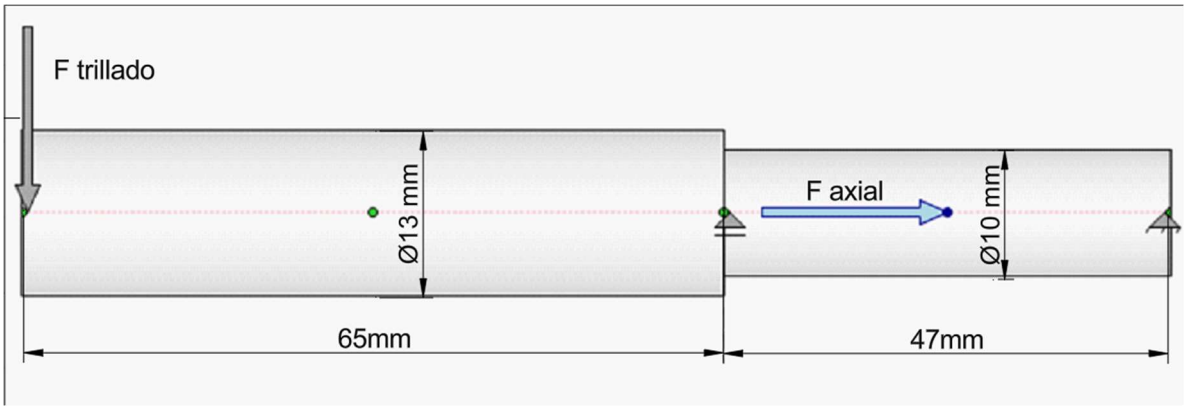


Figura 25. Cargas de pin de martillo.

- **Diagrama de fuerza cortante del eje martillo.**

El diagrama de cortante representa gráficamente la distribución de la fuerza cortante interna en un elemento sometido a cargas externas como se lo observa en la Figura 26.

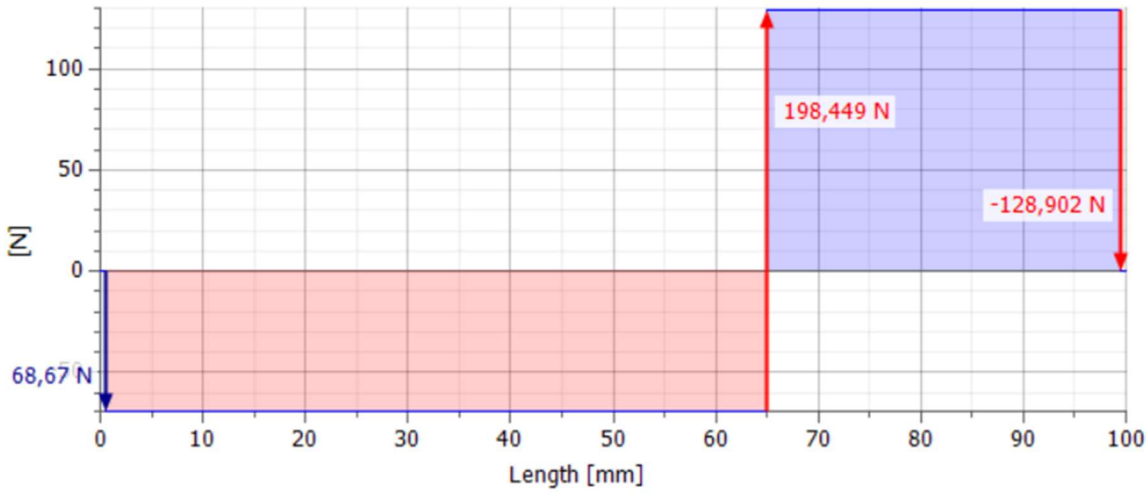


Figura 26. Diagrama Cortante eje martillo.

El cortante máximo es de 195 [N]

- **Diagrama de momento del eje martillo.**

El diagrama de momento representa gráficamente la distribución de los momentos flectores sometidos a cargas externas como se lo observa en la Figura 27.

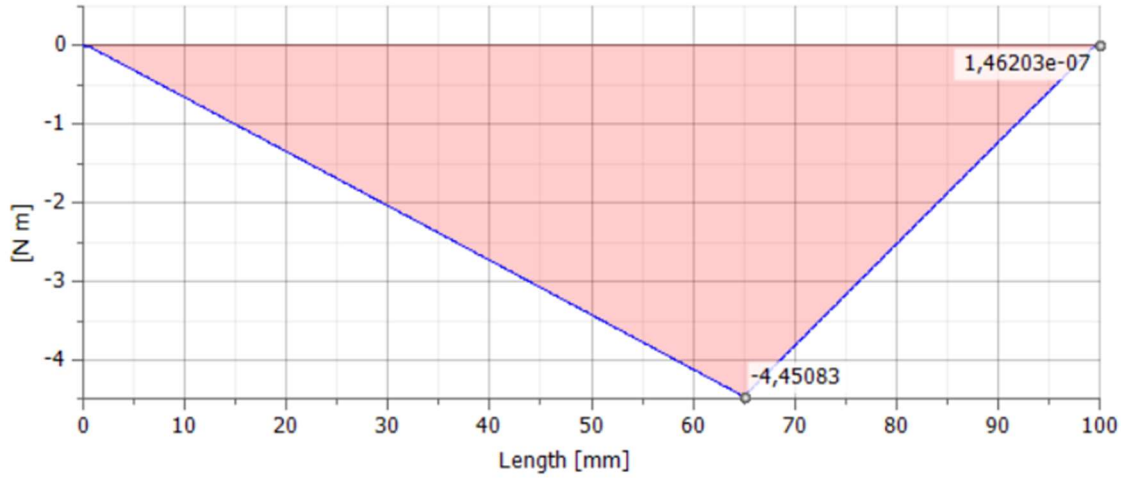


Figura 27. Momento eje martillo.

Cálculo del momento se tiene la siguiente ecuación:

$$M = F_{trilla} \cdot d$$ **Ecuación 1515**

$$M = 68.7\ [N] \cdot 65\ [mm]$$

$$M = 4463.5\ [N \cdot mm]$$

El momento máximo es $M_{max} = 4.5\ [N \cdot m]$

El esfuerzo combinado se obtiene de la ecuación. [17]

Ecuación 1616

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_F)^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot Ø^2} + \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot Ø^3}\right)^2}$$

Para los valores de:

$P = 2500\ [N]$

$M_{max} = 4.5\ [N \cdot m]$

$Ø = 0.010\ [m]$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 2500\ [N]}{\pi \cdot 0.01\ [mm]^2} + \frac{32 \cdot 4.5\ [N \cdot m]}{\pi * 0.01[mm]^3}\right)^2}$$

$$\sigma' = 77.66\ [MPa]$$

Factor de seguridad

Material AISI 1018 con $S_y = 370\ [MPa]$

Ecuación 1717

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$Fs = \frac{370\ [MPa]}{77.66\ [MPa]}$$

$$Fs = 4.76$$

3.2.4 Análisis del eje soporte del martillo.

Para el diseño de este eje soporte se utiliza tubo cedula 40 de diámetro 1 plg, tal como se indica en la Figura 28.

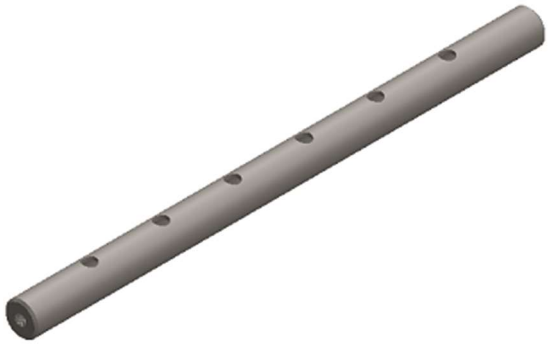


Figura 28. Tubo cedula 40.

Las cargas de torsión y radial indica en la Figura 29.

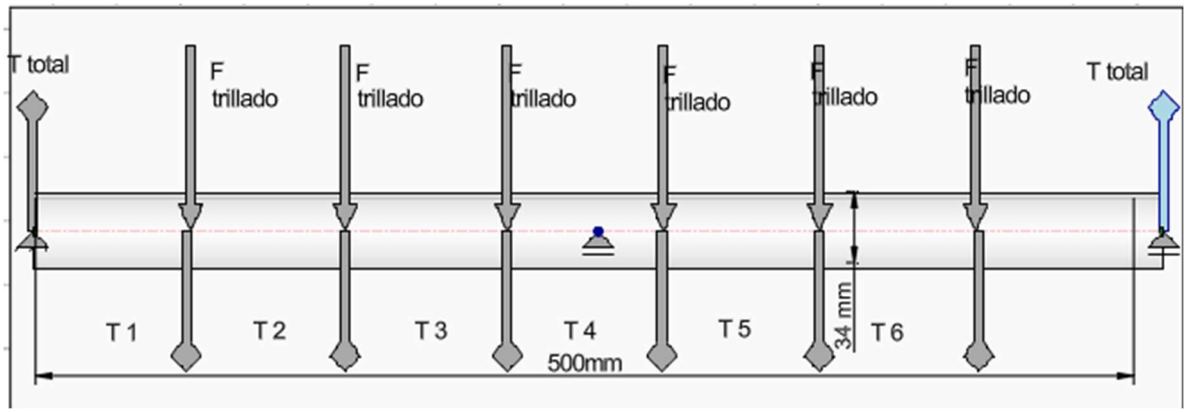


Figura 29. Cargas en tubo cedula.

El diagrama cortante de tubo cedula 40 se observa en la Figura 30.

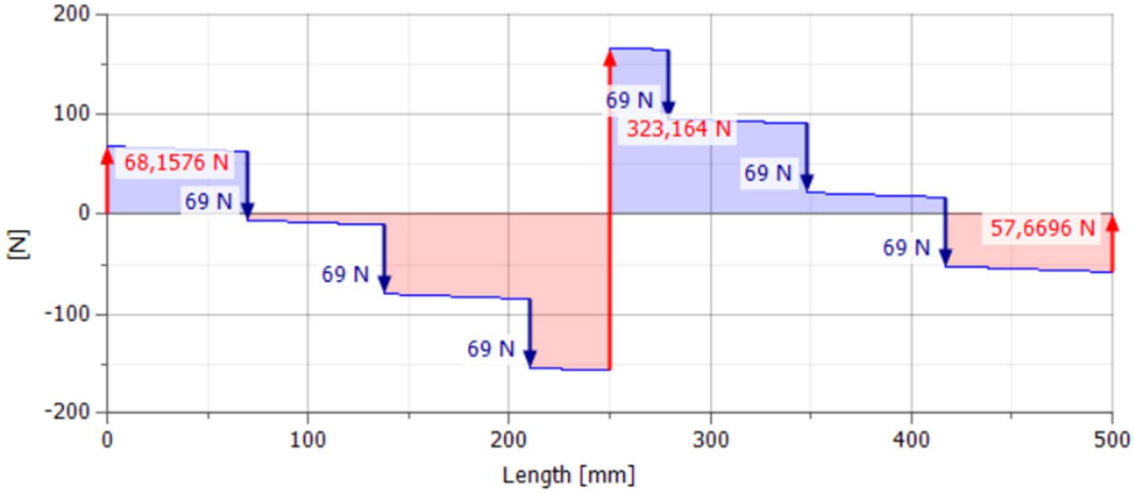


Figura 30. Diagrama cortante de tubo.

El diagrama momento flector de tubo cedula 40 se observa en la Figura 31.

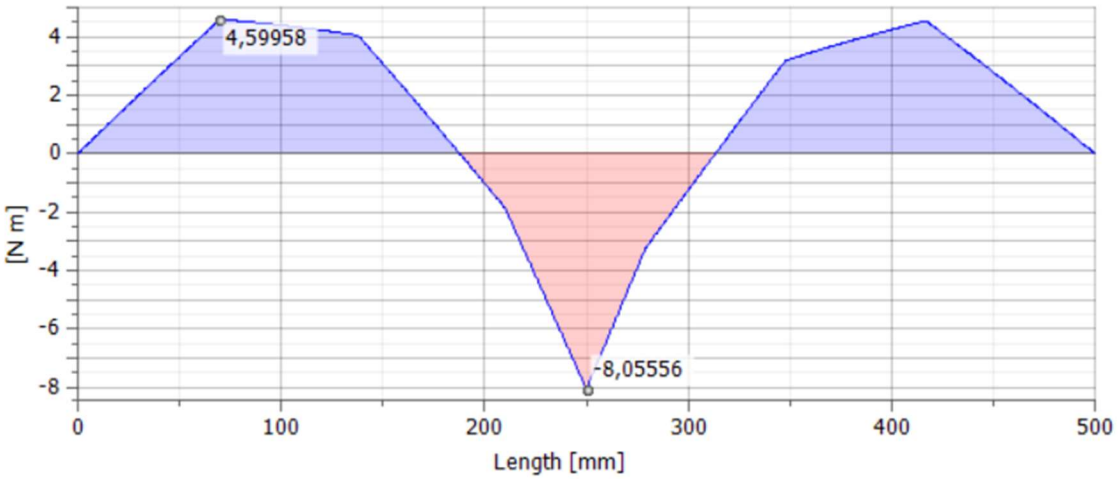


Figura 31. Diagrama momento de tubo.

Momento máximo M= 8 [N · m]

El torque por cada martillo es de: $T_n = 4.5\ [N \cdot m]$

En cada tubo se tiene 6 pines tipo martillo

$$T_{total=} T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6$$ **Ecuación 1818**

$$T_{total} = 13.5[N \cdot m]$$

$$\tau_T = \frac{T \cdot r}{j}$$ **Ecuación 1919**

$$\tau_T = \frac{16 \cdot T \cdot \emptyset_{ext}}{\pi \cdot (\emptyset_{ext}^3 - \emptyset_{int}^3)}$$

$$\tau_T = \frac{16 \cdot 13.5[N \cdot m] \cdot 0.034[m]}{\pi \cdot (0.034^4 - 0.024^4)[m^4]}$$

$$\tau_T = 2.47\ [MPa]$$

Se calcula el esfuerzo flexión máximo con la ecuación: [17]

$$\sigma_F = \frac{M \cdot c}{I}$$ **Ecuación 2020**

Donde:

M= 8 [N · m] Momento máximo.

C= 17 [mm] centro de inercia. Radio

I= momento de inercia.

Ecuación 2121

$$\sigma_F = \frac{64 \cdot M \cdot r}{\pi \cdot (\emptyset_{ext}^4 - \emptyset_{int}^4)}$$

$$\sigma_F = \frac{64 \cdot 8[\mathrm{N \cdot m}] \cdot 0.017\ [\mathrm{m}]}{\pi \cdot (0.034\ [m]_{ext}^4 - 0.024\ [m]_{int}^4)}$$

$$\sigma_F = 2.75\ [MPa]$$

Ecuación de la energía de distorsión

La teoría que postula que la falla se produce cuando se alcanza la máxima deformación debido a la energía [17].

Ecuación 2222

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_F)^2 + 3 \cdot (\tau_u - \tau_T)^2}$$

Ecuación 2323

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_F)^2 + 3 \cdot (\tau_T)^2}$$

Donde:

$\sigma_F = 2.75\ [MPa]$

$\tau_T = 2.47\ [MPa]$

$$\sigma' = \sqrt{(2.75\ [MPa])^2 + 3 \cdot (2.47\ [MPa])^2}$$

$$\sigma' = 5.08[MPa]$$

Factor de seguridad

Material ASTM A106 con $S_y = 318\ [MPa]$. Anexos C

Ecuación 2424

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$Fs = \frac{250[MPa]}{5.08[MPa]}$$

$$Fs = 50$$

Se utilizó tubo de 1 plg cedula 40 por temas constructivos.

3.2.5 Diseño de eje central

Ya con todos los esfuerzos se procede a realizar las cargas al eje central como se observa en la Figura 32.

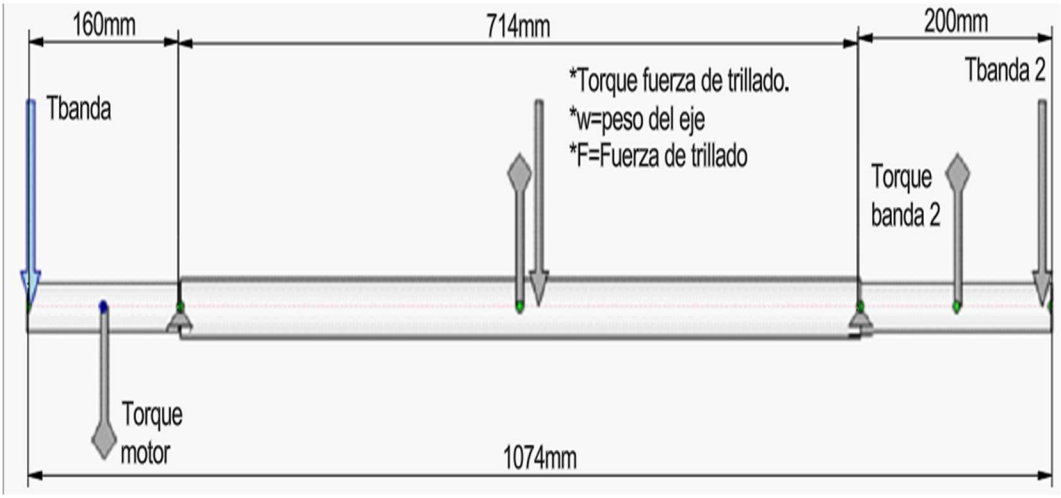


Figura 32. Fuerzas en el eje central.

El cortante máximo que muestra la figura es de 691[N] como se observa en la Figura 33.

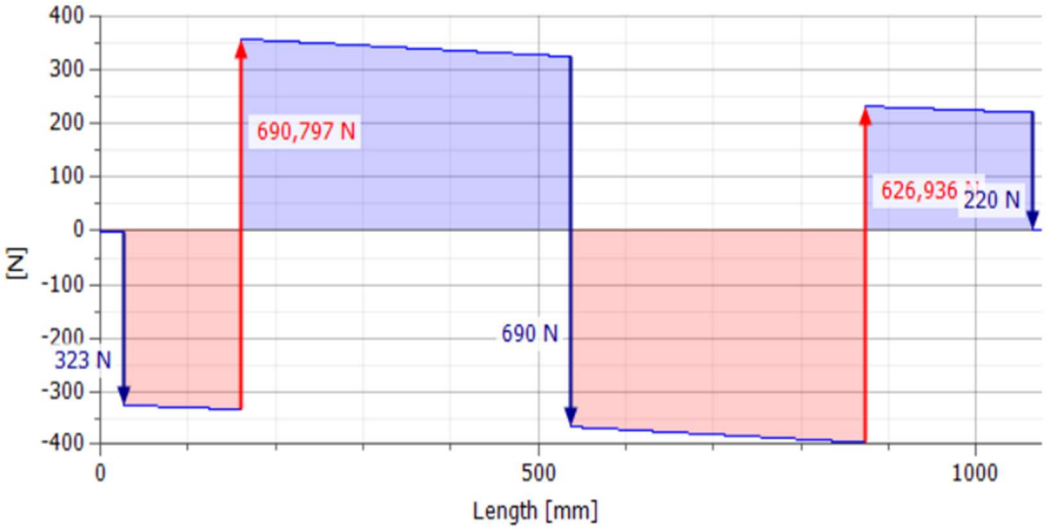


Figura 33. Cortante eje central.

El momento flector máximo que muestra la figura es de 85 [N · m] como se observa en la Figura 34.

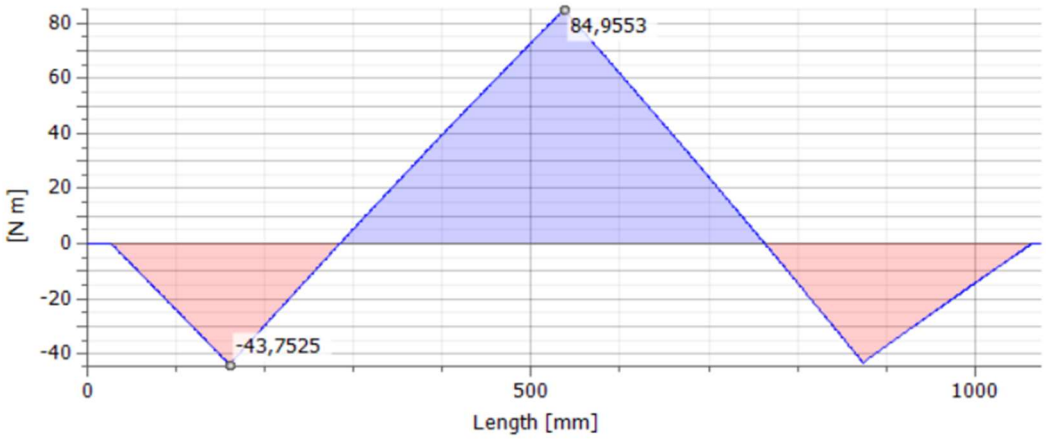


Figura 340. Momento eje central.

El momento mínimo que muestra la figura es de -44[N · m]

Ecuación 2525

$$\sigma_x = \frac{M \cdot C}{I}$$

El esfuerzo a flexión se calcula con la ecuación.

Ecuación 2626

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

Donde:

M=85 [N · m]

$\emptyset = 0.038\ [m]$

$$\sigma = \frac{32 \cdot 85\ [\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}]}{\pi \cdot 0.038\ [m]^3}$$

$$\sigma = 15.77\ [Mpa]$$

El esfuerzo torsión máximo se calcula con la ecuación.

Ecuación 2727

$$\tau_{xz} = \frac{M \cdot r}{J}$$

$$\tau_{xz} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

Donde:

T=436 [N · m]

$\emptyset = 0.038\ [m]$

$$\tau_{xz} = \frac{16 \cdot 436\ [\mathrm{N \cdot m}]}{\pi \cdot 0.038\ [m]}$$

$$\tau_{xz} = 40\ [MPa]$$

La teoría que se enfoca en la máxima energía de deformación anticipa el error por afluencia [17].

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_F)^2 + 3 \cdot (\tau_u - \tau_T)^2}$$ **Ecuación 2828**

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_F)^2 + 3 \cdot (\tau_T)^2}$$ **Ecuación 2929**

Donde:

$\sigma_F = 15.77\ [Mpa]$

$\tau_T = 40\ [MPa]$

$$\sigma' = \sqrt{(15.17)^2 + 3 \cdot (40)^2}$$

$$\sigma' = 71\ [MPa]$$

Factor de seguridad

Material AISI 1018. Anexos C

$S_y = 370\ [MPa]$.

$S_{ut} = 440\ [MPa]$.

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma'}$$ **Ecuación 3030**

$$Fs = \frac{370\ [MPa]}{71\ [MPa]}$$

$$Fs = 5.2$$

Diseño a fatiga

Todas las cargas que varían con el tiempo pueden ocasionar fallos por fatiga. Los ejes en movimiento rotatorio, en particular, están sujetos a cargas de amplitud y frecuencia variables a lo largo del tiempo, lo que los hace altamente probables a este tipo de falla. [18].

Genera un esfuerzo repetitivo que muestra una versión llamado esfuerzo fluctuante en que los valores son distintos de cero.

Aspectos que aumentan los puntos de concentración de esfuerzos y contribuyen a la fatiga y se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1)$$ **Ecuación 3131**

Donde:

$\mathrm{K_t}$ = factor de concetrador de esfuerzos estatico

$\mathrm{K_f}$ = factor de concentrador de esfuerzos a fatiga

q = sensibilidad de muesca

Los valores se extraen de la tabla del Anexo C. En este eje, se presenta un cambio de sección.

$$K_f = 1 + 0.6 \cdot (1.2 - 1)$$

$$K_f = 1.12$$

El esfuerzo máximo es la ecuación:

$$\sigma_{max} = K_f \cdot \sigma$$ **Ecuación 3232**

$$\tau_{max} = K_f \cdot \tau$$ **Ecuación 3333**

Donde:

$K_f = 1.12$

$\sigma_F = 15.77\ [Mpa]$

$\tau_T = 40\ [MPa]$

$$\sigma_{max} = 17.7\ [Mpa]$$

$$\tau_{max} = 40.8\ [MPa]$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Hay diversos elementos que influyen en los resultados de las condiciones superficiales, las magnitudes, el peso, la temperatura y entre otros aspectos que impactan en el límite de resistencia a la fatiga [17].

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e$$ **Ecuación 3434**

Donde:

k_a = Factor de modificación de la condición supercial
k_b = Factor de modificación del tamaño
k_c = Factor de modificación de la carga
k_d = Factor de modificación de la temperatura
k_e = Factor de confiabilidad
k_f = Factor de modificación de efectos varios
S'_e = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
S_e = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica
Las variables se encuentran en Anexo C, de los factores.

Factor de superficie:

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$ **Ecuación 3535**

Donde la tabla en Anexo C:

$a = 4.51$

$b = -0.265$

$$k_a = 4.51 \cdot 440[MPa]^{-0,265}$$

$$k_a = 0.89$$

Factores de tamaño:

Ecuación 36

$$k_b = 1.24 \cdot d^{-0.107} \qquad 2,79 \leq d \leq 51[mm]$$

$$k_b = 1.24 \cdot 32[mm]^{-0,107}$$

$$k_b = 0.855$$

Factores de cargas:

$$k_c = 1$$

Factores de temperatura.

Temperatura ambiente:

Ecuación 37

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

$$k_d = 1$$

Factor confiablidad:

Ecuación 38

$$k_e = 1 - 0.08 \cdot z_a$$

Confiabilidad de 99,9%:

$$k_e = 0.753$$

Límite de resistencia a la fatiga

Ecuación 39

$$S'_e = 0.5 \cdot S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 \cdot 440\ [MPa].$$

$$S_e' = 220\ [MPa]$$

$$S_e = 0.89 \cdot 0.85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.753 \cdot 220\ [MPa]$$

$$S_e = 125.3[MPa]$$

Esfuerzos fluctuantes.

Donde:

$\sigma_{max} = 17.7\ [Mpa]$
$\tau_{max} = 40.8\ [MPa]$
$S_e = 125.3\ [MPa]$
$S_{ut} = 440\ [MPa]$.

Esfuerzo amplitud

$$\sigma_{amp}' = \sqrt{(17.7\ [Mpa])^2 + 3 \cdot (40.8\ [MPa)^2}$$

$$\sigma_{amp}' = 72.8\ [MPa]$$

Esfuerzo medio

Para el esfuerzo de fluctuación no hay cargas variables actuando sobre el eje central.

$$\sigma_{med}' = 0\ [MPa]$$

El diagrama de Goodman modificada.

Ecuación 4040

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_{amp}}{S_e} + \frac{\sigma_{med}}{S_{ut}}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{72.8[MPa]}{125[MPa]} + \frac{0[MPa]}{440\ [MPa]}$$

$$n = 1.34$$

El factor de seguridad a fatiga es 1,34. Su resultado es aceptable por análisis por fatiga.

3.2.6 Diseño de eje excéntrico

El eje excéntrico genera una vibración controlada al tamiz móvil, filtra el grano de la vaina.

La figura 35 indica la distancia en mm de la excentricidad de los dos ejes.

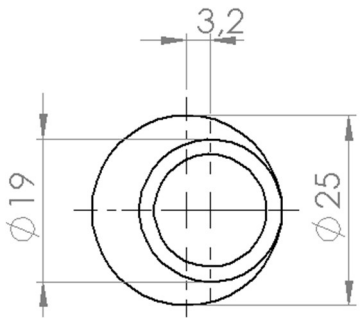


Figura 35. Excéntrica.

Se calcula:

$$T = F \cdot d \qquad \textbf{Ecuación 4141}$$

Donde:

F=25 [kg]: peso del tamiz móvil.

d=3.2 [mm] = 0.0032 [mm]: distancia de la excéntrica.

$$T = 245\ [N] \cdot 0.0064\ [m]$$

$$T = 1.5\ [N \cdot m]$$

El diagrama de cargas se indica en la figura 36.

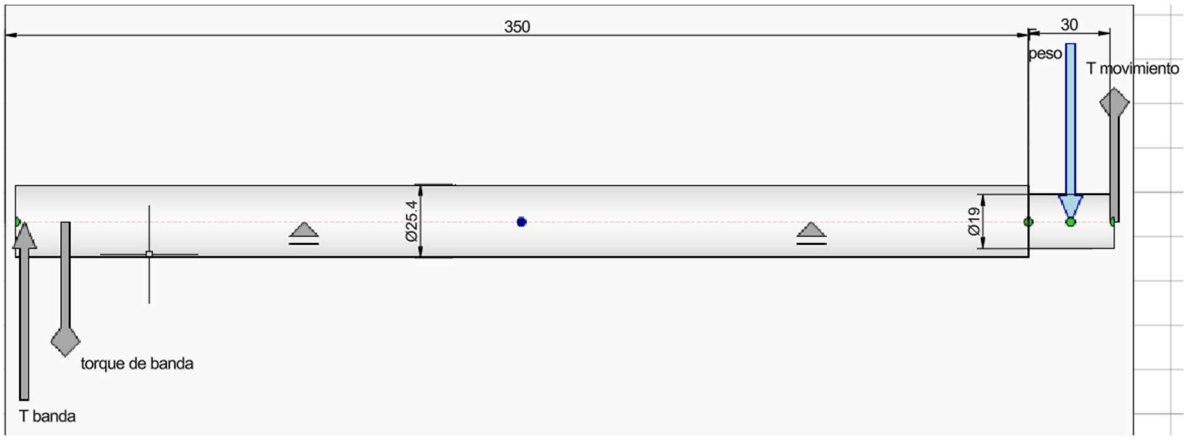


Figura 36. Cargas del elemento.

Diagramas de cortante.

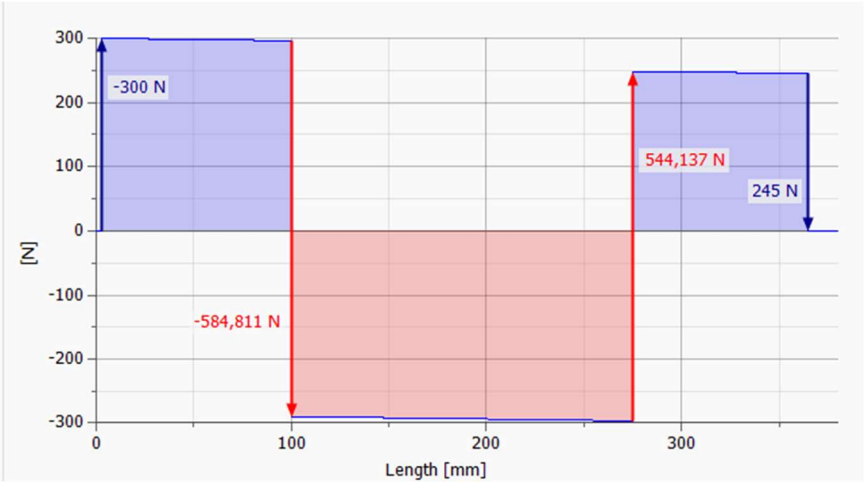


Figura 37. Cortante eje excéntrico.

El cortante máximo es de 584 [N]

Diagrama de momentos.

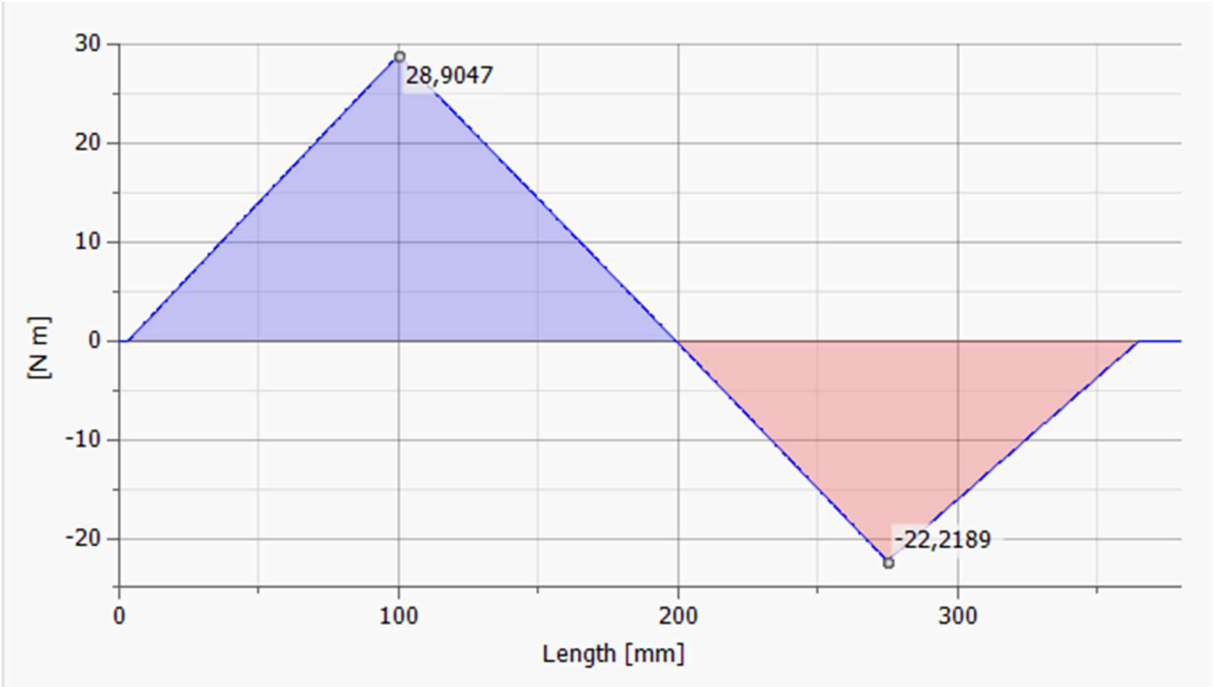


Figura 38. Momento eje excéntrico.

El momento máximo es de 29 [N · m]

El esfuerzo a flexión se calcula con la ecuación.

Ecuación 4242

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

Donde:

M= 29 [N · m]

$\emptyset = 0.019\ [m]$

$$\sigma = \frac{32 \cdot 29\ [\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}]}{\pi \cdot 0.019\ [m]^3}$$

$$\sigma = 43\ [Mpa]$$

El esfuerzo torsión máximo se calcula con la ecuación.

Ecuación 4343

$$\tau_{xz} = \frac{M \cdot r}{J}$$

$$\tau_{xz} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

Donde:

T=1.5 [N · m]

$\emptyset = 0.019\ [m]$

$$\tau = \frac{16 \cdot 1.5\ [\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}]}{\pi \cdot 0.019\ [m]^3}$$

$$\tau = 1.11\ [MPa]$$

La deformación máxima predice la falla por afluencia [17].

Ecuación 4444

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_F)^2 + 3 \cdot (\tau_u - \tau_T)^2}$$

Ecuación 4545

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_F)^2 + 3 \cdot (\tau_T)^2}$$

Donde

$\sigma_F = 43\ [Mpa]$

$\tau_T = 1.1\ [MPa]$

$$\sigma' = \sqrt{(43)^2 + 3 \cdot (1.1)^2}$$

$$\sigma' = 43.5\ [MPa]$$

Factor de seguridad

Material AISI 1018. Anexos C

$S_y = 370\ [MPa]$.

$S_{ut} = 440\ [MPa]$.

Ecuación 4646

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$Fs = \frac{370\ [MPa]}{43.5\ [MPa]}$$

$$Fs = 8$$

En el software Inventor, muestra la siguiente figura

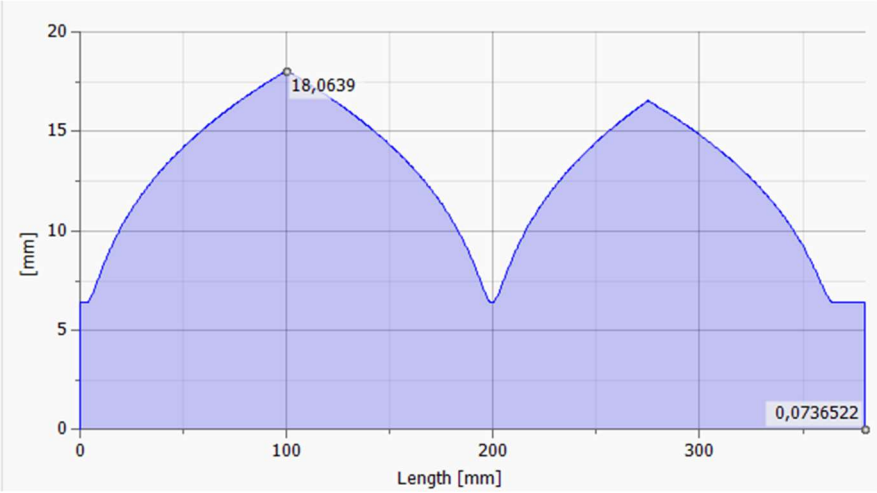


Figura 39. Diámetro ideal.

Como resultado el eje ideal es de diámetro 18 [mm]. En la figura 39 indica las dimensiones que está construido el eje excéntrico.

3.2.7 Tamiz.

Se considera para este elemento de la máquina el dimensionamiento del grano en función de la geométrica elíptica que tiene el chocho y el giro del eje de martillos, siendo un punto importante la distancia de apertura y el cóncavo adelanté. Como se observa en la Figura 40.

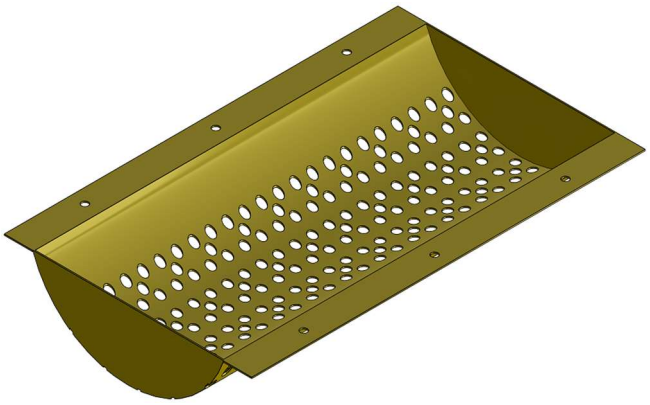


Figura 40. Plancha perforada.

En el apartado de apéndice detalla la velocidad, distancias, Dimensión de tamiz y la velocidad del ventilador según el cultivo que requiere cosechar.

Vale recalcar que lo valores más bajos de velocidad de cilindro comprende a cultivos secos, en consecuente los valores más altos corresponden a cultivos húmedos [15].

Para el ejemplo que ilustra la Tabla en anexos A el chocho es una Leguminosa que entra como cultivo en el grupo de la arveja y las habas.

Con los datos de distancia del cóncavo de 14[mm] adelante y 6[mm] atrás como se observa en la Figura 41.

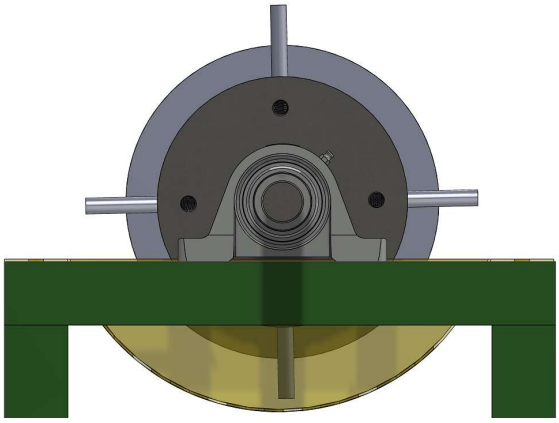


Figura 41. Distancia de tamiz y eje de martillos.

3.2.8 Bastidor

El bastidor, rediseñado y construido con perfil cuadrado de 50 mm x 2 mm de espesor, soporta todos los esfuerzos generados por la máquina, incluyendo el peso del eje central de martillos, el motor y las tensiones de la banda. Se utilizaron los datos de esfuerzos obtenidos de los elementos mecánicos para definir las cargas por medio de un software, por medio de la simulación se apreció el comportamiento del bastidor. Los resultados de la simulación se detallan a continuación.

3.2.8.1 Cargas.

Las cargas en el bastidor están consideradas para que estén ubicadas de manera distribuida tal como se observa en la Figura 42.

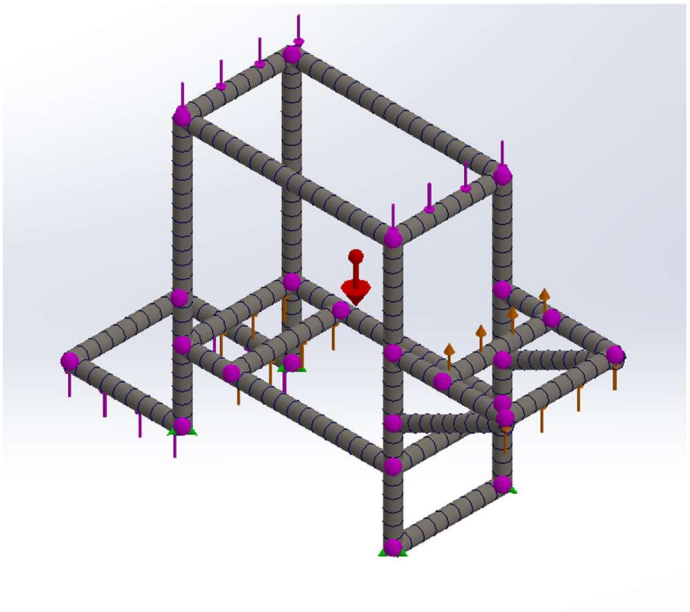


Figura 42. Bastidor con cargas.

Como cargas en el bastidor Se tiene.

- ✓ Carga de bandas y trasmisión flexible.
- ✓ Carga de eje central de martillos.
- ✓ Carga de eje excéntrico del tamiz.
- ✓ Carga del ventilador inferior.

Como cargas generales en el software se coloca la gravedad.

3.2.8.2 Esfuerzos

El límite elástico mínimo del acero A36 es de 250[MPa], los datos de especificación de material se encuentran en el apéndice de cálculos. La simulación muestra en la Figura 43 el esfuerzo máximo de 9.3[MPa].

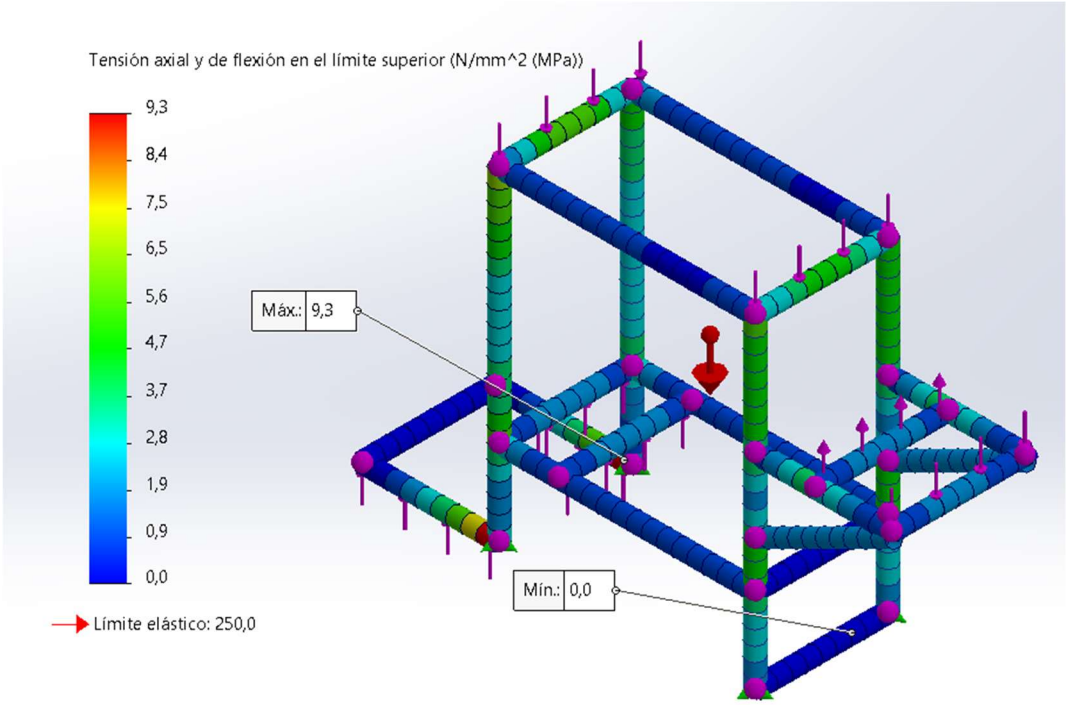


Figura 43. Muestra máxima tensión en el bastidor.

El material utilizado en la estructura es acero ASTM A-36 donde el esfuerzo de fluencia es 240 [MPa].

El esfuerzo máximo obtenido en la estructura es 9.3[MPa] que es menor que 240 [MPa].

3.2.8.3 Deformación

La deformación máxima del bastidor es 0.1 [mm] que es menor que el permisible 2 [mm] como se muestra en la Figura 44.

$$[\Delta] = \frac{L}{500}$$

$$[\Delta] = \frac{1000}{500}$$

$$[\Delta] = 2\ [mm]$$

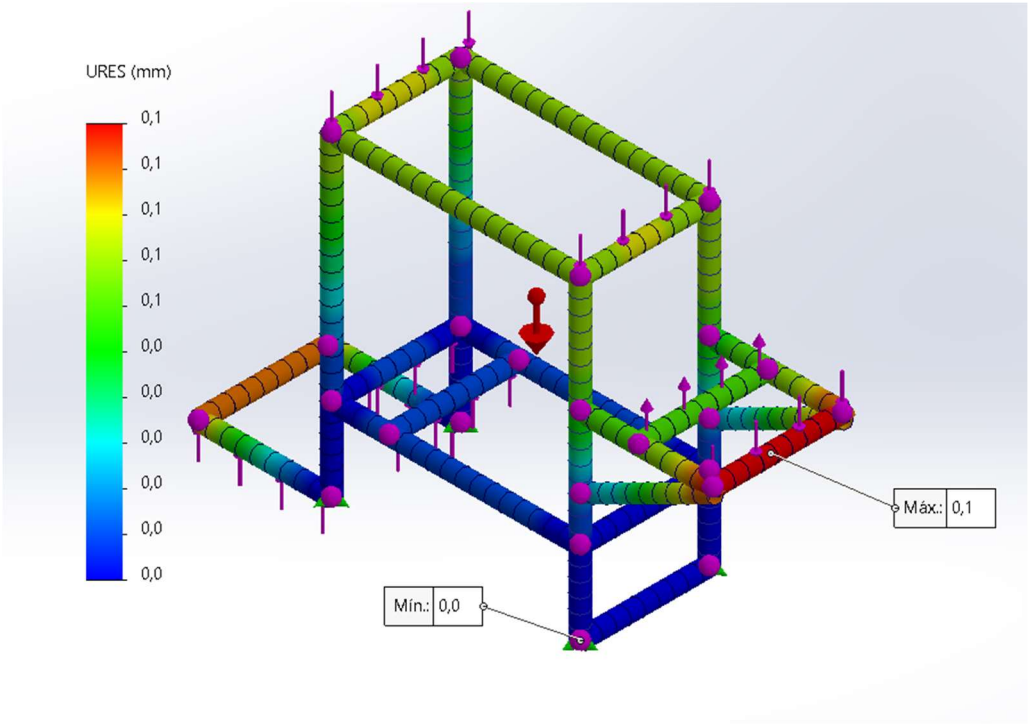


Figura 44. Máxima deformación del bastidor.

3.2.8.4 Factor de seguridad

La figura muestra los puntos críticos del bastidor, donde se concentra la mayor tensión. Se obtuvo en la simulación el valor de 27 como factor de seguridad, lo que indica que el bastidor tiene un margen de seguridad adecuado para soportar las cargas a las que estará expuesto como se muestra en la Figura 45.

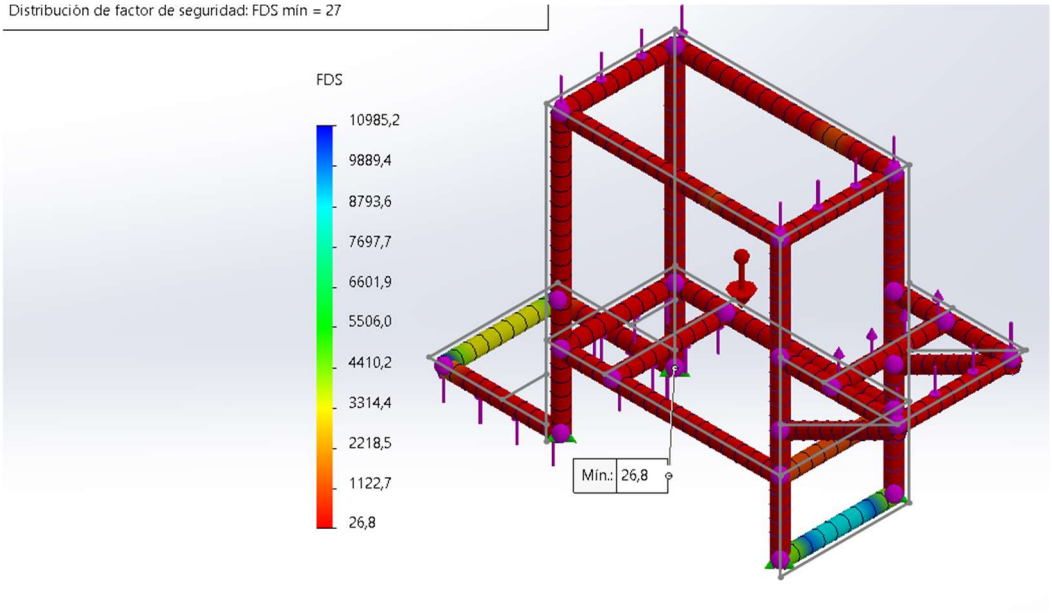


Figura 45. Bastidor factor de seguridad.

Con un factor de seguridad del 26, el perfil seleccionado no solo destaca por su apariencia estética y facilidad de construcción, sino que también garantiza una estabilidad para la máquina trilladora.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Evaluación Inicial a la Máquina

4.1.1 Funcionamiento

Las cortadoras chochas funcionan mediante un motor alimentado por combustible que transmite movimiento a un cilindro de engranaje a través de un mecanismo de polea. Los altramuces sin cáscara se colocan en una tolva para comenzar el proceso de descascarillado y entran a un tambor dentado para separar el grano de las vainas.

4.1.2 Características de máquina

4.1.2.1 Sistema motriz

- Ajuste de estructura: Verificar que la estructura esté bien ajustada y sea estable durante el funcionamiento.
- Maniobrabilidad: Evaluar la facilidad con la que la máquina puede ser movida y ajustada.
- Fiabilidad de la tarea: Determinar si el sistema motriz realiza su función sin interrupciones frecuentes.
- Facilidad de transporte: Considerar el peso y el diseño de la máquina para su transporte.

4.1.2.2 Capacidad de Desvainado

- Capacidad de Procesamiento: 52 kg/h

4.1.2.3 Tiempo.

- Duración del Proceso: 60 minutos por ciclo

4.1.2.4 Características del Motor.

- Potencia: Al menos 6 Hp
- Sistema de Transmisión: Cilindro de dientes para desvainar el grano de la vaina

4.1.2.5 Eficiencia al trillar

- 74 % de eficiencia en el proceso

4.1.2.6 Otros Aspectos.

- Peso: Considerar el peso como un factor clave para la movilidad.
- Facilidad de Operación: Capacitación básica necesaria para operar la máquina.
- Nivel de Seguridad: Alto nivel de seguridad para reducir riesgos de accidentes.

Tabla 12. Evaluación Inicial de la Máquina.

	Análisis	
Criterio	Detalle Evaluado	Comentarios
Funcionamiento	Motor, polea, cilindro de engranaje	Sistema bien descrito; revisar eficiencia operativa
Capacidad de Desvainado	52 kg/h	8 kg/h por debajo del objetivo de 60 kg/h
Tiempo	60 minutos	Evaluar si el tiempo es adecuado para la producción esperada
Potencia del Motor	6 hp mínimo	Confirmar eficiencia y efectividad del motor
Sistema de Transmisión	Cilindro de dientes	Evaluar la efectividad del desvainado
Peso	Factor clave para movilidad	Considerar en el diseño y facilidad de transporte
Facilidad de Operación	Capacitación básica necesaria	Evaluar la facilidad de uso para los operarios
Seguridad	Alto nivel de seguridad	Verificar medidas de seguridad implementadas
Eficiencia	0.74	Mejorar la eficiencia para un mejor rendimiento

La evaluación inicial muestra que la trilladora chochos tiene muchos puntos fuertes, como un sistema de accionamiento fiable y un alto nivel de seguridad. Sin embargo, hay áreas que necesitan atención, como aumentar la capacidad de limpieza a 60 kg/h y evaluar la eficiencia operativa y los costos asociados.

4.2 Máquina modificada.

En agricultura, la eficiencia y la calidad del almacenamiento son elementos esenciales para incrementar la eficiencia de cultivos como el chocho. Nos vamos a enfocar en analizar el comportamiento y los cambios introducidos para mejorar su rendimiento. El cambio climático

se ha utilizado para solucionar problemas específicos de almacenamiento, mejorar la eficiencia, reducir pérdidas y mejorar las características del producto terminado. El comprender a fondo las consecuencias de estos cambios para evaluar su eficacia y proporcionar información práctica que respalde el avance y perfeccionamiento de las técnicas. de producción altramuces. En este contexto, el análisis principal se centrará en evaluar los hallazgos alcanzados después de llevar a cabo la investigación con el fin de determinar su impacto y potencial contribución al futuro desarrollo de los sistemas de almacenamiento.

4.2.1 Modificación del eje

Una de las modificaciones fundamentales llevadas a cabo en la trilladora chochos fue el rediseño del eje del molino para mejorar el trillado y el rendimiento general de la máquina. Los cambios importantes incluyen una revisión del sistema de trillado y la maquinaria para mejorar el rendimiento y la durabilidad del eje. El nuevo equipo de trillado fue desarrollado en base a un análisis completo de los puntos críticos de acumulación, con el objetivo de resolver problemas previamente identificados y aumentar la eficiencia del procesamiento de lupino. El objetivo de esta modificación no es sólo mejorar el rendimiento y la precisión del rectificado, sino también reducir el desgaste y los requisitos de mantenimiento causados por el movimiento del eje. Realizar este cambio fundamental es la base para que el desarrollo a gran escala mejore la eficiencia y promueva una producción mejor y más sostenible.

El mayor cambio en el diseño de la trilladora chochos es el cambio de diseño relacionado con la sustitución del sistema de soldadura. Se dice que el cambio climático facilita y mejora los esfuerzos de protección ambiental. La ventaja de la configuración de tornillo es la facilidad de desmontaje y acceso al área de trabajo de la máquina; También facilita la inspección, reparación y sustitución de componentes principales. Este cambio no sólo pretende reducir el tiempo dedicado a los trabajos de mantenimiento, sino también reducir los costes asociados mediante una gestión de activos más eficiente y una respuesta más rápida a las necesidades de reparación o mantenimiento. El cambio a un formato variable representa un importante paso adelante para encontrar diferentes maneras del mejoramiento de la productividad y durabilidad de la trilladora, así como mejorar la disponibilidad y la eficiencia del mantenimiento en tiempo real utilizando la capacidad de inventario.

4.2.2 Modificación en Ventilador

El cambio más importante para mejorar la eficiencia de la eliminación de sedimentos y tallos en los cultivos de lupino es la introducción de un sistema de regulación de presión y velocidad del ventilador. Esta solución permite ajustar mejor el rendimiento del soplador a las necesidades específicas de la cámara, aumentando la eficiencia de la separación de residuos de los objetos. La capacidad de cambiar las condiciones permite que las condiciones cambien continuamente durante el almacenamiento, lo que garantiza una mejor eliminación de la suciedad y las costras y ayuda a promover la conservación para obtener un producto final de alta calidad. Esta configuración también le permite ajustar el funcionamiento del ventilador según diversas funciones, como las fluctuaciones de temperatura o la cantidad de material eliminado. Por lo tanto, el uso del sistema de conversión muestra una mejora significativa en el rendimiento del ventilador, lo que da como resultado un rendimiento del ventilador significativamente mejorado, permite una eliminación de polvo más detallada y eficiente durante la recolección de altramuces.

4.2.3 Modificación en tamiz

Las modificaciones en las dimensiones y la configuración del tamiz trajeron mejoras significativas al altramuz. La renovación incluye una ampliación y rediseño de la planta para aumentar la separación de sustancias deseables, como los nutrientes de altramuz, de los desechos no deseados, así como nuevas dimensiones de acero que permiten un mejor manejo y separación de semillas de altramuz y otras materias extrañas. Además, los contenedores están equipados con características especiales que aumentan la limpieza y la accesibilidad, ayudando a lograr un funcionamiento más continuo y reducir el número de interrupciones frecuentes.

4.2.4 Modificación en bastidor

Los cambios significativos en el diseño de trilladora de chochos, como la reubicación del ventilador y el cambio del diseño del eje, han tenido un efecto notable en la eficacia y el funcionamiento del dispositivo. Mover el ventilador dentro de la caja permite una distribución coordinada de aire y mejorar la separación de contaminantes de las partes del cuerpo durante el almacenamiento. Este nuevo sistema ha demostrado ser extremadamente eficaz a la hora de eliminar residuos y mejorar significativamente la calidad del producto final. Por otro lado, el diseño ayuda a distribuir la fuerza y el movimiento, haciendo el trabajo más fácil y eficiente.

Este cambio reduce el desgaste, prolonga la durabilidad del equipo y reduce sus necesidades de reparaciones. Finalmente, los cambios realizados en el diseño del marco, así como la reubicación del ventilador y el ajuste del eje, han mostrado las mejoras observadas en el chocho a través de una mayor separación de la suciedad. mejorando así la calidad del producto final. reforzado. y reducir el consumo.

4.2.5 Datos obtenidos

La trilladora 2.0 es una innovadora máquina diseñada para optimizar el proceso de trilla en el sector agrícola. Centrada en el rendimiento, la durabilidad y la facilidad de uso, esta trilladora se caracteriza por características técnicas avanzadas y un diseño duradero. Seguidamente, la muestra de los detalles sobre las propiedades claves que hacen que la trilladora 2.0 una opción excepcional para los fabricantes de chocho.

Tabla 13. Características de la trilladora.

Datos generales	
Características	Modelo 2.0
Capacidad de procesamiento	60 kg/hora
Dimensiones (Lxhxa)	(189.2X151.1X146.1) cm
Peso	93 [kg]
Consumo energético	4.85 [kW]
Potencia del motor a combustión	6.5 [Hp]
Material de fabricación	ASTM A-36
Eficiencia	90%

4.3 Análisis comparativo

4.3.1 Eje

Versión Anterior:

- Diseño: Eje estándar sin modificaciones especiales para mejorar el rendimiento de aplastamiento.
- Problema: Alto desgaste, mantenimiento frecuente y eficiencia limitada en la separación de partículas.

Versión Modificada:

- Proyecto: Reconstrucción de pozo de molino con modificación de sistema de trilla.

- Beneficios: Mayor rendimiento y precisión al rectificar, menores requisitos de abrasión y mantenimiento, mayor eficiencia en el procesamiento de lupino.

4.3.2 Ventilador

Versión Anterior:

- Principio de funcionamiento: el ventilador estándar no ajusta la presión ni la velocidad.
- Problema: Eficiencia limitada en la eliminación de sedimentos y tallos, incapaz de adaptarse a diferentes condiciones.

Versión Modificada:

- Principio de funcionamiento: El sistema controla la presión y la velocidad del ventilador.
- Beneficios: Mejor clasificación de residuos, adaptación a condiciones específicas, mejora de la eficiencia de eliminación de polvo y sedimentos, alta calidad del producto final.

4.3.3 Tamiz

Versión Anterior:

- Diseño: Tamaño y forma de tamiz estándar.
- Desafíos: Eficiencia limitada en la clasificación de partículas y desechos, dificultades de limpieza y disponibilidad.

Versión Modificada:

- Diseño: Tamaño y forma de pantalla modificados, nuevo tamaño de acero.
- Beneficios: Mejor manejo y separación de altramuces y otras impurezas, mejor limpieza y accesibilidad, operaciones más continuas con menos interrupciones.

4.3.4 Bastidor

Versión Anterior:

- Estructura: El marco no tiene movimiento de ventilador ni eje de ajuste.
- Problema: Distribución de aire ineficiente, mayor desgaste de los componentes y vida útil más corta del equipo.

Versión Modificada:

- Proyecto: Mueva el ventilador a la caja y ajuste la estructura del eje.
- Beneficios: Mejora la distribución del aire, reduce el desgaste, extiende la vida útil del equipo, mejora la excelencia del producto terminado, aumenta la optimización operativa y distribuye la fuerza y el movimiento.

Tabla 14. Tabla comparativa de componentes.

Componentes	Versión Anterior	Versión Actual
Eje	Diseño estándar, alta resistencia al desgaste, mantenimiento frecuente, rendimiento limitado.	Actualice el eje, aumente la productividad y la precisión, reduzca el desgaste y aumente la eficiencia del procesamiento.
Ventilador	El ventilador estándar, sin ajuste de presión ni velocidad, tiene una eficiencia de eliminación de polvo limitada.	Sistema de control de presión y velocidad, mejora la capacidad de separación de residuos, se adapta a las condiciones, mejora la eficiencia
Tamiz	Tamaño y forma estándar, eficiencia de separación limitada, difícil limpieza y acceso.	Cambios de tamaño y forma, mejor manejo y separación del grano, mayor limpieza y disponibilidad, operación más continua.
Bastidor	Bastidor sin reubicación del ventilador y sin ajuste del eje, distribución ineficiente del aire, mayor desgaste	Reubicar el ventilador, mejor distribución del aire, menor consumo, mayor vida útil, mejor calidad.

La versión revisada de la trilladora de chochos presenta mejoras significativas con respecto a su predecesor. Las modificaciones han aumentado el rendimiento, la eficiencia y la durabilidad de la máquina, así como también han reducido los costos y el tiempo de mantenimiento. Estas mejoras hacen que la nueva versión sea más eficiente y sostenible para los agricultores y productores de chochos.

4.3.5 Comparación de datos

Tabla 15. Comparación de datos

Parámetros	Antes de Repotenciación	Después de Repotenciación
Capacidad de procesamiento (kg/h)	45	60
Rendimiento (kg/h)	45	60
Consumo energético (kW)	4	4.85
Tiempo de trilla (min)	60	60
Pérdidas (kg)	7	5
Eficiencia de trilla (%)	84.44	91.67

4.4 Análisis económico

Generalidades.

A continuación, se va a detallar los costos directos e indirectos del rediseño y fabricación de la máquina trilladora de chochos con capacidad de 60 [Kg/h].

Costos directos

El costo directo se dirige a todo lo que compone la máquina como materiales, elementos de fijación y accesorios.

- Precio de materiales.
- Precio de manufactura.
- Precio de mano de obra.
- Precio total.

4.4.1 Precio de materiales

Tabla 16. Precio de materiales

Ítem	Descripción	Dimensión [mm]	Cant.	Norma	Costo unitario USD	Total USD
1	Tubo cuadrado	50x1.5	3	ASTM-A36	24.00	72.00
2	Eje central	Ø38X100	1	AISI 1018	25.00	25.00
3	Eje martillo	14X110	1	AISI 1018	12.00	12.00
4	Eje tamiz	25.4X350	1	AISI 1018	5.00	5.00
5	Eje Ventilador		1	AISI 1018	5.00	5.00
6	Tubo cedula 40		4	ASTM-A36	2.00	8.00
7	Discos soporte de ejes de martillos		3	ASTM-A36	4.00	12.00
8	Plancha de acero	2	1	ASTM-A36	48.00	48.00
9	Chumaceras de pie	25.4	4		8.00	32.00
10	Elementos de sujeción				18.00	18.00
11	Consumibles				30.00	30.00
				Total		267.00

4.4.2 Costos de manufactura

Tabla 17. Costos de manufactura.

Servicios	Costo USD
Corte de plasma	100.00
Torno	200.00
Fresadora	50.00
Guillotina	5.00
Plegadora	5.00
Suelda MIG	50.00
Total, servicios	410.00

4.4.3 Precio mano de obra

Tabla 18. Precio mano de obra.

Precio operador	Costo día USD	Días	Total, USD
Tornero	30.00	10	300.00
Ayudante	20.00	12	240.00
Diseñador	40.00	20	800.00
	Total, costo operador		1.340.00

4.4.4 Costo total

Tabla 19. Costo total.

Costo	Valor USD
Costos de materiales	267.00
Costos de manufactura	410.00
Costo mano de obra.	1.340.00
Total, del costo	2.017.00

CONCLUSIONES

- Un análisis detallado de la trilladora en su estado original reveló deficiencias significativas en su capacidad de rendimiento, diseño y facilidad de operación. Las vibraciones y ruidos extremadamente fuertes representaban molestias y riesgos significativos para los operadores. Su desempeño era insuficiente, con una capacidad de trabajo de apenas 10 kg/h, principalmente debido a la ineficiencia del rodillo de trabajo, que no era adecuado para el grano de chocho.

- El rediseño de la trilladora de chochos incorpora un innovador sistema de trillado basado en un eje equipado con pines martillo, inspirado en métodos tradicionales de trillado manual. Este sistema, que sustituye en gran medida a los componentes mecánicos originales, opera mediante golpes controlados sobre las vainas para liberar el grano. Para optimizar el proceso, se han añadido elementos como un ventilador para la limpieza del grano mediante aire forzado y un tamiz vibratorio para eliminar impurezas. Experimentalmente, se ha determinado que la carga de impacto en el trillado es de 7 kg.

- De las escalas de diseño propuestas se seleccionó la opción B. El análisis de parámetros relevantes muestra una calificación superior a la opción A, por lo que la modernización, el mantenimiento, el costo, la funcionalidad y la movilización son factibles.

- La máquina cumple con los requerimientos y aspiraciones de la población Sigchos al rebajar el tiempo de producción y disminuir el esfuerzo físico requerido para separar el chocho de sus vainas.

- La máquina trilladora de chochos fue fabricada utilizando materiales que están en nuestro país, ya que tienen reglas específicas para el tratamiento de chochos.

- Después de las pruebas en el campo, la máquina logró una tasa de precisión del 90%, lo que la hace competitiva con las máquinas de chocho importadas.

RECOMENDACIONES

- Utilice ropa adecuada y resistente que no se enganche en las partes rotativas de la máquina, gafas de seguridad para proteger los ojos del polco, partículas que suelta el producto al procesar.

- Es importante que la máquina permita ajustar tanto la velocidad como la precisión para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo y tipos de chochos. Además, debe incorporar un sistema efectivo de limpieza para eliminar los residuos y mantener la calidad del producto final.

- Diseñar la trilladora de manera que sea fácil de dar mantenimiento, con accesos sencillos a las partes que requieran ajustes o reparaciones, y que también pueda optimizar el consumo energético para reducir costos operativos y minimizar su impacto ambiental.

- Brindar capacitación sobre el uso de la unidad y las medidas de protección ambiental a los empleados para mejorar el desempeño y extender su vida útil.

- Con el objetivo de minimizar la pérdida de granos y optimizar la calidad del producto, es crucial ajustar adecuadamente la velocidad de la trilladora. Velocidades altas pueden ocasionar daños en los granos, mientras que velocidades bajas pueden resultar en granos no trillados y pérdidas. Es fundamental encontrar el equilibrio adecuado para optimizar el proceso de trillado.

- Si se necesita usar la máquina para otra semilla que requiera velocidades más altas para su trillado, es necesario aumentar la velocidad del motor.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Trilladora: Es una máquina agrícola diseñada para separar los granos de las plantas.

Vaina: Es una cascara tipo funda que contiene semillas, que son plantas de la familia fabácea.

Desvainado: Es realizar una acción para sacar la semilla de la vaina.

Capacidad: Es dar a conocer la circunstancia para lograr las cualidades esperadas.

Acondicionar: Adaptar a la necesidad adecuando para un fin determinado.

Semillas: Son los granos que contiene el embrión de una nueva planta y está cubierta por una corteza.

Cuchillas: Parte de acero con propiedades de corte de forma plana con uno o más filos cortantes

Rediseño: Un cambio de diseño para adaptar nuevas alternativas de funcionamiento.

Eje: Es una barra cilíndrica que trasmite movimiento giratorio.

Tolva: Embocadura de forma cónica tipo embudo que se localiza en la parte superior de una máquina que permite ingresar solidos para ser procesados.

Chumacera: Es un dispositivo mecánico utilizado como punto de apoyo que permite la rotación de un eje.

Tool: Lamina de acero

Tamiz: Un tol que contiene micro perforaciones que se aplica para separar solidos de diferentes dimensiones.

Polea: Consiste en una rueda con canal de diferente forma según su aplicación que permite direccionar la fuerza aplicada.

Banda: Es una tira flexible de diferentes formas que trasmiten el movimiento de un punto a otro.

Chaveta: Es un elemento de fijación mecánico macho que permite unir dos piezas para evitar deslizamientos en la trasmisión de movimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. D. Jami Jami y R. D. Pauta Salgado, «Repositorio Digital-EPN,» Febrero 2012. [En línea]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16642/1/UPS-KT00105.pdf. [Último acceso: 10 junio 2024].

[2] A. Guzman, R. Gusqui, N. Morán y H. Inoue, «Proyecto de Desarrollo Rural Integral Sostenible en la Provincia de Chimborazo "Minga Sumak Kawsay",» Septiembre 2015. [En línea]. Available: http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo_de_chocho_manual.pdf. [Último acceso: 10 junio 2024].

[3] N. Loja y S. Orellana, «Universidad de Cuenca,» 11 Noviembre 2012. [En línea]. Available: https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1569/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf. [Último acceso: 9 Junio 2024].

[4] H. P. Collaguazo Cagua y D. M. Quinapaxi Gonzales, «Repositorio Digital- EPN,» 23 Enero 2015. [En línea]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9107. [Último acceso: 10 Junio 2024].

[5] M. Suquilanda, «Ministerio de Agricultura, Ganaderia,Acuacultura y Pesca,» 2015. [En línea]. Available: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf. [Último acceso: 10 Junio 2024].

[6] E. Peralta, «Iniap,» 06 Diciembre 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3938/1/iniapscdpCD99.pdf. [Último acceso: 12 Junio 2024].

[7] H. N. Triviño Veloz, «Universidad Tecnica Estatal de Quevedo,» 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c9d957b5-487b-48c1-a36a-333ac395f1f4/content. [Último acceso: 9 junio 2024].

[8] M. A. Alarcon Porras , «Universidad Internacional del Ecuador,» Enero 2014. [En línea]. Available: file:///D:/Descargas/T-UIDE-0171.pdf. [Último acceso: 11 Junio 2024].

[9] E. P. Abarca Perez y J. C. Quinchuela Paucar, «Conciencia Digital,» 8 Junio 2022. [En línea]. Available: https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/2199. [Último acceso: 10 6 2024].

[10] C. P. Llumipanta Toro, «Universidad Politecnica Salesiana,» Octubre 2016. [En línea]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13139/3/UPS-KT01326.pdf. [Último acceso: 8 Junio 2024].

[11] J. S. Pérez de Corcho Fuentes, M. Herrera Suárez, R. J. Vivas Vivas, G. García y R. Valdiviezo, La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica, Quito: Siembra, 2017.

[12] C. Nieto, M. Soria, M. Marcial, M. Peñaloza, N. Lara, R. Castillo y C. Vimos, Proyecto "procesamiento de quinua en Ecuador 3P-85-0213": Informe final de labores, Quito: Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cultivos Andinos/CIID, 1991, 1991.

[13] C. Nieto y C. Vimos, La quinua, cosecha y poscosecha, algunas experiencias en Ecuador, Quito: Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cultivos Andinos, 1992, 1992.

[14] J. G. Peñafiel Soledispa, «Repositorio,» 6 Junio 2019. [En línea]. Available: https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/05750b08-22f9-446d-aac0-f131ab7aabf8/content. [Último acceso: 15 Junio 2024].

[15] H. Augsburger, Determinación de perdidas en la cosecha de granos., Uruguay: Editado por la unidad de difusión e información tecnológica del INIA, 1992.

[16] Optibelt, «www.optibelt.com,» *Manual Técnico por trasmisión de correar trapeciales.,* pp. 22-100, 2008.

[17] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2008.

[18] R. Norton, Diseño de máquinas, México: PRENTICE HALL, 1999.

Anexo A

TRILLADORA ANTES DE LA INTERVENCIÓN.

Vista del eje central.

Bastidor.

Anexo B

ESPECIFICACIONES DEL CHOCHO

Cultivo	Velocidad del cilindro trillador en rpm	Distancia entre el cilindro y el cóncavo adelante(mm)atrás		Velocidad batidor trasero rpm	Zarandas/cribas Superior mm	Inferior mm	Velocidad ventilador rpm
Alfalfa Alpiste	450-1225	4 - 9	2 - 4	f.i.	2 - 8	1 - 4	mínimas a 1/4
Arroz	400- 950	5 -14	5 -14	f.i.	7-19	6.5-10	500-600
Arveja	365- 500	26	12 -17	f.i.	9-15	6-12	entre 3/4 y máxima
Avena	570-1100	14 -18	5 -15	760	8-19	6-15	500-600
Cebada	600-1270	7 -14	3 -12	760	5-19	3-13	500-800
Centeno	850-1090	14	6	760	5-13	8-11	600-700
Colza	600-1040	14 -26	12 -17	760	3-9	1-7	500-550
Girasol	300- 650	30	15	f.i.	12.5-19	11-16	600
Gramíneas	850-1100	6	3	760	8-16	3-6.5	395
Habas	400- 695	26	12 -17	400-760	10-18	10-15	máxima
Lino	400-1090	9 -14	2 - 6	760	2-8	1-4	550
Maíz	200- 725	25 -30	12 -17	f.i.	10-16	8-18	750-1000
Sorgo	500-1090	8 -14	5 - 9	f.i.	8-16	6-12.5	600
Soya	365- 850	19 -26	9.5 -17	f.i.	10-19	8-12.5	850
Trébol	850-1170	4 - 9	2 - 4	f.i.	2-4	1-3.5	bajo
Trigo	650-1100	8 -14	5 -12	760	5-19	3-15	700-800

Anexo C

TABLAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

jemplo de máquinas accionadas	Ejemplo de máquinas motrices					
	Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque normal (de hasta 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores síncronos y monofásicos con fase auxiliar de arranque, motores trifásicos con arranque directo, arranque estrella/triángulo, con anillo colector; de corriente continua, de combustión interna y turbinas de n > 600 r.p.m			Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque alto (más de 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores monofásicos con alto momento de arranque, motores con conexión principal CC conectados en serie y combinación, motores de combustión interna y turbinas de n ≤ 600 r.p.m		
	Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)			Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)		
	hasta 10	más de 10 hasta 16	a partir de 16	up to 10	más de 10 hasta 16	a partir de 16
Transmisiones ligeras Bombas centrífugas y compresores, byas transportadoras (cargas ligeras) ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Transmisiones medias Guillotinas, prensas, transportadores de cadena y bya (cargas pesadas), tamices vibradores, generadores y excitadores, amasadoras, máquinas herramienta (tornos, esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Transmisiones pesadas Molinos, compresores de pistón, transportadores de carga pesada, expulsores (transportadores helicoidales, cintas de placas, cangilones y pala), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria del papel, bombas de pistón, bombas draga, aserraderos, molinos de machacado	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Transmisiones muy pesadas Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calyras, mezcladoras, tornos, grúas, dragas, maquinaria pesada para madera	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Desarrollo de referencia (mm)	Ajuste mínimo x (mm) – para tensado o retensado	Ajuste mínimo y (mm) para montaje			
		SPZ, XPZ	SPA, XPA	SPB, XPB	SPC, XPC
487 ≤ 670	10	10	10	—	—
> 670 ≤ 1 000	15	15	15	—	—
> 1 000 ≤ 1 250	20	15	15	—	—
> 1 250 ≤ 1 800	25	20	20	20	—
> 1 800 ≤ 2 240	25	20	20	20	25
> 2 240 ≤ 3 000	35	20	20	20	30
> 3 000 ≤ 4 000	45	20	20	20	30
> 4 000 ≤ 5 000	55	20	20	25	30
> 5 000 ≤ 6 300	70	25	25	30	35
> 6 300 ≤ 8 000	85	25	25	35	40
> 8 000 ≤ 10 000	110	30	30	35	45
> 10 000 ≤ 12 500	135	—	—	35	45
> 12 500 ≤ 15 000	150	—	—	45	55
> 15 000 ≤ 18 000	190	—	—	45	55

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	c_1
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
0,25	165°	0,99
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

Perfil SPZ, XPZ		Perfil SPA, XPA		Perfil SPB, XPB		Perfil SPC, XPC	
Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3
630	0,83	800	0,81	1250	0,83	2000	0,85
670	0,84	850	0,82	1320	0,84	2120	0,86
710	0,85	900	0,83	1400	0,85	2240	0,86
750	0,86	950	0,84	1500	0,86	2360	0,87
800	0,87	1000	0,85	1600	0,87	2500	0,88
850	0,88	1060	0,86	1700	0,88	2650	0,89
900	0 89	1120	0,86	1800	0,89	2800	0,90
950	0,90	1180	0,87	1900	0,90	3000	0,91
1000	0,91	1250	0,88	2000	0,91	3150	0,91
1060	0,92	1320	0,89	2120	0,92	3350	0,92
1120	0,93	1400	0,90	2240	0,93	3550	0,93
1180	0,94	1500	0,91	2360	0,93	3750	0,94
1250	0,95	1600	0,92	2500	0,94	4000	0,95
1320	0,96	1700	0,93	2650	0,95	4250	0 96
1400	0,98	1800	0,94	2800	0,96	4500	0,97
1500	0,99	1900	0,95	3000	0,97	4750	0,98
1600	1,00	2000	0,96	3150	0,98	5000	0,98
1700	1,01	2120	0,97	3350	0,99	5300	0,99
1800	1,02	2240	0,98	**3550**	1,00	**5600**	1,00
1900	1,03	2360	0,99	3750	1,01	6000	1,01
2000	1,04	**2500**	1,00	4000	1,02	6300	1,02
2120	1,05	2650	1,01	4250	1,03	6700	1,03
2240	1,06	2800	1,02	4500	1,04	7100	1,04
2360	1,07	3000	1,03	4700	1,04	7500	1,04
2500	1,08	3150	1,04	5000	1,05	8000	1,05
2650	1,09	3350	1,05	5300	1,06	8500	1,06
2800	1,10	3550	1,06	5600	1,07	9000	1,07
3000	1,11	3750	1,07	6000	1,08	9500	1,08
3150	1,12	4000	1,08	6300	1,09	10000	1,09
3350	1,13	4250	1,09	6700	1,10	10600	1,09
3550	1,15	4500	1,10	7100	1,11	11200	1,10
3750	1,16	4750	1,11	7500	1,12	11800	1,11
4000	1,17	5000	1,12	8000	1,13	12500	1,12
4250	1,18	5300	1,13	8500	1,14	13200	1,13
4500	1,19	5600	1,14	9000	1,15	14000	1,14
		6000	1,15	9500	1,16	15000	1,15
				10000	1,17		

Poleas	v (m/s)	n_k	Diámetro de referencia de la polea pequeña d_{dk} (mm)														Suplemento de potencia (kW) por correa para i			
		(min^{-1})	90	100	112	118	125	132	140	150	160	180	200	224	250	280	315	1,01 hasta 1,05	1,06 hasta 1,26	1,27 hasta 1,57	>1,57
⑤		**700**	1,17	1,55	1,99	2,21	2,47	2,72	3,01	3,37	3,73	4,44	5,14	5,97	6,85	7,86	9,01	0,02	0,15	0,21	0,26
		950	1,49	1,98	2,57	2,86	3,20	3,53	3,91	4,39	4,86	5,78	6,70	7,78	8,92	10,21	11,68	0,03	0,20	0,29	0,36
		1450	2,04	2,76	3,62	4,04	4,53	5,02	5,57	6,25	6,92	8,24	9,52	11,02	12,58	14,30	16,18	0,05	0,31	0,44	0,54
		2850	3,14	4,40	5,88	6,60	7,43	8,23	9,13	10,21	11,25	13,21	14,97	16,81	18,43	19,78	20,57	0,09	0,61	0,87	1,07
		100	0,23	0,30	0,37	0,40	0,45	0,49	0,54	0,60	0,65	0,77	0,89	1,03	1,18	1,35	1,55	0,00	0,02	0,03	0,04
		200	0,42	0,54	0,68	0,75	0,83	0,91	1,00	1,11	1,22	1,45	1,67	1,94	2,22	2,55	2,92	0,01	0,04	0,06	0,07
		300	0,59	0,76	0,96	1,07	1,18	1,30	1,43	1,60	1,76	2,09	2,41	2,80	3,21	3,68	4,23	0,01	0,06	0,09	0,11
		400	0,75	0,97	1,24	1,37	1,52	1,67	1,85	2,06	2,28	2,70	3,12	3,63	4,16	4,78	5,49	0,01	0,09	0,12	0,15
		500	0,90	1,17	1,50	1,66	1,85	2,03	2,25	2,51	2,77	3,30	3,81	4,43	5,09	5,84	6,70	0,02	0,11	0,15	0,19
		600	1,04	1,36	1,75	1,94	2,16	2,38	2,63	2,95	3,26	3,87	4,48	5,21	5,98	6,86	7,88	0,02	0,13	0,18	0,22
		700	1,17	1,55	1,99	2,21	2,47	2,72	3,01	3,37	3,73	4,44	5,14	5,97	6,85	7,86	9,01	0,02	0,15	0,21	0,26
		800	1,30	1,72	2,23	2,47	2,76	3,05	3,38	3,78	4,19	4,99	5,77	6,71	7,70	8,82	10,11	0,03	0,17	0,24	0,30
		900	1,43	1,90	2,45	2,73	3,05	3,37	3,74	4,19	4,64	5,52	6,39	7,43	8,52	9,76	11,17	0,03	0,19	0,27	0,34
		1000	1,55	2,06	2,68	2,98	3,34	3,69	4,09	4,58	5,07	6,04	7,00	8,12	9,32	10,66	12,18	0,03	0,22	0,31	0,37
		1100	1,66	2,23	2,90	3,23	3,61	4,00	4,43	4,97	5,50	6,55	7,59	8,80	10,09	11,53	13,15	0,04	0,24	0,34	0,41
		1200	1,77	2,38	3,11	3,47	3,88	4,30	4,76	5,34	5,92	7,05	8,16	9,46	10,84	12,37	14,08	0,04	0,26	0,37	0,45
		1300	1,88	2,54	3,31	3,70	4,15	4,59	5,09	5,71	6,33	7,54	8,72	10,10	11,55	13,17	14,96	0,04	0,28	0,40	0,49
		1400	1,99	2,69	3,52	3,93	4,40	4,87	5,41	6,07	6,72	8,01	9,26	10,72	12,25	13,93	15,79	0,05	0,30	0,43	0,52
		1500	2,09	2,83	3,71	4,15	4,65	5,15	5,72	6,42	7,11	8,47	9,79	11,32	12,91	14,66	16,56	0,05	0,32	0,46	0,56
		1600	2,19	2,97	3,91	4,37	4,90	5,43	6,02	6,76	7,49	8,91	10,29	11,89	13,54	15,34	17,29	0,05	0,34	0,49	0,60
		1700	2,28	3,11	4,09	4,58	5,14	5,69	6,32	7,09	7,86	9,34	10,78	12,44	14,14	15,99	17,95	0,06	0,37	0,52	0,64
		1800	2,37	3,24	4,27	4,78	5,37	5,95	6,61	7,42	8,21	9,76	11,25	12,97	14,71	16,59	18,56	0,06	0,39	0,55	0,67
		1900	2,46	3,37	4,45	4,98	5,60	6,20	6,89	7,73	8,56	10,17	11,71	13,47	15,25	17,14	19,10	0,06	0,41	0,58	0,71
		2000	2,54	3,50	4,62	5,18	5,82	6,45	7,16	8,03	8,89	10,55	12,14	13,94	15,75	17,65	19,57	0,07	0,43	0,61	0,75

Parte 1 Propiedades de las secciones

$A =$ área

$G =$ ubicación del centroide

$I_x = \int y^2\, dA =$ segundo momento de área con respecto al eje x

$I_y = \int x^2\, dA =$ segundo momento de área con respecto al eje y

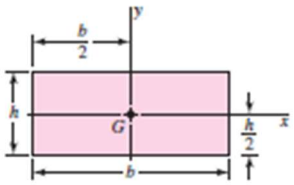
$I_{xy} = \int xy\, dA =$ momento mixto de área con respecto a los ejes x y y

$J_G = \int r^2\, dA = \int (x^2 + y^2)\, dA = I_x + I_y$

$=$ segundo momento polar de área con respecto al eje que pasa por G

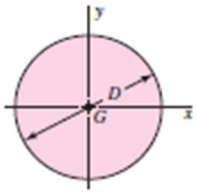
$k_x^2 = I_x/A =$ radio de giro al cuadrado con respecto al eje x

Rectángulo



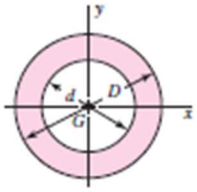
$$A = bh \qquad I_x = \frac{bh^3}{12} \qquad I_y = \frac{b^3h}{12} \qquad I_{xy} = 0$$

Círculo



$$A = \frac{\pi D^2}{4} \qquad I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \qquad I_{xy} = 0 \qquad J_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

Círculo hueco



$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \qquad I_x = I_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \qquad I_{xy} = 0 \qquad J_G = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$$

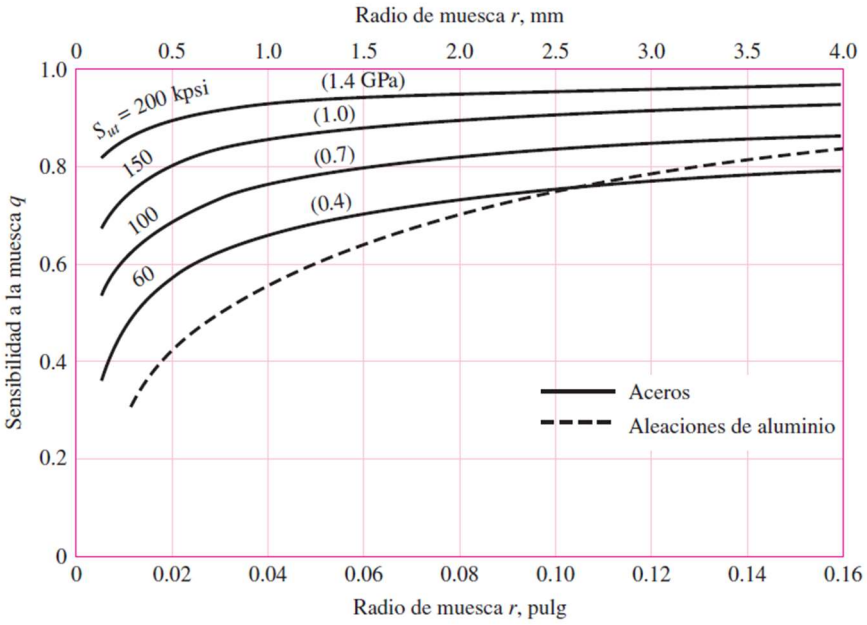
1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa-miento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Tabla A-19

Tubería estándar americana

Tamaño nominal, pulg	Diámetro exterior, pulg	Roscas por pulgada	Espesor de pared, pulg: Estándar núm. 40	Extra-fuerte núm. 80	Doble extra-fuerte
$\frac{1}{8}$	0.405	27	0.070	0.098	
$\frac{1}{4}$	0.540	18	0.090	0.122	
$\frac{3}{8}$	0.675	18	0.093	0.129	
$\frac{1}{2}$	0.840	14	0.111	0.151	0.307
$\frac{3}{4}$	1.050	14	0.115	0.157	0.318
1	1.315	$11\frac{1}{2}$	0.136	0.183	0.369
$1\frac{1}{4}$	1.660	$11\frac{1}{2}$	0.143	0.195	0.393
$1\frac{1}{2}$	1.900	$11\frac{1}{2}$	0.148	0.204	0.411
2	2.375	$11\frac{1}{2}$	0.158	0.223	0.447
$2\frac{1}{2}$	2.875	8	0.208	0.282	0.565
3	3.500	8	0.221	0.306	0.615
$3\frac{1}{2}$	4.000	8	0.231	0.325	
4	4.500	8	0.242	0.344	0.690
5	5.563	8	0.263	0.383	0.768
6	6.625	8	0.286	0.441	0.884
8	8.625	8	0.329	0.510	0.895

Acabado superficial	Factor a: S_{ut}, kpsi	Factor a: S_{ut}, MPa	Exponente b
Esmerilado	1.34	1.58	–0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	–0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	–0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	–0.995


Radio de muesca r, mm
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Sensibilidad a la muesca q
Sut = 200 kpsi
(1.4 GPa)
150
(1.0)
100
(0.7)
60
(0.4)
Aceros
Aleaciones de aluminio
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
0.14
0.16
Radio de muesca r, pulg

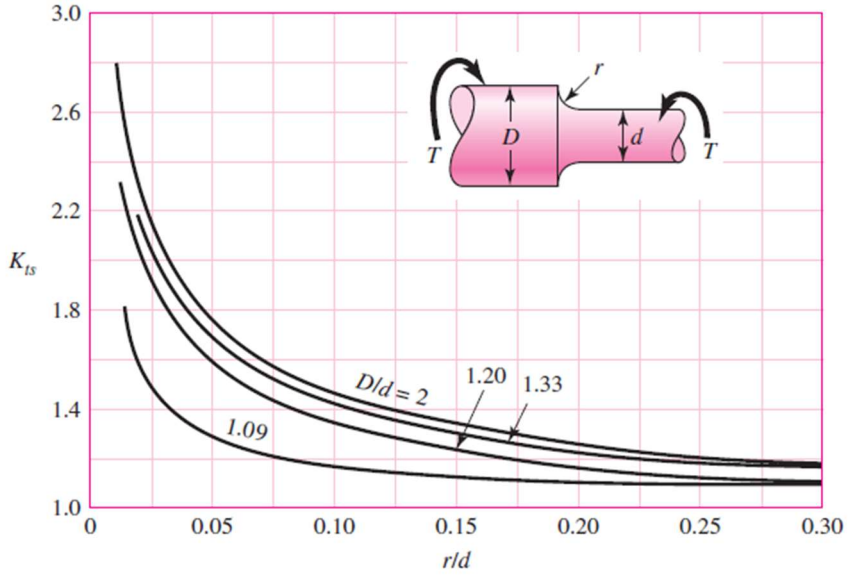
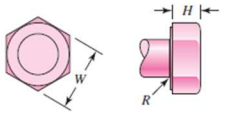

3.0
2.6
2.2
1.8
1.4
1.0
Kts
r
D
d
T
T
D/d = 2
1.20
1.33
1.09
0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
r/d

Tabla A-29

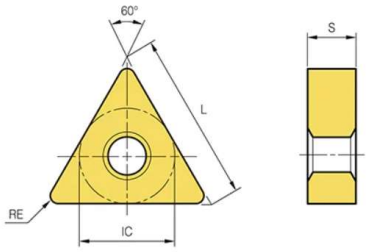
Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal



Tamaño nominal, pulg	Tipo de cabeza: Cuadrada W	Cuadrada H	Hexagonal regular W	Hexagonal regular H	Hexagonal regular R_{min}	Hexagonal pesada W	Hexagonal pesada H	Hexagonal pesada R_{min}	Hexagonal estructural W	Hexagonal estructural H	Hexagonal estructural R_{min}
1/4	3/8	11/64	7/16	11/64	0.01						
5/16	1/2	13/64	1/2	7/32	0.01						
3/8	9/16	1/4	9/16	1/4	0.01						
7/16	5/8	19/64	5/8	19/64	0.01						
1/2	3/4	21/64	3/4	11/32	0.01	7/8	11/32	0.01	7/8	5/16	0.009
5/8	15/16	27/64	15/16	27/64	0.02	1 1/16	27/64	0.02	1 1/16	25/64	0.021
3/4	1 1/8	1/2	1 1/8	1/2	0.02	1 1/4	1/2	0.02	1 1/4	15/32	0.021
1	1 1/2	21/32	1 1/2	43/64	0.03	1 5/8	43/64	0.03	1 5/8	39/64	0.062
1 1/8	1 11/16	3/4	1 11/16	3/4	0.03	1 13/16	3/4	0.03	1 13/16	11/16	0.062
1 1/4	1 7/8	27/32	1 7/8	27/32	0.03	2	27/32	0.03	2	25/32	0.062
1 3/8	2 1/16	29/32	2 1/16	29/32	0.03	2 3/16	29/32	0.03	2 3/16	27/32	0.062
1 1/2	2 1/4	1	2 1/4	1	0.03	2 3/8	1	0.03	2 3/8	15/16	0.062

Especificaciones técnicas

IC	RE	S	L	AN	D1	HAND	WT
9,525	0,397	4,76	16,498	0	3,81	N	0,0069



Anexo D

Planos