



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ESCARIFICADORA DE QUINUA CON
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN HASTA 40 KG/H A SER UTILIZADA POR PERSONAS DE LA
TERCERA EDAD EN EL CANTÓN COLTA COMUNIDAD DE LA MERCED**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros en Mecatrónica

**AUTORES: CEPEDA SAGÑAY KEVIN ALEXIS
TORRES ALAVA BRYAN FABRICIO**

TUTOR: FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA

Quito - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Kevin Alexis Cepeda Sagñay, con documento N°1751127612 y Bryan Fabricio Torres Alava con documento N° 2200227219, manifiesto que:

Somos, 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, 09 de febrero del año 2024

Atentamente,



Kevin Alexis Cepeda Sagñay
1751127612



Bryan Fabricio Torres Alava
2200227219

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

Nosotros, Kevin Alexis Cepeda Sagñay, con documento de identificación No:1751127612 y Bryan Fabricio Torres Alava con documento de identificación No: 2200227219, 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 los autores para el desarrollo de un Dispositivo tecnológico: “Diseño y construcción de una maquina escarificadora de quinua con capacidad de 40 kg/h a ser utilizada por personas de la tercera edad en el cantón Colta comunidad la merced”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 09 de febrero del año 2024



Kevin Alexis Cepeda Sagñay

1751127612



Bryan Fabricio Torres Alava

2200227219

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera, con documento de identificación N°: 1707982169, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA ESCARIFICADORA DE QUINUA CON CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN HASTA 40 KG/H A SER UTILIZADOS POR PERSONAS DE LA TERCERA EDAD EN EL CANTÓN COLTA COMUNIDAD LA MERCED, realizado por Kevin Alexis Cepeda Sagñay, con documento de identificación N°:1751127612 y Bryan Fabricio Torres Alava con documento de identificación N°: 2200227219 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 09 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, MSc.

1707982169

DEDICATORIA AUTOR 1

Dedico esta tesis a mis padres quienes me aconsejaron y guiaron durante el trayecto de mi vida. A demás del sacrificio y esfuerzo que realizaron en sus jornadas de trabajo, haciendo posible la culminación de mis estudios universitarios.

Kevin Alexis Cepeda Sagñay

AGRADECIMIENTO AUTOR 1

Agradezco en primer lugar a Dios por estar presente en cada proyecto de mi vida, a mi padre y madre por sus consejos, enseñanzas y guiarme siempre por el buen camino. De igual forma agradezco a cada una de las autoridades e ingenieros de la Universidad Politécnica Salesiana por el apoyo y conocimientos entregados en cada uno de los semestres.

Kevin Alexis Cepeda Sagñay

DEDICATORIA AUTOR 2

Es mi deber dedicar el presente proyecto a mi padre celestial y todopoderoso Dios, por haberme otorgado las capacidades para desarrollar mi trabajo de titulación.

También dedicó este trabajo de titulación a mis padres y hermanos, quienes me han brindado todo su apoyo de manera incondicional para afrontar todos los obstáculos presentados durante el desarrollo de mi carrera para culminar con éxito este trabajo de titulación

Bryan Fabricio Torres Álava

AGRADECIMIENTO AUTOR 2

Mi eterno agradecimiento a Dios, mi redentor y creador, por quien tengo la vida y he podido llegar hasta este punto de mi camino en el ámbito profesional, a él la agradezco por haberme dado la sabiduría para obtener los conocimientos en la ingeniería mecatrónica y ponerlos en práctica mediante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Agradezco al personal administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana, al personal docente de la Ingeniería Mecatrónica, especialmente al Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, director del trabajo de titulación, por orientarlo y guiarlo, conduciéndolo hacia la eficiencia.

Bryan Fabricio Torres Álava

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
DEDICATORIA AUTOR 1.....	5
AGRADECIMIENTO AUTOR 1	6
DEDICATORIA AUTOR 2.....	7
AGRADECIMIENTO AUTOR 2	8
ÍNDICE DE CONTENIDOS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
CAPÍTULO 1.....	19
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1. La Quinoa	19
1.2. Características etnobotánicas de la quinua	19
1.3. Origen y distribución geográfica.....	20
1.4. Proceso de producción de la quinua.....	21

1.5.	Proceso de escarificación de la quinua	21
1.6.	Tecnología para el proceso de escarificación de la saponina	23
CAPÍTULO 2.....		24
2.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	24
2.1.	Análisis multicriterio	24
2.2.	Determinación y selección de la alternativa	25
2.2.1.	Descripción de la alternativa 1.....	25
2.2.2.	Descripción de la Alternativa 2	31
2.2.3.	Descripción de la alternativa 3.....	34
Capítulo III.....		38
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	38
3.1.	Diseño conceptual	38
3.2.	Análisis de requerimientos	40
3.3.	Requerimientos técnicos.	40
3.4.	Diseño y modelado.....	40
3.5.	Selección de materiales y componentes.....	42
3.6.	Cálculos de capacidad de producción y eficiencia de la máquina	44
3.7.	Eficiencia de la máquina.....	45
3.8.	Cálculos de fuerzas en el eje del cilindro.....	46
3.9.	Cálculo para determinar las transmisiones de la polea	50
3.10.	Análisis estático de la viga en SOLIDWORKS.....	58
3.11.	Factor de seguridad	60
3.12.	Análisis estático de la estructura	61
3.13.	Factor de seguridad	62
Capítulo IV.....		64
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
4.1.	Rendimiento de la máquina	64

4.2.	Consumo de energía y recursos	66
4.3.	Tiempos de producción	67
4.4.	Sistema eléctrico de la máquina.....	69
5.	CONCLUSIONES	71
6.	RECOMENDACIONES.....	72
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS		77
	Estructura interna de la máquina escarificadora.....	77
	Proceso de elaboración y construcción de la máquina.....	80
	Elementos procesados en el software SolidWorks	86
	Periodo de pruebas de la máquina	86
	Operación de la máquina en la Comunidad La Merced.....	88
	Planos de la construcción de la máquina	91
	Manual de Operación y Mantenimiento de la máquina.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características botánicas de la quinua.	20
Figura 2. Países productores de quinua a nivel mundial.	20
Figura 3. Sección longitudinal media del grano de quinua.....	22
Figura 4. Sensor de humedad.....	26
Figura 5. Sensor de densidad	27
Figura 6. Sensor de velocidad	27
Figura 7. Componentes de un Arduino	28
Figura 8. Representación visual de un Tacómetro digital.....	29
Figura 9. Motor Porten de 5 Hp.....	37
Figura 10. Modelación de la máquina realizada en el software SolidWorks.	41
Figura 11. Selección y preparación de los materiales y componentes para fabricar la máquina	42
Figura 12. Estimación de desplazamiento para carga de 5k en el software SolidWorks.....	47
Figura 13. Estimación de desplazamiento para carga de 5k en el software SolidWorks.....	47
Figura 14. Estimación de desplazamiento para carga de 50k en el software SolidWorks	48
Figura 15. Estimación de desplazamiento para carga de 50k en el software SolidWorks	48
Figura 16. Estimación de desplazamiento para carga de 100k en el software SolidWorks....	49
Figura 17. Estimación de desplazamiento para carga de 100k en el software SolidWorks....	49
Figura 18. Representación de las transmisiones de polea	50
Figura 19. Representación de la longitud de correa en las poleas de la máquina	51
Figura 20. Representación de la transmisión para el ventilador.	52
Figura 21. Representación de la longitud de correa en las poleas de la máquina	53
Figura 22. Valores de requerimientos técnicos de la banda	54
Figura 23. Esquema del diseño de viga	55
Figura 24. Diseño de Viga	56
Figura 25. Viga con la carga ya ingresada en MDSOLID	56

Figura 26. Diagrama de fuerza de corte	56
Figura 27. Diagrama de momento, alrededor de la viga	57
Figura 28. Representación del cilindro en SolidWorks	58
Figura 29. Representación de los puntos fijos de las vigas	58
Figura 30. Simulación de resistencia de la viga.....	59
Figura 31. Modelado digital del factor de seguridad	60
Figura 32. Modelado de las fuerzas aplicadas en la estructura.	61
Figura 33. Modelado del factor de seguridad de la estructura.....	62
Figura 34. Máquina escarificadora operando en la comunidad La Merced.....	63
Figura 35. Proceso de Soldadura en la Fabricación y Ensamblaje de la Máquina	65
Figura 36. Montaje del motor y otros componentes de la máquina	66
Figura 37. Análisis de producción de la quinua	68
Figura 38. Tiempos de producción de la quinua	69
Figura 39. Sistema eléctrico del motor estacionario	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Planteamiento de alternativas para la construcción de la máquina escarificadora de quinua.....	24
Tabla 2. Puntuación de criterios de las alternativas planteadas.....	24
Tabla 3. Ponderación de criterios de las alternativas planteadas	25
Tabla 4. Criterios para el diseño inicial de la máquina escarificadora.....	39
Tabla 5. Requerimientos operativos de la máquina escarificadora	40
Tabla 6. Materiales y componentes de la máquina	43
Tabla 7. Resultados de las pruebas de pérdida de masa de la quinua durante el proceso de escarificado.	67

RESUMEN

El presente documento detalla el diseño y la construcción de una máquina escarificadora de Quinoa, abordando su proceso de fabricación mediante la utilización de componentes mecánicos disponibles en el mercado nacional. Se inicia con una exhaustiva revisión técnica de los principios de mecánica de materiales, obteniendo información de diversas fuentes como libros, revistas, artículos científicos, informes técnicos y foros, entre otros.

El proyecto plantea un análisis de alternativas basado en un método multicriterio, evaluando variables como el costo, la facilidad de operación, la disponibilidad de materiales en el mercado, la facilidad de montaje y la seguridad, con el fin de seleccionar los elementos más idóneos para la fabricación de la máquina escarificadora.

A continuación, se procederá a la etapa inicial de diseño empleando software CAD para obtener una representación visual del concepto y modelar la estructura mecánica y funcional de la máquina. Posteriormente, se avanzará a la fase de construcción y fabricación.

Una vez completada y fabricada la máquina, se llevarán a cabo pruebas exhaustivas para asegurar su rendimiento y capacidad de escarificar hasta 40 kg de quinua. Tras la validación de los ensayos y la confirmación de su funcionalidad, la máquina será entregada a los agricultores de la tercera edad de la parroquia La Merced en la provincia de Chimborazo, con el propósito de contribuir al desarrollo agrícola en dicho sector y mejorar las condiciones laborales ergonómicas de este grupo etario.

Palabras clave: quinua; máquina escarificadora; Innovación Agrícola

ABSTRACT

This study details the design and construction of a Quinoa scarifying machine, addressing its manufacturing process through the use of mechanical components available in the domestic market. It begins with an exhaustive technical review of the principles of material mechanics, obtaining information from various sources such as books, magazines, scientific articles, technical reports and forums, among others.

The project proposes an analysis of alternatives based on a multi-criteria method, evaluating variables such as cost, ease of operation, availability of materials in the market, ease of assembly and safety, in order to select the most suitable elements for the manufacture of the scarifying machine.

Next, we will proceed to the initial design stage using CAD software to obtain a visual representation of the concept and model the mechanical and functional structure of the machine. This will be followed by the construction and manufacturing phase.

Once the machine is completed and manufactured, extensive testing will be carried out to ensure its performance and capacity to scarify up to 40 kg of quinoa. After validation of the tests and confirmation of its functionality, the machine will be delivered to senior farmers in the parish of La Merced in the province of Chimborazo, with the aim of contributing to agricultural development in that sector and improving working conditions in the area.

Keywords: quinoa; scarifying machine; Agricultural Innovation; Agricultural Innovation.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La quinua ha ganado reconocimiento a nivel mundial en los últimos años debido a sus propiedades altamente nutritivas y su significado cultural. Sin embargo, la etapa crucial de escarificación en su proceso de transformación continúa siendo realizada de forma manual, lo que conlleva a un procedimiento laborioso y presenta limitaciones significativas en cuanto a eficiencia y capacidad de aumento de producción.

El método tradicional o manual de escarificación de quinua implica costos laborales de mano de obra significativos, tiempos prolongados de trabajo y una capacidad de producción limitada lo que genera dificultades en los productores para satisfacer las demandas del mercado.

La falta de maquinaria especializada para desarrollar el proceso de escarificación de la quinua ha llevado a la necesidad de desarrollar una máquina eficiente que pueda agilizar este proceso manteniendo la integridad del grano, mejorando la productividad y sobre todo haciendo más competitivo al productor local dentro del mercado.

La estructura de la máquina escarificadora implica que todos sus componentes como motor, chumaceras, ejes, tolvas, entre otras, brinden seguridad al operario además de su óptimo funcionamiento en cualquier tipo de condiciones climáticas como fuertes vientos, lluvias, intenso sol, etc.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de desarrollar una máquina escarificadora surge a partir de brindar condiciones laborales más ergonómicas a personas de la tercera edad y paralelamente mejorar la cadena de producción de la quinua en la comunidad La Merced del cantón Colta en la Provincia de Chimborazo.

Las personas de la tercera edad están directamente involucradas en las actividades de producción agrícolas de la quinua en el sector de La Merced, muchas veces la participación de este grupo etario está limitada porque los procesos de escarificación manuales demanda de exigencia física y trabajos con tiempos prolongados. La construcción de la máquina fomenta la participación de las personas de la tercera edad al tener mejores condiciones ergonómicas, también influye en su comportamiento y bienestar físico y emocional y de forma análoga mejora la productividad y eficiencia en todo el proceso de producción de quinua.

La construcción e implementación de la máquina escarificadora de quinua no solo mejora las condiciones laborales y la calidad de vida de las personas de la tercera edad, si no que contribuye al desarrollo sostenible de La Merced ya que fortalece la sostenibilidad de las prácticas agrícolas promoviendo la inclusión social y el crecimiento económico de comunidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una máquina escarificadora de quinua con capacidad de producción hasta 40 kg/h a ser utilizada por personas de la tercera edad en el cantón Colta la comunidad de la Merced.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Analizar la condición real del proceso artesanal del tratamiento de quinua mediante visitas a la comunidad para la recopilación de datos y variables útiles para el diseño.
- 2 Diseñar los elementos mecatrónicos mediante software SolidWorks para la implementación de la máquina escarificadora para el tratamiento de hasta 40 kg/h de producto.
- 3 Realizar pruebas de funcionamiento en el campo mediante la evaluación de la eficiencia y efectividad en el proceso de escarificación de la quinua para la ayuda a personas de tercera edad en la comunidad

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. *La Quinoa*

La quinoa (*Chenopodium quinoa*) es una planta de tipo herbácea perteneciente a la familia de las Amaranthaceae, se cultiva principalmente en la región de los Andes sudamericanos [1] Se cree que esta planta fue domesticada hace más de 5000 años por las poblaciones indígenas locales puesto que brinda propiedades nutricionales y a la vez considerada un súper alimento gracias a que contiene aminoácidos esenciales, también es rica en vitamina B, C y E y minerales como calcio, hierro y magnesio [2].

1.2. *Características etnobotánicas de la quinoa*

La *Chenopodium quinoa* o quinoa es una planta puede alcanzar entre los 1 y 2 metros de altura, tiene unas hojas alternas y simples con forma de lanza y están dispuestas de manera alternada a lo largo del tallo. Sus flores son pequeñas y están dispuestas a manera de racimo suelto, pueden tener diferentes colores como amarillo, blanco, rojo o rosa; en cuanto al fruto es una cápsula que contienen las semillas que son redondas y aplanadas y las cuales son la parte comestible de la planta como se observa en la figura 1.

La quinoa es una planta anual es decir que su ciclo de vida se completa en un año, también esta planta que presenta características importantes de adaptabilidad a condiciones extremas de temperatura, humedad y suelos con baja cantidad de agua [3]

Por otra parte, la quinoa es considerada una planta ancestral ya que era usada en ceremonias y rituales espirituales como ofrenda a la Pachamama como símbolo de gratitud y respeto, además de ser un alimento diario para todos los habitantes de las comunidades al tener múltiples propiedades tanto nutricionales como medicinales [4].

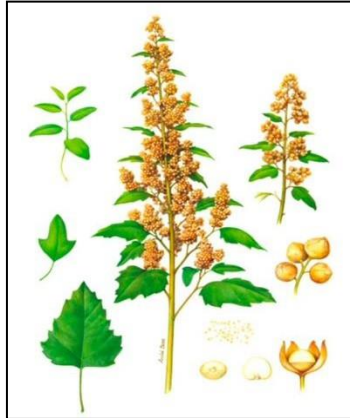


Figura 1. Características botánicas de la quinua.
Fuente: [5]

1.3. Origen y distribución geográfica

El origen de la quinua se relaciona las regiones de andinas de Sudamérica en países como Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia [6]. Esta planta junto a otras como el maíz, papa o frijoles eran consumidas ampliamente en estos países por las culturas ancestrales como las incas, mayas o aztecas hace más de 5000 años al ser consideradas un superalimento [5].

Conforme fue avanzando el desarrollo del ser humano la revolución agrícola permitió al hombre cambiar sus hábitos alimenticios y domesticar ciertos tipos de plantas [7], además, con la llegada de revolución industrial la mecanización de la agricultura permitió la expansión de la producción agrícola en el mundo a tal punto que hoy en día la quinua es cultivada en otros países como Estados Unidos, China, Australia y Canadá [1]

Actualmente la mayor producción de quinua está en países como Perú que produce cerca de 50,000 toneladas de quinua al año, seguido de Bolivia con 39,000 y Ecuador cerca de 2,000 toneladas al año como se muestra en la figura 2 [8].

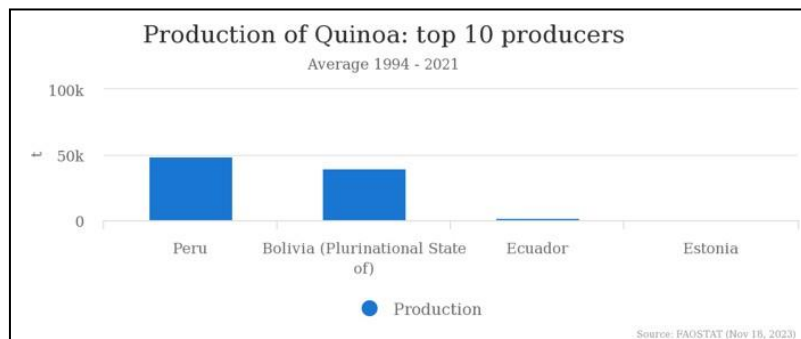


Figura 2. Países productores de quinua a nivel mundial.
Fuente: [8]

1.4. *Proceso de producción de la quinua*

El proceso de la quinua empieza con la preparación del terreno donde se va a cultivar, por lo general la quinua puede desarrollarse en terrenos con climas adversos y suelos ácidos, sin embargo es importante preparación del suelo eliminando malezas, realizando procesos de arado y fertilización para que la semilla se desarrolle de manera óptima [6].

1.5. *Proceso de escarificación de la quinua*

El proceso de escarificación de la quinua se reduce básicamente a la remoción de saponinas, el cual es un compuesto natural que recubre a la semilla o el pericarpio de la quinua para protegerla de insectos, depredadores u otros elementos que podrían afectarla [9]. Pueden existir formas silvestres de la quinua con un concentrado máximo de saponina de 2,8%, sin embargo las exigencias actuales del mercado fijan un valor límite de 0,05%.

Es importante realizar este proceso ya que si no se eliminan las saponinas de la semilla estas pueden generar en el consumidor dolor estomacal, náuseas o problemas en la digestión [10]. Para el proceso de escarificación existen diferentes métodos los cuales los más usados son dos:

- **Método de lavado**

Este método consiste en colocar las semillas de quinua en agua y agitar manualmente para remover las saponinas, este proceso requiere cerca de cinco galones de agua por cada libra de quinua, es decir, se requiere un consumo excesivo de agua para este proceso lo cual puede traer consecuencias negativas respecto al uso y consumo de este recurso no renovable.

- **Método de remojo y enjuague**

El método de remojo y enjuague consiste en dejar las semillas reposar en agua durante un periodo prolongado para que las saponinas se disuelvan en agua, luego estas mismas se remojan y enjuagan varias veces hasta que se eliminen completamente las saponinas de la semilla. De la misma forma, este proceso requiere el consumo de mucha cantidad de agua para ejecutar el proceso.

- **Método de extracción vía seca**

Por otra parte, la extracción por vía seca implica la utilización de una máquina escarificadora, la cual utiliza tecnología avanzada que a través de procesos mecánicos como fricción controlada, roce o contacto con superficies hacen que las saponinas sean eliminadas de la semilla [11] como se observan en la figura 3.

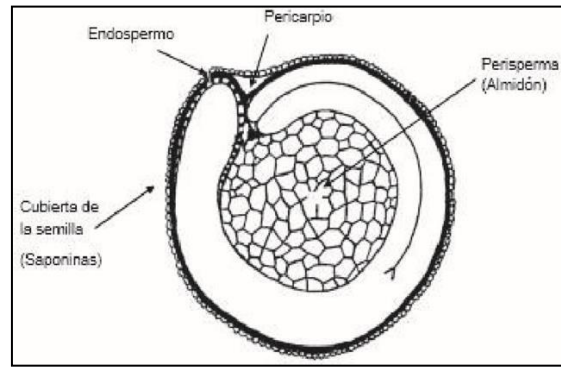


Figura 3. Sección longitudinal media del grano de quinua.
Fuente: [12].

1.6. Tecnología para el proceso de escarificación de la saponina

Los métodos convencionales de extracción de saponina, como el lavado, remojo o enjuague, presentan inconvenientes prácticos debido al elevado consumo de agua, lo que resulta en bajos rendimientos y dificultades para su implementación a gran escala.

En países como Perú, donde la producción anual de quinua supera las 50,000 toneladas [8], se han desarrollado máquinas escarificadoras capaces de procesar volúmenes significativos de este cultivo. Por ejemplo en [13] se describe una escarificadora con una capacidad de 68 kg, capaz de rendir hasta 925.1 kg/hora en alrededor de 4.41 minutos. Asimismo, en [14] propusieron una máquina escarificadora con una capacidad de 30 kg, la cual produce aproximadamente 11 kilos de quinua en 15 minutos. Por otra parte, según los ensayos de [15] la implementación de una máquina escarificadora permitió procesar alrededor de 54 kg de quinua en 15 minutos y 30 segundos, en comparación con los más de 30 minutos que requeriría el método tradicional, reduciendo el tiempo de operación del proceso de escarificado hasta en un 49%.

Como se puede evidenciar, la implementación de tecnología reflejado en la construcción de máquinas permite aumentar la eficiencia de los procesos de extracción de saponina, eliminar procesos lentos y laboriosos, mejorar la producción de quinua y sobre todo contribuir a la sostenibilidad y optimización de recursos naturales, económicos y humanos.

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

A continuación se propone un análisis de alternativas donde se elige el modelo general del proyecto en base a los objetivos planteados.

2.1. Análisis multicriterio

Se plantea un análisis multicriterio par elaborar una máquina compuesta de los siguientes elementos que procesará 40 kg de quinua en 60 minutos:

Tabla 1. Planteamiento de alternativas para la construcción de la máquina escarificadora de quinua.

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sensor Capacitivo de Humedad del Suelo V1.2	Método manual de observación directa	Sensor de humedad basado en resistencia
Sensores de densidad de quinua	Balanzas de precisión	Espectroscopía
Sensor de velocidad Encoder tipo U LM393	Sensores ópticos	Sensor de efecto hall
Arduino	Microcontroladores PIC	Placas de desarrollo específicas
Tacómetro digital	Encoder mecánico	Sensor óptico
Modulo Sensor Nivel de agua infrarrojo	Sensores de hidrostática	Sensores de nivel capacitivo
Motor 6 Hp	Motor de 4 Hp	Motor de 5 Hp
Soplador de aire industrial	Compresor de aire	Bombas de vacío

Tabla 2. Puntuación de criterios de las alternativas planteadas.

Criterios	Puntuación		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	9	4	5
Facilidad de operación	7	7	7
Existencia de materiales en el mercado	10	10	5
Facilidad de montaje	8	8	7
Seguridad	9	3	4
TOTAL	43	32	28

2.2. Determinación y selección de la alternativa

Tabla 3. Ponderación de criterios de las alternativas planteadas

CRITERIOS	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	0,4 9 3,6	0,4 4 1,6	0,4 5 2
Facilidad de operación	0,1 7 0,7	0,1 7 0,7	0,1 7 0,7
Existencia de materiales en el mercado	0,2 10 2	0,2 10 2	0,2 5 1
Facilidad de montaje	0,1 8 0,8	0,1 8 0,8	0,1 7 0,7
Seguridad	0,2 9 1,8	0,2 3 0,6	0,2 4 0,8
TOTAL	8,9	5,7	5,2

Se llevó a cabo una evaluación utilizando el método multicriterio [16] con el propósito de identificar la alternativa más óptima, considerando criterios clave como el costo, la facilidad de operación, la disponibilidad de materiales en el mercado nacional, la facilidad de montaje y la seguridad. Tras el análisis, se determinó que la alternativa 1 destacaba como la opción más idónea para la construcción de la máquina escarificadora de quinua.

A continuación, se detallan las ventajas y desventajas inherentes a los elementos de esta alternativa seleccionada y las otras descritas.

2.2.1. Descripción de la alternativa 1

Con la llegada de la cuarta revolución industrial muchas industrias han ido adaptándose a esta nueva era de la ciencia y tecnología y la agricultura no es la excepción, hoy en día existen muchas posibilidades de desarrollar productos utilizando elementos tecnológicos fiables que garantizan una mayor productividad [17] sin embargo, de forma paralela, se debe considerar la vulnerabilidad de los sectores agrícolas que carecen casi siempre acceso a crédito, formación académica, entre otros problemas de carácter social [18].

La alternativa 1 presenta componentes que pueden ser de fácil acceso para la comunidad de La Merced considerando el aspecto socioeconómico de los agricultores.

A continuación, se detalla cada uno de los elementos descritos:

Sensor Capacitivo de Humedad del Suelo V1.2

Ventajas

- Permite ajustar la velocidad y la profundidad de escarificación en función de las condiciones de humedad del suelo.
- Contribuye a evitar la escarificación en suelos muy secos o húmedos, lo que podría afectar negativamente la calidad de la escarificación.

Desventajas:

- Pueden ser costosos y requieren calibración y mantenimiento periódico.
- La ubicación de los sensores en la máquina debe ser estratégica para obtener datos representativos.

El sensor de humedad es pequeño y adaptable a la máquina como se observa en la figura 4.



Figura 4. Sensor de humedad

Fuente: [19]

Sensores de densidad de quinua

Ventajas:

- Ayudan a controlar la cantidad de semillas de quinua distribuidas durante el proceso de escarificación.
- Permiten ajustar la densidad de siembra según las necesidades específicas del cultivo de quinua.

Desventajas:

- Los sensores de densidad pueden ser sensibles a factores como la velocidad de operación de la máquina.

- Requieren equipos específicos y calibración precisa
- El sensor de densidad es construido con aleaciones metálicas que le permiten soportar condiciones de humedad, polvo, entre otros, tal cual se observa en la figura 5.



Figura 5. Sensor de densidad

Fuente: [20]

Sensor de velocidad Encoder tipo U LM393

Ventajas:

- Permite controlar y mantener una velocidad de operación constante y adecuada de la máquina.
- Contribuye a evitar la escarificación a velocidades excesivas que podrían dañar las semillas o reducir la calidad de la escarificación.

Desventajas:

- Requieren calibración y mantenimiento regular para mantener su precisión.
- No considera directamente las condiciones del suelo, por lo que es recomendable su combinación con otros sensores.

El sensor de velocidad tiene características que le permiten interconectar circuitos internos de la máquina, está construido sobre una placa como se observa en la figura 6.

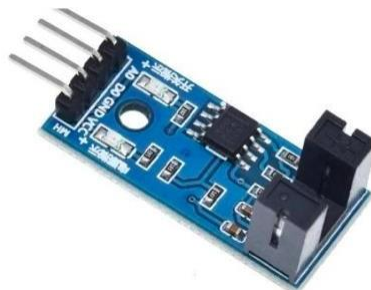


Figura 6. Sensor de velocidad

Fuente: [21]

Arduino

Ventajas:

- Los componentes de Arduino son relativamente económicos, lo que hace que sea una opción accesible para estudiantes, entusiastas y profesionales que desean aprender electrónica y programación.
- Arduino está diseñado para ser fácil de utilizar. La plataforma proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) con una interfaz gráfica tal como se observa en la figura 7.
- Arduino es altamente versátil y se puede utilizar para una amplia variedad de aplicaciones

Desventajas:

- Arduino está diseñado para proyectos sencillos y medianos
- A medida que los proyectos se vuelven más complejos, es posible que Arduino no sea la mejor opción.
- Carece de características avanzadas presentes en otras plataformas de desarrollo más costosas.



Figura 7. Componentes de un Arduino

Fuente: [22]

Tacómetro digital

Ventajas:

- Los tacómetros digitales suelen ser más precisos que los analógicos
- La pantalla digital facilita la lectura de las RPM en comparación con un tacómetro analógico tal como se observa en la figura 8.
- Muchos tacómetros digitales ofrecen funciones adicionales, como la capacidad de almacenar y mostrar el valor máximo, mínimo o promedio de RPM.
- Los tacómetros digitales se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones, desde automoción y control industrial hasta uso en laboratorios.
- Algunos tacómetros digitales permiten la conexión a sistemas de control o registro de datos

Desventajas:

- Los tacómetros digitales tienden a ser más costosos que sus contrapartes analógicas.
- Los tacómetros digitales requieren alimentación eléctrica (por batería o conexión eléctrica).
- Los tacómetros digitales necesitan calibración y mantenimiento periódicos para garantizar su precisión a lo largo del tiempo.
- los tacómetros digitales pueden fallar debido a problemas electrónicos



Figura 8. Representación visual de un Tacómetro digital

Fuente: [23]

Módulo Sensor Nivel de agua infrarrojo

Ventajas:

- Los sensores de nivel de agua infrarrojos funcionan sin necesidad de contacto físico con el agua.
- Estos sensores suelen ofrecer mediciones precisas del nivel de agua
- Pueden utilizarse con una variedad de líquidos, no solo agua, lo que los hace adecuados para diversas aplicaciones, como aceite, productos químicos, y más.
- Muchos de estos sensores están equipados con indicadores LED que muestran el estado de funcionamiento

Desventajas:

- Los sensores infrarrojos dependen de la transparencia o reflexión de la superficie del líquido para funcionar correctamente
- El rendimiento de los sensores infrarrojos puede verse afectado por factores ambientales como la temperatura y la humedad
- En comparación con algunos otros tipos de sensores de nivel de agua, los sensores infrarrojos pueden ser más costosos
- Aunque estos sensores son generalmente fiables, requieren un mantenimiento periódico para asegurar un funcionamiento correcto y preciso.

Motor 6 Hp

Ventajas:

- Un motor de 6 HP proporciona una cantidad razonable de potencia para muchas aplicaciones comunes
- Los motores eléctricos suelen ser eficientes en términos de conversión de energía eléctrica en trabajo mecánico
- Los motores de 6 HP tienden a ser relativamente compactos, lo que facilita su instalación en espacios limitados o en equipos
- Los motores de 6 HP suelen ser asequibles en términos de costo inicial en comparación con motores de mayor potencia.

Desventajas:

- Un motor de 6 HP puede ser insuficiente para aplicaciones que requieren una potencia considerable

- Los motores de 6 HP pueden no ser adecuados para aplicaciones que involucran cargas pesadas o de alta resistencia.
- Algunas aplicaciones pueden requerir un motor con un mayor torque de arranque
- A pesar de su eficiencia, los motores de 6 HP pueden consumir una cantidad significativa de energía en aplicaciones continuas

Soplador de aire industrial

Ventajas

- Los sopladores industriales pueden mover grandes volúmenes de aire a alta velocidad, lo que es esencial para mantener una circulación de aire eficiente en espacios industriales, eliminando humo, polvo, olores y calor no deseados
- Estos equipos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde la ventilación de espacios industriales hasta el transporte neumático de materiales a granel, lo que los hace muy versátiles
- Los sopladores industriales se utilizan comúnmente para enfriar maquinaria y equipos, evitando el sobrecalentamiento y prolongando la vida útil de las máquinas
- En la industria, los sopladores de aire son esenciales para secar productos, superficies o materiales de manera rápida y efectiva

Desventajas:

- Los sopladores industriales suelen tener un costo inicial significativo
- Muchos sopladores industriales generan niveles de ruido considerables
- Los sopladores requieren un mantenimiento regular para garantizar su funcionamiento óptimo
- Aunque son eficientes, los sopladores industriales aún pueden consumir una cantidad significativa de energía
- Los sopladores industriales tienden a ocupar espacio y pueden ser voluminosos

2.2.2. Descripción de la Alternativa 2

La alternativa 2 propone una composición de máquina con elementos y compuestos que combinan tecnología, dispositivos electrónicos y procesos manuales, este tipo de combinaciones puede tener implicaciones positivas desde el punto de vista de costos operativos y de mantenimiento ya que ciertos elementos tendría un coste mínimo para mantenerlos, sin embargo la implementación de otros dispositivos más sofisticados podría aumentar el costo de mantenimiento [24]; dispositivos tales como balanzas de precisión,

sensores ópticos, microcontroladores, encorder, sensores de presión y compresores encarecen el precio de la máquina y consecuentemente el precio de la producción.

A continuación, se detalla cada uno de los elementos descritos:

Método manual de observación directa

Ventajas:

- No requiere costos operativos altos
- Permite una intervención mucho más rápida en los procesos de supervisión
- Cualquier persona puede cumplir este rol previo a capacitación.

Desventajas:

- El operador debe estar capacitado y en buenas condiciones físicas y cognitivas (buen sentido de la vista, reflejos y capacidad de razonar).
- La eficacia del proceso es indirectamente proporcional al estado físico y mental del operador, es decir, la eficacia del proceso puede disminuir a mayor cansancio o fatiga física y mental del operador causado por extensas jornadas de trabajo.

Balanzas de precisión

Ventajas:

- Mayor precisión en el pesaje de la cantidad de quinua que ingresa a la tolva.
- Mejor eficiencia durante el proceso de escarificación.
- Control absoluto sobre la cantidad de grano que se procesa.

Desventajas:

- Costos de adquisición y de mantenimiento excesivamente altos.
- Repuestos de difícil acceso.

Sensores ópticos

Ventajas:

- Permiten una mayor precisión en la identificación de anomalías físicas asociadas a la quinua.
- Contribuye a mejorar la eficiencia del proceso y al control de calidad del producto.

Desventajas:

- Costos de adquisición altos.

- El mantenimiento es especializado por lo que se requiere de un técnico con conocimientos específicos, lo cual puede resultar en costos elevados de mantenimiento.

Microcontroladores PIC:

Ventajas:

- Permiten una automatización precisa del proceso.
- Mejora la eficiencia de todo el proceso de escarificación.
- Permite ahorrar recursos (tiempo, energía o materiales) según la programación del microcontrolador.

Desventajas:

- Costos de adquisición altos.
- Requieren un conocimiento específico en programación para su ensamblaje.

Encoder mecánico

Ventajas:

- Permite medir y controlar la velocidad de los elementos mecánicos de la máquina.
- Permite que todos los componentes mecánicos función adecuadamente garantizando así que cumplan su función y que duren en el tiempo.
- Presentan resistencia a la intemperie.

Desventajas:

- Requiere de técnicos especializados para su instalación y mantenimiento.
- Tiende a sufrir desgaste debido a la fricción mecánica por lo que su vida útil podría reducirse si llevan a cabo procesos continuos de escarificación.

Sensores presión hidrostática

Ventajas:

- Garantiza una medición directa y precisa de la presión durante el proceso de escarificación.
- Trabaja independientemente de factores ambientales externos como la humedad o temperatura.

Desventajas:

- Costos de adquisición y mantenimiento altos.
- Requieren de una cubierta especial adicional para protegerlos de la intemperie.

Motor de 4 Hp

Ventajas:

- Presenta una potencia suficiente para procesar la cantidad de quinua deseada en el presente proyecto.
- Accesible y disponible en el mercado local.

Desventajas:

- Genera ruido lo que podría traer afectaciones al entorno y sobre todo al operador.
- Requiere de mantenimiento regular para garantizar su funcionamiento adecuado.

Compresor de aire:

Ventajas:

- Genera un aire comprimido y limpio lo que garantiza la calidad del producto final.
- Garantiza la eficiencia energética durante el proceso lo que permite optimizar los recursos energéticos y económicos de la producción.

Desventajas:

- Requiere de mantenimiento regular y específico.
- Existe el riesgo de fuga de aire lo que podría reducir la eficacia del proceso de escarificación y por ende aumentar los costos operativos.

Carcasa protectora

• **Ventajas**

- Elaborada de placas de acero galvanizado.
- Permite una mayor protección de los componentes internos de la máquina.
- Resistente a la intemperie.

• **Desventajas:**

- Incrementa el peso de la máquina.
- Presenta complicaciones al traslado de la máquina debido al peso de la misma que deberá ser entre tres o más personas.

2.2.3. Descripción de la alternativa 3

La agricultura en la actualidad se encuentra frente a una transformación tecnológica sin precedentes, hoy en día se puede integrar la tecnología avanzada como la inteligencia artificial para mejorar los procesos de producción, monitorear las condiciones de las plantas, el estado del suelo, entre otros [25]. Es vital que los agricultores se adapten a estos cambios para mejorar su productividad, en esta alternativa se presenta la fabricación de la máquina escarificadora usando elementos tecnológicos importantes tales como sensores de humedad

basado en resistencia, espectroscopía, sensores de efecto hall, placas de desarrollo específicas, sensores ópticos, bombas de vacío, entre otros.

A continuación, se detalla cada uno de los elementos descritos:

Sensor de humedad basado en resistencia

Ventajas:

- El costo de adquisición es accesible.
- La implementación y mantenimiento es relativamente sencillo, no requiere conocimientos técnicos específicos.

Desventajas:

- Puede presentar imprecisiones en la medición debido a factores ambientales externos.
- Requiere de calibración permanente.

Espectroscopía

Ventajas:

- Mide de forma precisa variables como la humedad que pueden alterar el proceso.
- Puede detectar otras variables como la temperatura que pudieran influir en el proceso de escarificación.

Desventajas:

- El costo de adquisición es alto.
- El mantenimiento requiere de técnicos con conocimientos específicos.

Sensor de efecto hall

Ventajas:

- Permite medir de forma precisa el campo magnético.
- Presenta resistencia a la intemperie.

Desventajas:

- Costo de adquisición alto.
- Es susceptible a interferencias electromagnéticas.

Placas de desarrollo específicas

Ventajas:

- Permiten personalizar y mejorar los procesos de la máquina (automatización).
- Permiten integrar otros sensores que ayuden a mejorar el proceso como ahorro de recursos y tiempo.

Desventajas:

- Costo de adquisición alto de la placa.
- El mantenimiento es costoso debido a que requiere de conocimientos específicos en programación.

Sensor óptico

Ventajas:

- Permite medir de manera más precisa el tamaño del grano de la quinua.
- Permite mejorar el control de calidad del producto.

Desventajas:

- Costos de adquisición altos.
- Puede presentar problemas de medición si no está protegido de la intemperie.

Sensores de nivel capacitivo.

Ventajas:

- Permite una medición exacta del volumen de grano que ingresa a la tolva.
- Garantiza el volumen adecuado para el óptimo funcionamiento de la máquina.
- Es resistente a la intemperie.

Desventajas:

- Requiere de una calibración y ajuste periódico para su adecuado funcionamiento.

Motor de 5 Hp

Ventajas:

- La potencia del motor es suficiente para procesar la cantidad de quinua requerida en los objetivos del proyecto.
- Es accesible en el mercado local.

Desventajas:

- Requiere de mantenimiento periódico
- Podría generar un consumo alto de energía (combustible)



Figura 9. Motor Porten de 5 Hp
Fuente: [26]

Bombas de vacío

Ventajas:

- Garantizan la manipulación del grano de quinua gracias al proceso de vacío de la bomba.
- Permite mejorar la eficiencia del proceso de escarificación de quinua.

Desventajas:

- Costo de adquisición alto.
- Requiere de un sistema de filtrado adicional para evitar que impurezas contaminen la quinua.

Carcasa protectora

• Ventajas

- Elaborada de placas de acero galvanizado.
- Permite una mayor protección de los componentes internos de la máquina.
- Resistente a la intemperie.

• Desventajas:

- Incrementa el peso de la máquina.
- Presenta complicaciones al traslado de la máquina debido al peso de la misma que deberá ser entre tres o más personas.

Capítulo III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. *Diseño conceptual*

Los riesgos ergonómicos asociados a tareas con movimientos repetitivos son causales de afectaciones a la salud y calidad de vida de las personas, la Organización Internacional del Trabajo menciona que un 13.7% de los DALYs está asociado a riesgos ergonómicos causados por movimientos repetitivos, posturas incorrectas o entornos de trabajo que generen estrés físico en el cuerpo [27]. Las personas de la tercera edad son un segmento importante de nuestra población, según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) cerca del 10% de los habitantes del país pertenecen al grupo de Tercera Edad y desempeñan aún actividades productivas como en la agricultura, ganadería, entre otros [28].

La participación de este grupo de la población en la producción de quinua en la parroquia La Merced se lleva a cabo de forma manual, lo que implica una serie de tareas físicas que son exigentes, repetitivas y que demandan mucho tiempo de dedicación.

El propósito del diseño de la máquina escarificadora es transformar la dinámica laboral actual. Esta innovadora máquina tiene el potencial de liberar tiempo y reducir significativamente la carga laboral. El diseño inicial se centra en siete criterios claves destinados a mejorar la experiencia del usuario y facilitar el trabajo de estas personas de la tercera edad los cuales son descritos a continuación:

1. Facilidad de uso
2. Altura y accesibilidad
3. Seguridad operacional
4. Bajo mantenimiento
5. Reducción del esfuerzo físico y adaptabilidad
6. Indicadores visuales y auditivos
7. Instrucciones y capacitaciones

Tabla 4. Criterios para el diseño inicial de la máquina escarificadora

Criterio	Descripción
Facilidad de uso	La máquina ha sido diseñada con una interfaz intuitiva y sencilla, lo que la hace accesible para personas mayores, facilitando la comprensión y el uso de sus funciones de manera simple y ordenada
Altura y accesibilidad	Se instalará la máquina a una altura óptima para garantizar que todas las personas puedan acceder y utilizarla sin dificultades.
Seguridad operacional	El sistema de seguridad de la máquina ha sido diseñado con procedimientos sólidos para prevenir posibles accidentes durante su funcionamiento. Cada componente móvil que pueda representar un riesgo de atrapamiento o corte estará protegido por cubiertas o guardas de seguridad. Además, se incorporará un botón de parada de emergencia y señalización clara para una rápida identificación de peligros.
Bajo mantenimiento	La máquina está equipada con piezas que son fáciles de limpiar y desinfectar, lo que simplifica considerablemente el trabajo relacionado con su cuidado y mantenimiento
Reducción del esfuerzo físico y adaptabilidad	Los materiales y elementos que conforman la máquina permiten una reducción considerable del esfuerzo físico comparado con el método manual de escarificación de la quinoa, así mismo se prevé complementar los procesos con elementos como escaleras, cubetos o poleas que permitan facilitar el levantamiento de cargas. La máquina también tiene la capacidad de adaptarse a una variedad de habilidades y limitaciones físicas de personas mayores garantizando que incluso aquellas personas con movilidad reducida puedan usarla de manera segura y efectiva.
Indicadores visuales y auditivos	Los indicadores visuales y auditivos de funcionamiento son claros y comprensibles, empleando un lenguaje local (español), lo que facilitará a las personas mayores el monitoreo y la comprensión del estado de la máquina mientras está en funcionamiento.
Instrucciones y capacitaciones	Las instrucciones de uso de la máquina estarán ubicadas en un lugar visible, redactadas en español con una tipografía clara y comprensible. Esto permitirá comprender fácilmente el funcionamiento de la máquina y evitar posibles errores durante su uso.

Fuente: [14]

3.2. *Análisis de requerimientos*

3.3. *Requerimientos técnicos.* -

La máquina es diseñada a partir de requerimientos técnicos específicos relacionados con la capacidad de producción de las personas de la tercera edad de La Merced, se ha establecido una capacidad de producción de hasta 40 kilos teniendo en cuenta el volumen de quinua que producen los agricultores.

Requerimientos operativos. -

La máquina requiere de ciertas condiciones operativas para su óptimo funcionamiento los cuales son descritos a continuación:

Tabla 5. Requerimientos operativos de la máquina escarificadora.

Requerimiento operativo	Detalle
Capacidad de combustible	de 946 ml de gasolina (motor)
Capacidad de operación	40kg/h
Temperatura del motor	80-100 grados centígrados.
Humedad relativa	40 - 60%

3.4. *Diseño y modelado.* -

El diseño de la máquina se llevó a cabo utilizando software SolidWorks, el diseño inicial requiere de la creación de un modelo conceptual que incorporó los requisitos operativos, como la capacidad de carga y producción. Cada componente, desde la tolva hasta las poleas, varillas, piezas y tubos, fue meticulosamente diseñado como se observa en la figura 10 considerando propiedades geométricas, dimensiones y otros detalles relevantes para garantizar un funcionamiento óptimo.



Figura 10. Modelación de la máquina realizada en el software SolidWorks.

Elaboración: Los Autores

3.5. Selección de materiales y componentes

Los materiales y componentes fueron elegidos bajo el criterio costo-beneficio considerando los recursos que se tienen en el presente estudio y en la comunidad de La Merced, en la figura 11 se observa la parte de la preparación de los materiales que componen la máquina.

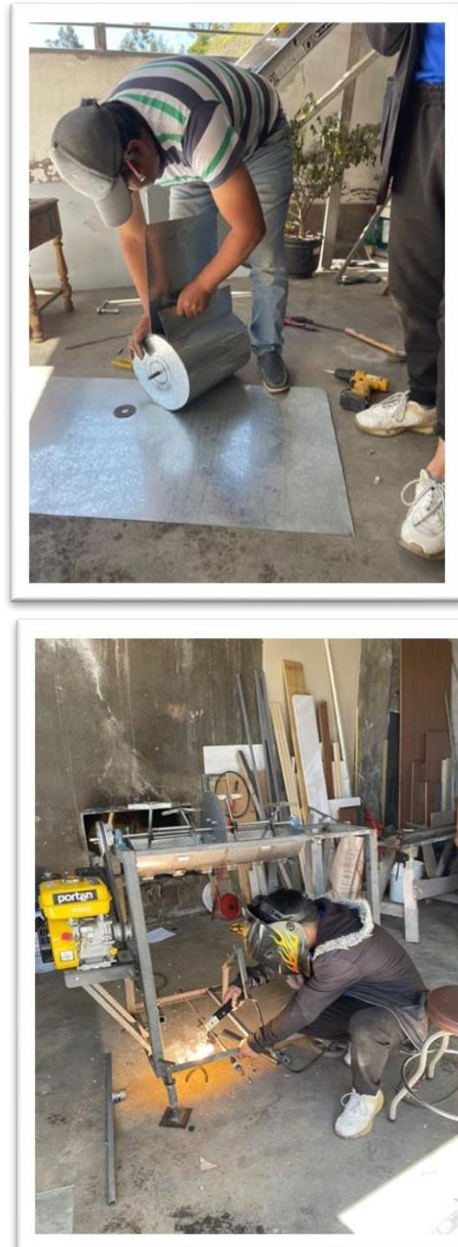




Figura 11. Selección y preparación de los materiales y componentes para fabricar la máquina

A continuación, en la tabla 6 se describen los elementos y materiales usados para la elaboración de la máquina.

Tabla 6. Materiales y componentes de la máquina

Foto	Material	Especificación	Detalle
	Plancha de acero INOX. AISI304		Se lo utiliza en el cilindro, en la cubierta de la tolva de la máquina
	Estructura metálica: Tubo cuadrado mecánico: e=40 mm	Son perfiles de acero al carbono, laminado en frío. Este producto es fácil de soldar, y tiene una facilidad de corte, moldeado y mecanizado moderados, ya que se trata de un material muy denso.	Se utilizó como parte de la estructura de la máquina
	Tubo rectangular estructural: B=20, H=40, e=1.4	Los tubos estructurales rectangular hierro presentan mejoras significativas que redundan en beneficio del usuario, tales como el ahorro de soldaduras para hacer cajas, facilidad de instalación y ahorros significativos en tiempo.	Se utilizó como parte de la estructura de la máquina
	Perfil estructural ángulo "L": AL 20X2	Son perfiles angulares estructurales, que forman un ángulo recto de 90 grados de alas iguales, de acero al carbono, laminado en caliente, usados ampliamente en la construcción de estructuras, celosías, vigas, columnas, arcos, diagramas, cerchas, estanterías, etc.	
	Varilla Inoxidable: VRL 1/2	Son las más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, este elemento ayuda a hacer estable esta estructura incluso a temperatura ambiente.	Para la sujeción del tambor de la máquina
	CHUMACERA		Es de 1/2 plga donde atraviesa la varilla inoxidable Para el movimiento del cilindro

	<p>Motor estacionario</p>	<p>Un motor de cuatro tiempos es un motor de combustión interna alternativo tanto de ciclo Otto como ciclo del diésel, que precisa cuatro carreras del pistón o émbolo para completar el ciclo termodinámico de combustión.</p>	<p>Para el arranque de la máquina</p>
	<p>Poleas de Aluminio</p>	<p>Fabricadas en aluminio fundido. Para transmitir el movimiento de rotación o, si las poleas tienen un diámetro diferente</p>	<p>La polea doble de 3x2 para el eje del motor Polea unitaria de 5x1 para la transmisión de la varilla inoxidable</p>
<p>Fuente: [29] (imágenes referenciales)</p>			

3.6. Cálculos de capacidad de producción y eficiencia de la máquina

Determinar la capacidad de producción de la máquina y su eficiencia permiten una mejor toma de decisiones en la planificación de la producción y contribuye al desarrollo del proyecto dentro la comunidad La Merced.

Para el cálculo de la capacidad de producción se ha tomado la siguiente ecuación [30]:

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

Considerando los objetivos del presente estudio, las pruebas piloto efectuadas, así como los insumos y recursos disponibles, se ha considerado lo siguiente:

Capacidad de producción: (2 kg/ciclo)(20 ciclos/hora)

Capacidad de producción: 40 kg/h

3.7. Eficiencia de la máquina

Luego de efectuar algunas prácticas sobre el prototipo instalado se ha medido la eficiencia de la máquina escarificadora.

En donde:

$$\text{Eficiencia de la máquina: } \frac{39 \text{ kg/hora}}{40 \text{ kg/hora}} \times 100 \text{ (2)}$$

Eficiencia de la máquina: 97%

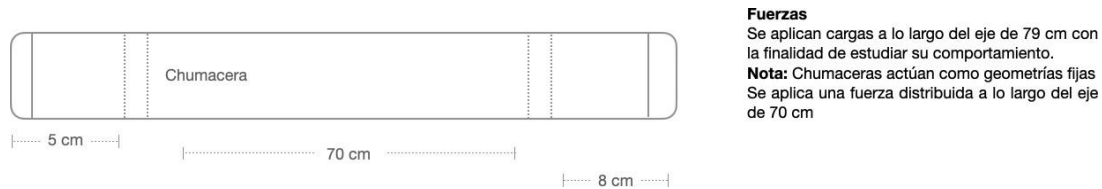
La eficiencia de la máquina luego de las pruebas efectuadas fue del 97% lo cual representa una cantidad importante dentro de los procesos de producción de la comunidad.

Es importante mencionar que estas pruebas fueron efectuadas en condiciones normales de dotación de combustible al motor, así como de ingreso constante de quinua en la tolva en cada ciclo de trabajo.

3.8. Cálculos de fuerzas en el eje del cilindro

El cálculo de fuerzas en el eje de un cilindro permite comprender y predecir cómo se comportará el cilindro de la máquina bajo diversas cargas y fuerzas aplicadas, esto permitirá tener una mejor perspectiva respecto a la eficiencia de la máquina escarificadora.

Material: AISI 304



La ecuación utilizada para el cálculo de la fuerza fue la siguiente:

$$\text{Fuerza (Kgf)} = \text{Masa (kg)} \times \text{Aceleración } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) [28] \quad (3)$$

A continuación, se presentan los cálculos de dichas variables:

Estimación para 5 kg:

$$\text{Fuerza (Kgf)} = \text{Masa (kg)} \times \text{Aceleración (m/s}^2)$$

$$\text{Fuerza (Kgf)} = 5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Fuerza (Kgf)} = 49,03 \text{ N}$$

Estimación para 50 kg:

$$\text{Fuerza (Kgf)} = \text{Masa (kg)} \times \text{Aceleración (m/s}^2)$$

$$\text{Fuerza (Kgf)} = 50 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Fuerza (Kgf)} = 490,33 \text{ N}$$

Estimación para 100 kg:

$$\text{Fuerza (Kgf)} = \text{Masa (kg)} \times \text{Aceleración (m/s}^2)$$

$$\text{Fuerza (Kgf)} = 100 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Fuerza (Kgf)} = 981 \text{ N}$$

Estimación de 5kg:

- vonMises

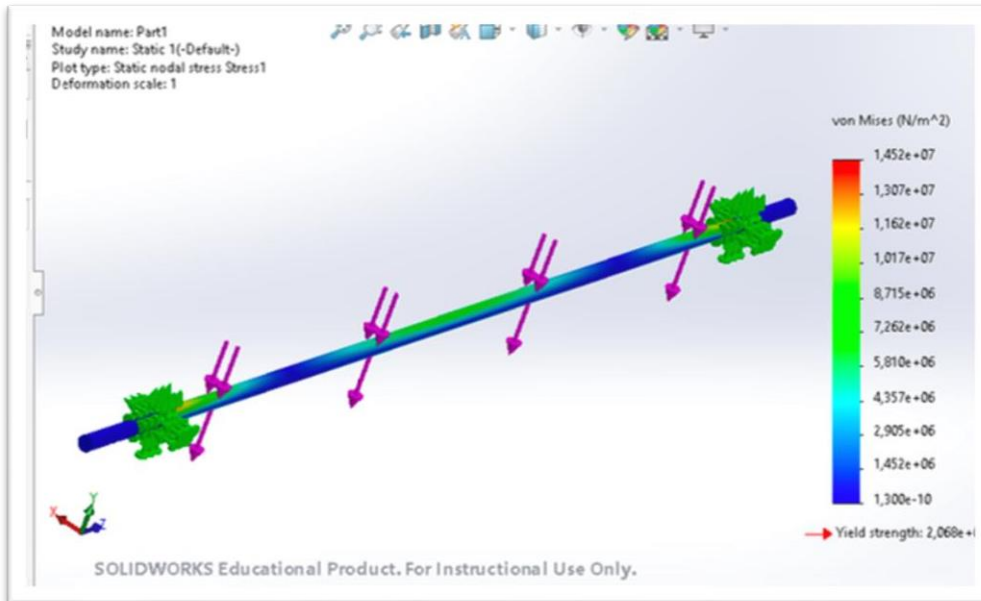


Figura 12. Estimación de desplazamiento para carga de 5k en el software SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Desplazamiento

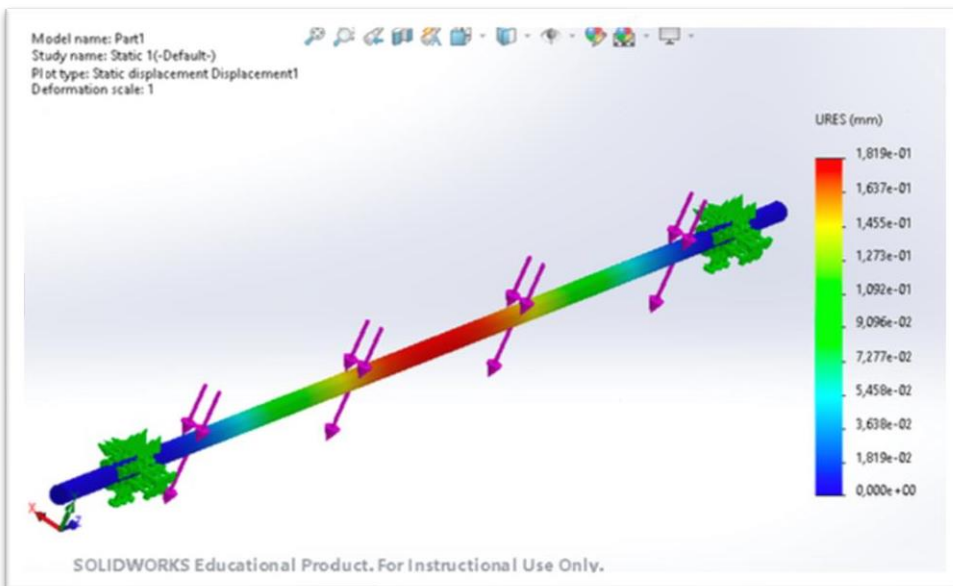


Figura 13. Estimación de desplazamiento para carga de 5k en el software SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Con este análisis se observa que aplicando una carga distribuida de 5 kg al eje sufre una pequeña alteración, casi inexistente que no afecta al correcto funcionamiento.

Estimación de 50 kg

- vonMises

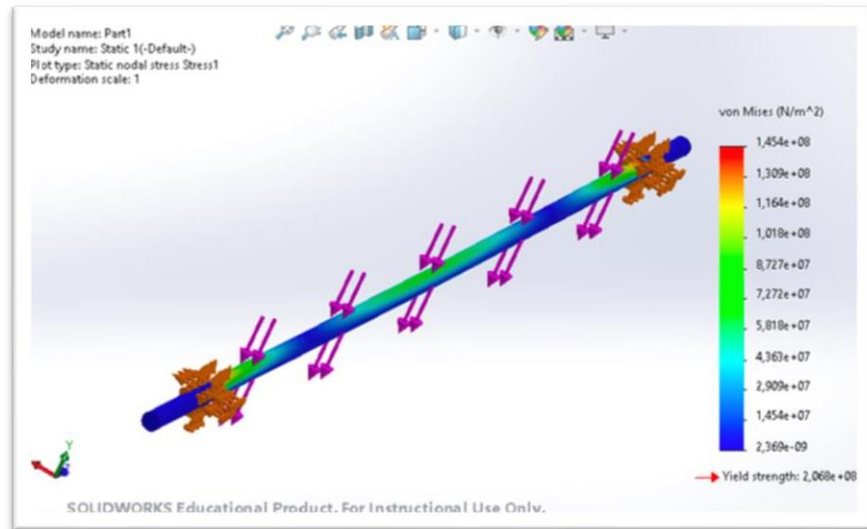


Figura 14. Estimación de desplazamiento para carga de 50k en el software SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Desplazamiento

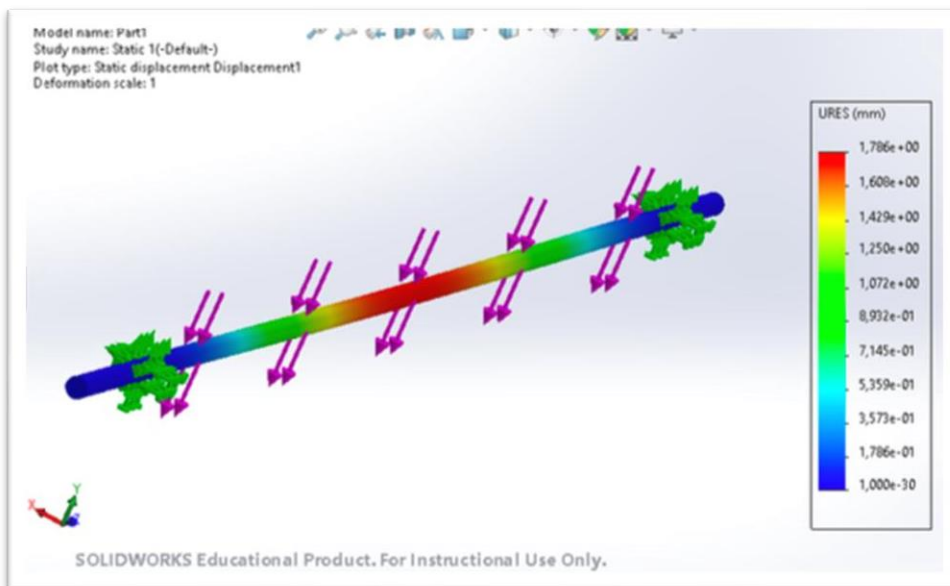


Figura 15. Estimación de desplazamiento para carga de 50k en el software SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Con este análisis se observa que aplicando una carga distribuida de 50 kg al eje sufre una alteración, que podría afectar al movimiento rotatorio del eje, así conllevaría que afecte al correcto funcionamiento de pelado de la Quinua.

Estimación 100 kg

- vonMises

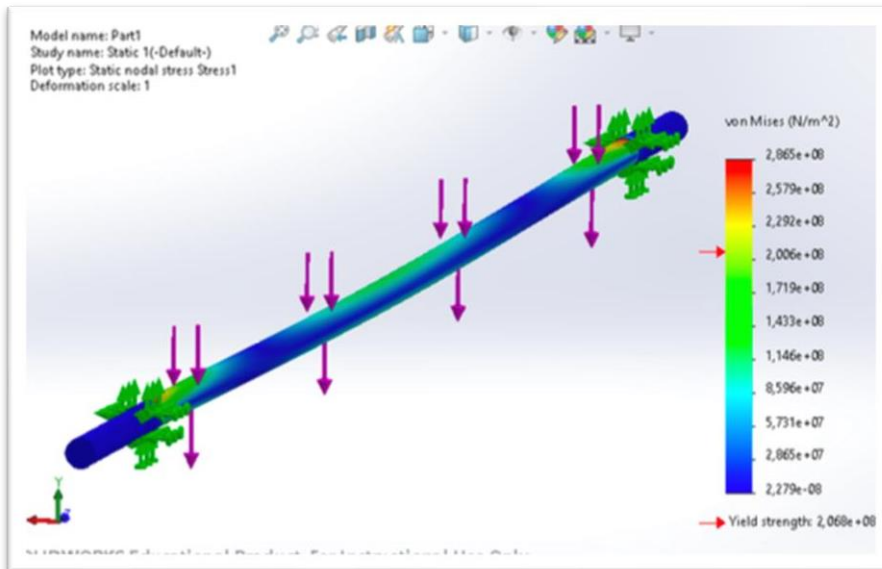


Figura 16. Estimación de desplazamiento para carga de 100k en el software SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Desplazamiento

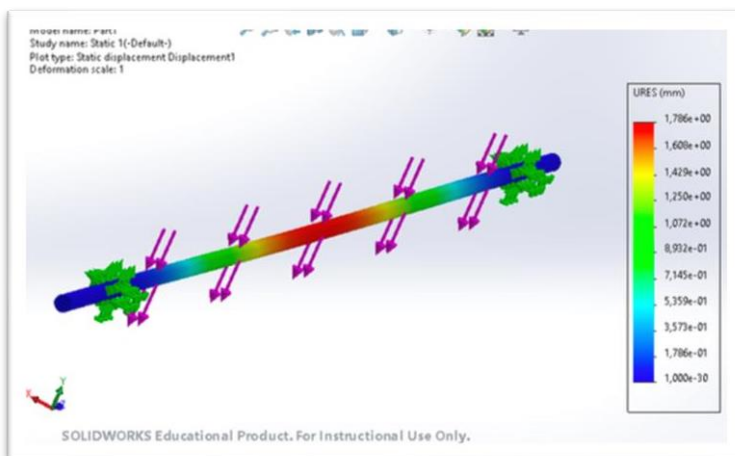


Figura 17. Estimación de desplazamiento para carga de 100k en el software SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Con este análisis se observa que aplicando una carga distribuida de 100 kg al eje sufre una alteración considerable, ya que directamente este eje se doblaría y por ende este tendería a moverse de una manera abrupta, por ende, se analiza que el eje soportaría cargas menores a 50 kg distribuidos durante los 70 cm de largo.

3.9. Cálculo para determinar las transmisiones de la polea

- Polea conductora: 3'' = 76,2 mm
- Polea conducida: 5'' = 127 mm

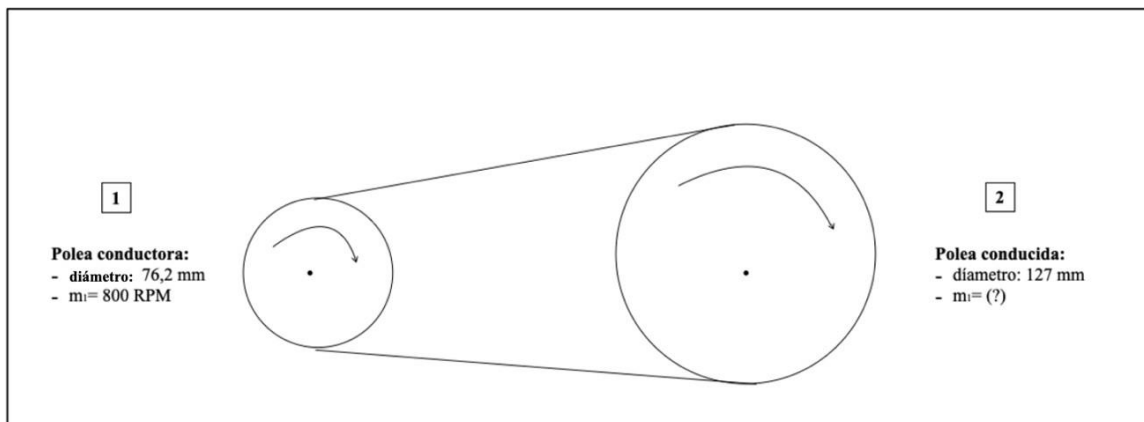


Figura 18. Representación de las transmisiones de polea.
Elaboración: Los Autores

- a) Si a la matriz está conectada al motor que gira 800 RPM, ¿Cuántas vueltas dará el eje del tambo junto a las paletas?

$$(m_1)(d_1) = (m_2) \frac{(d_2)}{\text{velocidad de transmisión}} [28] (4)$$

Datos

$$d_1 = 76,2 \text{ mm}$$

$$d_2 = 127 \text{ mm}$$

$$m_1 = 800 \text{ RPM}$$

$$m_2 = (?)$$

$$(m_2) = \frac{800 \text{ RPM} \times 76,2 \text{ mm}}{127 \text{ mm}}$$

$$(m_2) = 480 \text{ RPM}$$

Conclusión: las paletas dentro del tambor trabajarán a 480 RPM nominal, según lo descrito en [31].

Longitud de la correa:

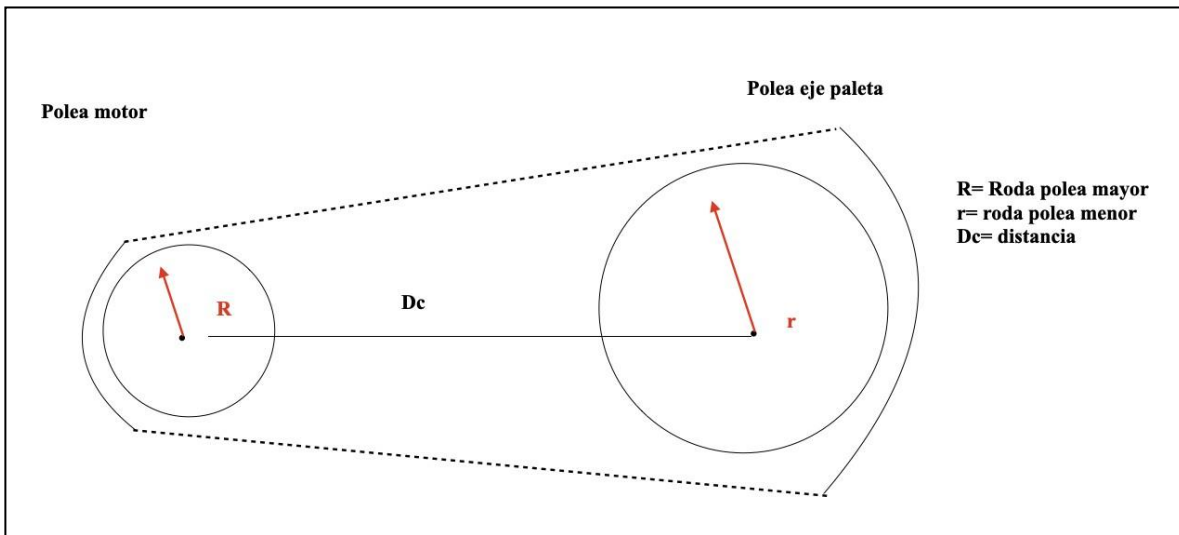


Figura 19. Representación de la longitud de correa en las poleas de la máquina.
Elaboración: Los Autores

$$\text{Longitud de la correa (Lc)} = \pi(R + r) + \frac{(R-r)^2}{Dc} + 2Dc \quad (5)$$

$$Lc = 1021,02 \text{ mm}$$

Banda requerida: A-39

Conclusiones del cálculo de las transmisiones de polea:

De acuerdo con los cálculos obtenidos, la elección en la adquisición de una banda a-39 fue basada en una longitud de correa de 1036.98. Según la tabla, la referencia de la correa a-39 cumple con los requisitos necesarios, ya que se encuentra dentro del rango deseado.

Cálculo de la transmisión para el ventilador

- Polea conductora: 3'' = 76,2 mm
- Polea conducida: 2'' = 50,8 mm

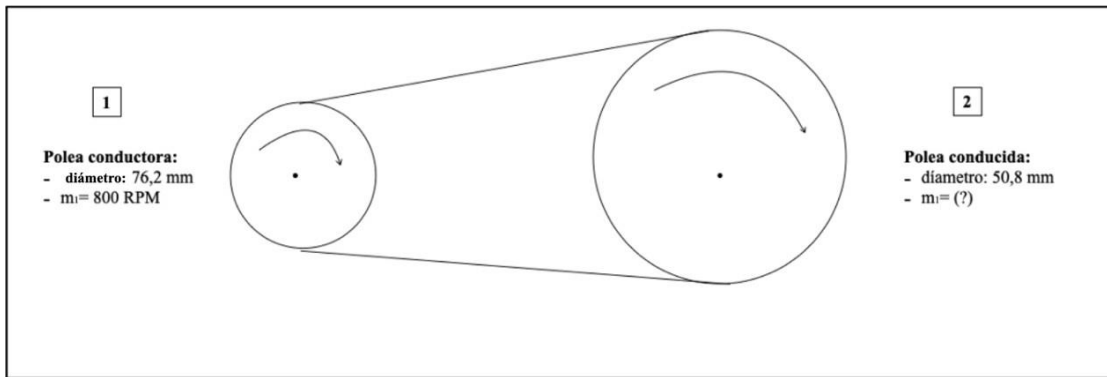


Figura 20. Representación de la transmisión para el ventilador.
Elaboración: Los Autores

b) Si a la matriz está conectada al motor que gira 800 RPM, ¿Cuántas vueltas dará el eje del tambor junto a las paletas?

$$(m_1)(d_1) = (m_2) \frac{(d_2)}{\text{velocidad de transmisión}} \quad [18] \quad (6)$$

Datos

$$d_1 = 76,2 \text{ mm}$$

$$d_2 = 50,8 \text{ mm}$$

$$m_1 = 800 \text{ RPM}$$

$$m_2 = (?)$$

$$(m_2) = \frac{800 \text{ RPM} \times 76,2 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}}$$

$$(m_2) = 1200 \text{ RPM}$$

Conclusión: las paletas dentro del tambor trabajarán a 1200 RPM nominal.

Longitud de correa:

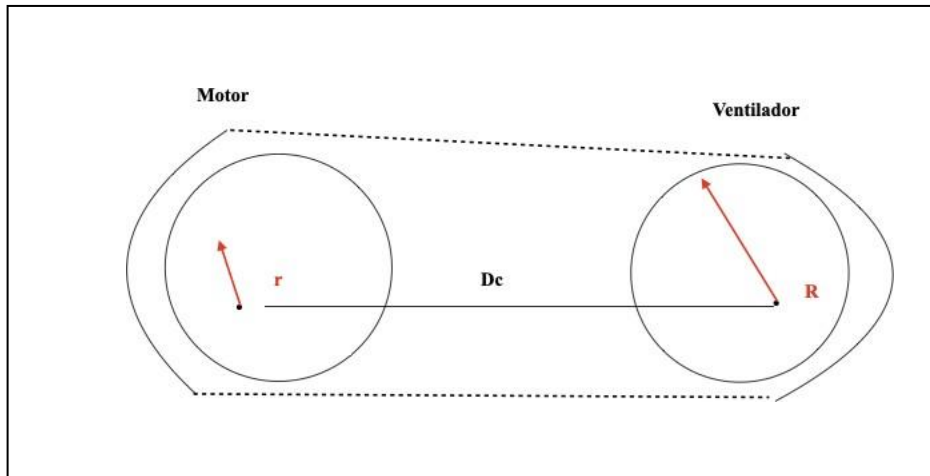


Figura 21. Representación de la longitud de correa en las poleas de la máquina.
Elaboración: Los Autores

$$\text{Longitud de la correa (Lc)} = \pi(R + r) + \frac{(R-r)^2}{Dc} + 2Dc \quad [32] \quad (7)$$

R= 25,4 mm

r= 38,1 mm

Dc= 270 mm

Lc = 740,08 mm

Banda requerida: A-28

Conclusiones del cálculo de las transmisiones para el ventilador

De acuerdo con los cálculos realizados, la elección en la adquisición de una banda a-28 se basó en su idoneidad para cumplir con los requisitos mecánicos del proyecto según se muestra en la figura 22.

Figura 22. Valores de requerimientos técnicos de la banda.

Ref. de la correa	Longitud Interior (mm)	Longitud Primitiva (mm)	Ref. de la correa	Longitud Interior (mm)	Longitud Primitiva (mm)	Ref. de la correa	Longitud Interior (mm)	Longitud Primitiva (mm)	Ref. de la correa	Longitud Interior (mm)	Longitud Primitiva (mm)	Ref. de la correa	Longitud Interior (mm)	Longitud Primitiva (mm)
A 15	381	417	A 36	914	950	A 59	1500	1535	A 95	2413	2449	A 148	3750	3795
A 16	410	442	A 36,5	925	963	A 60	1525	1560	A 96	2438	2474	A 150	3810	3846
A 16,5	420	455	A 37	940	976	A 61	1550	1585	A 97	2464	2500	A 152	3880	3897
A 17	435	468	A 37,5	950	989	A 62	1575	1611	A 98	2500	2525	A 154	3910	3948
A 17,5	450	481	A 38	965	1001	A 63	1600	1636	A 99	2520	2551	A 156	3960	3998
A 18	457	493	A 38,5	975	1014	A 64	1625	1662	A 100	2540	2576	A 158	4000	4049
A 18,5	470	506	A 39	990	1027	A 65	1650	1687	A 101	2585	2601	A 160	4084	4100
A 19	480	519	A 39,5	1000	1039	A 66	1676	1712	A 102	2591	2627	A 161	4100	4125
A 19,5	500	531	A 40	1016	1052	A 67	1700	1738	A 103	2615	2652	A 162	4115	4151
A 20	510	544	A 40,5	1030	1065	A 68	1725	1763	A 104	2650	2678	A 163	4140	4176
A 20,5	520	557	A 41	1041	1077	A 69	1750	1789	A 105	2667	2703	A 165	4200	4227
A 21	535	569	A 41,5	1050	1090	A 70	1775	1814	A 106	2700	2728	A 167	4250	4278
A 21,5	545	582	A 42	1065	1103	A 71	1800	1839	A 107	2725	2754	A 172	4370	4405
A 22	560	595	A 42,5	1080	1116	A 72	1830	1865	A 108	2750	2779	A 173	4394	4430
A 22,5	575	608	A 43	1090	1128	A 73	1854	1890	A 109	2775	2805	A 174	4420	4456
A 23	585	620	A 43,5	1105	1141	A 74	1880	1916	A 110	2800	2830	A 175	4450	4481
A 23,5	600	633	A 44	1120	1154	A 75	1900	1941	A 111	2819	2855	A 176	4470	4506
A 24	610	646	A 44,5	1130	1166	A 76	1930	1966	A 112	2845	2881	A 177	4500	4532
A 24,5	620	658	A 45	1143	1179	A 77	1956	1992	A 113	2870	2906	A 180	4572	4608
A 25	635	671	A 45,5	1155	1192	A 78	1980	2017	A 114	2900	2932	A 181	4600	4633
A 25,5	650	684	A 46	1168	1204	A 79	2000	2043	A 115	2920	2957	A 187	4750	4786
A 26	660	696	A 46,5	1180	1217	A 80	2032	2068	A 116	2950	2982	A 195	4950	4989
A 26,5	675	709	A 47	1190	1230	A 81	2060	2093	A 117	2965	3008	A 196	4980	5014
A 27	686	722	A 47,5	1200	1243	A 82	2083	2119	A 118	3000	3033	A 197	5000	5040
A 27,5	700	735	A 48	1220	1255	A 82,5	2095	2132	A 119	3025	3059	A 198	5030	5065
A 28	710	747	A 48,5	1230	1268	A 83	2100	2144	A 120	3050	3084	A 199	5050	5091
A 28,5	725	760	A 49	1250	1281	A 83,5	2120	2157	A 122	3100	3135	A 200	5080	5116
A 29	735	773	A 49,5	1260	1293	A 84	2134	2170	A 124	3150	3186	A 208	5300	5319
A 29,5	750	785	A 50	1270	1306	A 84,5	2150	2182	A 126	3200	3236	A 210	5330	5370
A 30	760	798	A 50,5	1285	1319	A 85	2160	2195	A 128	3250	3287	A 220	5500	5524
A 30,5	775	811	A 51	1300	1331	A 85,5	2170	2208	A 130	3302	3338	A 225	5715	5751
A 31	790	823	A 51,5	1310	1344	A 86	2184	2220	A 132	3350	3389	A 236	6000	6030
A 31,5	800	836	A 52	1320	1357	A 86,5	2200	2233	A 134	3400	3440	A 240	6100	6132
A 32	815	849	A 52,5	1335	1370	A 87	2210	2246	A 136	3450	3490	A 242	6150	6183
A 32,5	825	862	A 53	1350	1382	A 88	2240	2271	A 138	3500	3541	A 248	6300	6335
A 33	840	874	A 53,5	1360	1395	A 89	2260	2297	A 140	3550	3592	A 254	6700	6742
A 33,5	850	887	A 54	1375	1408	A 90	2288	2322	A 142	3600	3643	A 276	7000	7048
A 34	865	900	A 55	1400	1433	A 91	2311	2347	A 143	3630	3668	A 290	7100	7148
A 34,5	875	912	A 56	1422	1458	A 92	2337	2373	A 144	3658	3694	A 295	7500	7529
A 35	890	925	A 57	1450	1484	A 93	2360	2398	A 145	3683	3719	A 315	8000	8037
A 35,5	900	938	A 58	1475	1509	A 94	2388	2424	A 146	3700	3744			

Fuente: [31]

Transmisión por correas:

Para la elección de la correa se revisó el manual de Intermecc [33].

Cálculos diseño de viga en MDSOLID

Diseño de viga

Datos:

Peso total polea 5''= 650g

Peso total polea 3''= 580g

Peso total polea 2''= 560g

Peso total motor 18kg = 18000g

Peso total estructura= 97kg 97000g

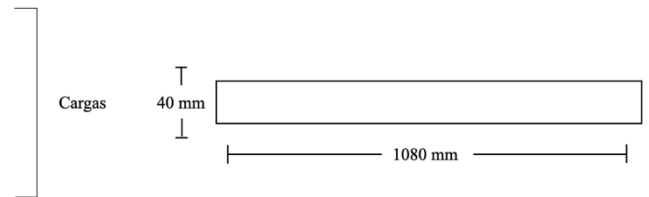
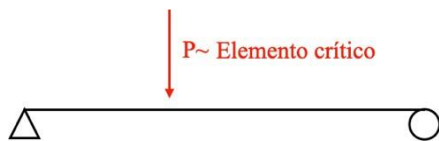


Figura 23. Esquema del diseño de viga

Elaboración: Los Autores



$$P = \frac{Scargas}{2} [34] \quad (8)$$

$$P = \frac{97000}{2}$$

$$P = 48500g @106,9242 lb$$

$$P = 106,9242 lb$$

Datos:

Largo total del eje= 1080 mm

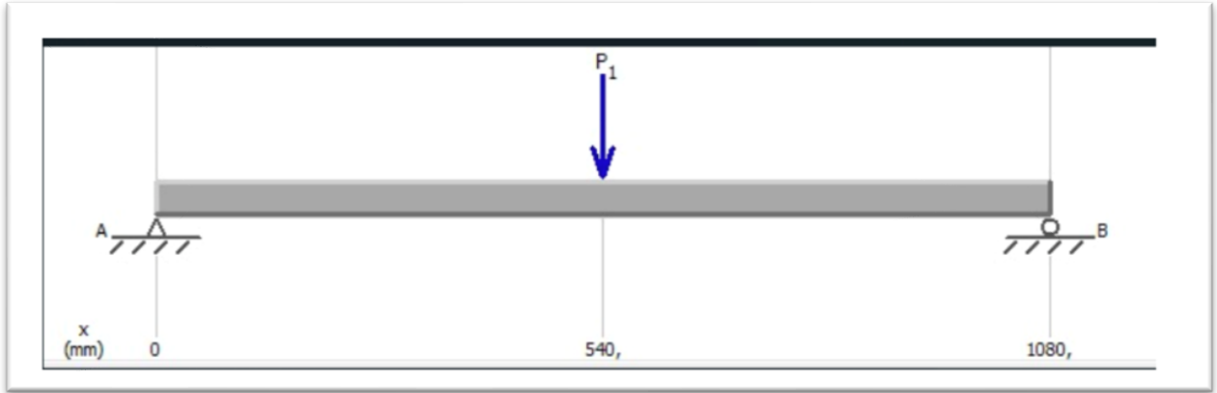


Figura 24. Diseño de Viga
Elaboración: Los Autores

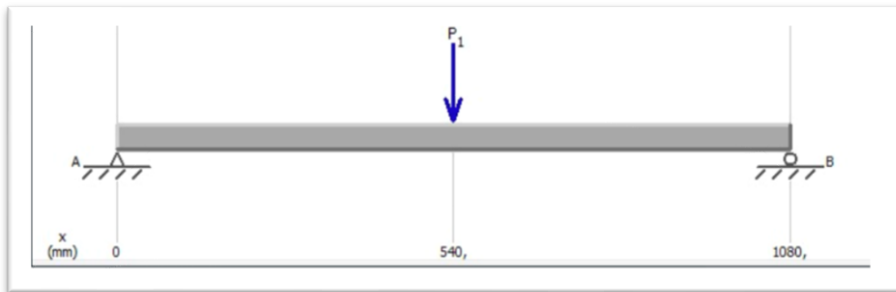


Figura 25. Viga con la carga ya ingresada en MDSOLID
Elaboración: Los Autores

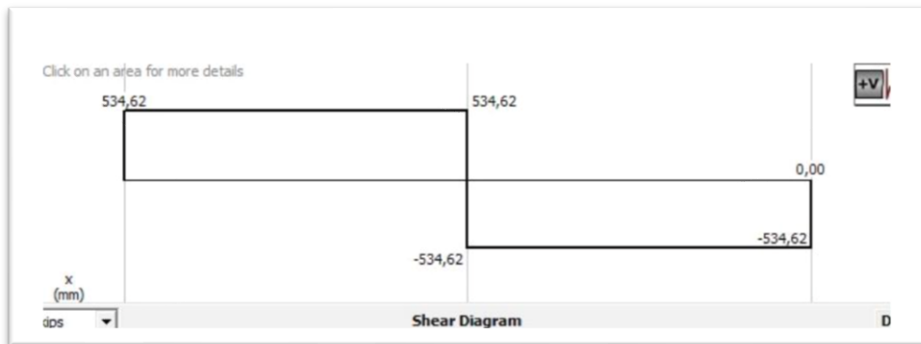


Figura 26. Diagrama de fuerza de corte
Elaboración: Los Autores

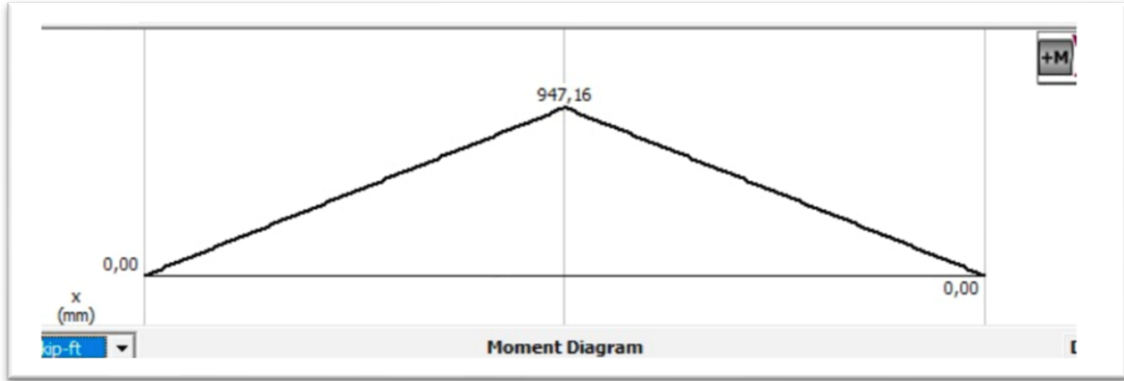


Figura 27. Diagrama de momento, alrededor de la viga.
Elaboración: Los Autores

3.10. Análisis estático de la viga en SOLIDWORKS

Dentro del cilindro se encuentra una viga con un diámetro específico, y esta viga experimentará una fuerza inferior a 10 lbf. Se llevará a cabo una comparativa para identificar el punto en el que la viga deja de ser segura cuando se somete a una fuerza de 10 lbf.

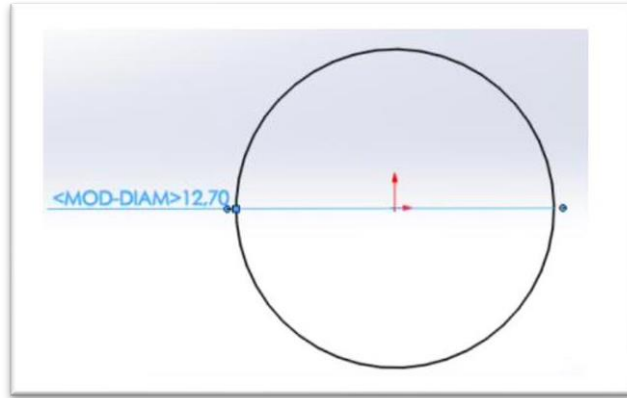


Figura 28. Representación del cilindro en SolidWorks.
Elaboración: Los Autores

Ante esto, estableceremos 2 puntos fijos en las 2 esquinas del eje a una distancia de 5 cm en ambas esquinas.

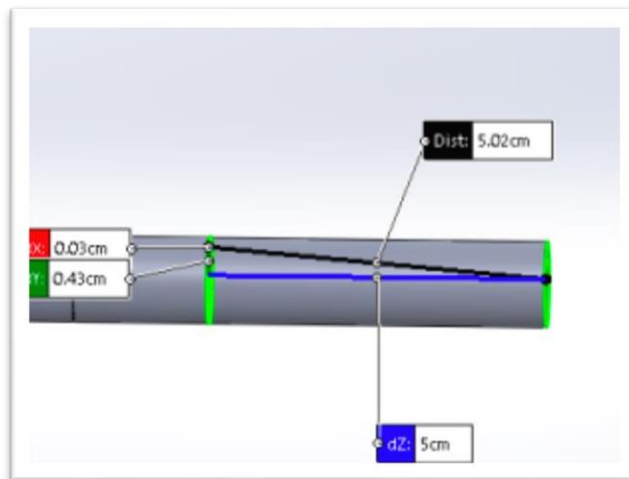
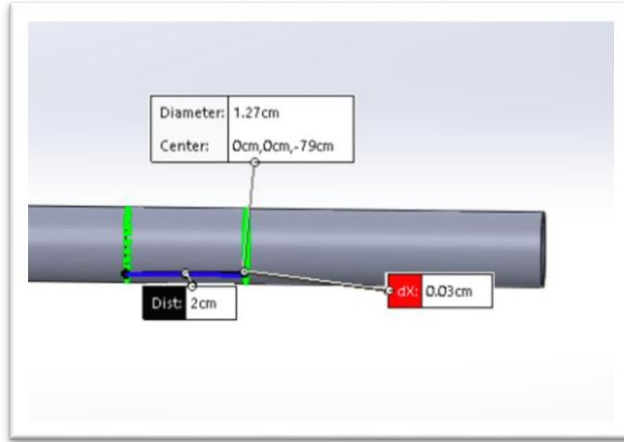


Figura 29. Representación de los puntos fijos de las vigas.
Elaboración: Los Autores

Seguido de esto, estableceremos una medida de 2 cm que simularán la longitud de la chumacera y que, dentro de esta distancia se establecerá la “Geometría Fija” para la Simulación Estática dentro de software Solidworks.



Elaboración: Los Autores

Dentro del “Estudio estático” se aplicó una carga de 106.9 lbf como se observa en la figura 30 (Flechas) de manera que este simule cuan resistente puede ser la viga a esta Fuerza Aplicada.

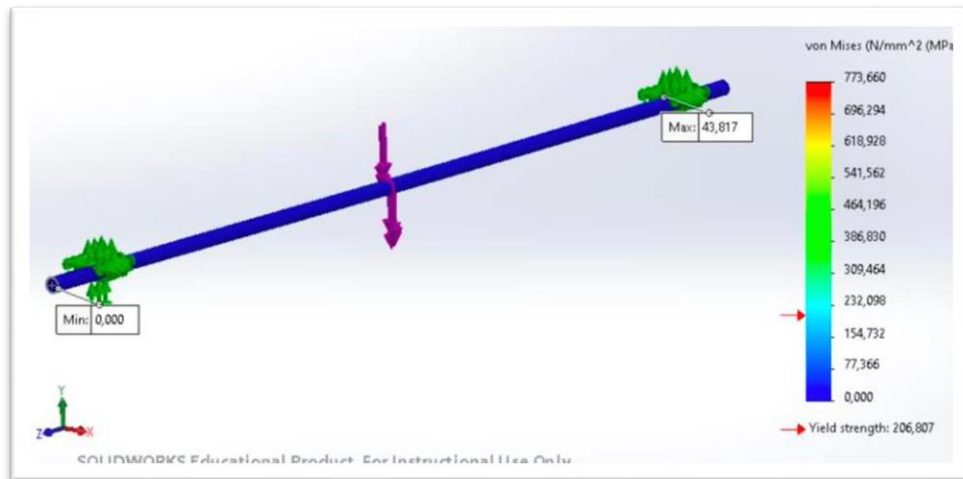


Figura 30. Simulación de resistencia de la viga
Elaboración: Los Autores

Finalmente, se observa que el límite elástico para la viga es de 206.807 MPa según la Teoría de von Mises. A través de este análisis, se concluye que la viga no se encuentra cercana a la deformación ni a la ruptura con la fuerza actualmente aplicada. Esto sugiere que la viga es completamente adecuada para la construcción de la máquina escarificadora de quinua. Se establece un punto mínimo de 0 y un punto máximo de 43.817.

3.11. Factor de seguridad

Se realizó el cálculo del factor de seguridad el cual permite garantizar que la estructura y los componentes de la máquina sean lo suficientemente seguros para el uso final.

Ecuación (9)

$$F_s = \frac{\text{limite elástico}}{\text{O diseño}} [32]$$

$$F_s = \frac{206,807}{43,817}$$

$$F_s = 4,7$$

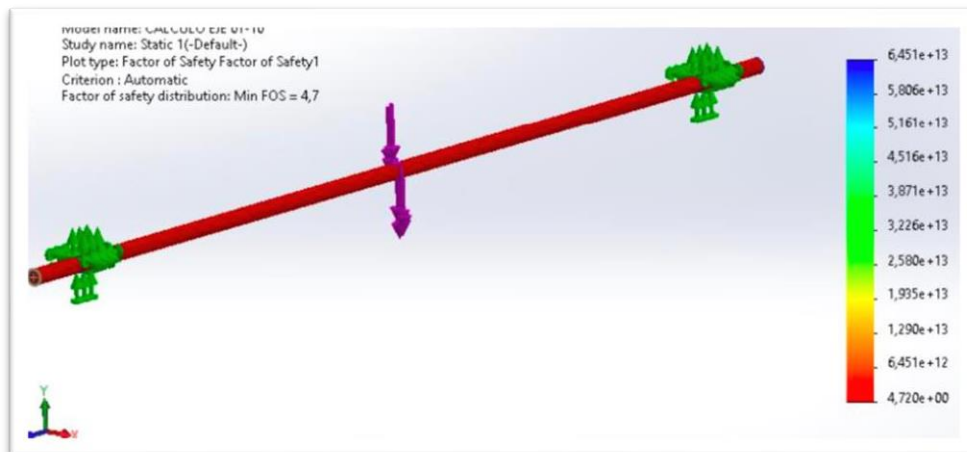


Figura 31. Modelado digital del factor de seguridad
Elaboración: Los Autores

Es relevante destacar que, a partir de estos cálculos, se puede concluir que la viga no se encuentra próxima a la deformación ni a la ruptura con la fuerza actualmente aplicada. Se deduce, en consecuencia, que la viga es plenamente adecuada para la construcción de la máquina escarificadora de quina. Con un valor de 4.7, se indica que el componente no experimentará fallos, incluso en caso de superar la carga real.

3.12. *Análisis estático de la estructura*

El análisis estático planteado estableció fuerzas en las vigas que se muestran en la figura 32, el valor de la fuerza es de 100 kgf (peso de la estructura) en cada una de las vigas distribuidas a lo largo de la estructura, el valor asignado se toma de referencia en virtud de que dentro de estas vigas no se sobrepasará esas cargas en la práctica real.

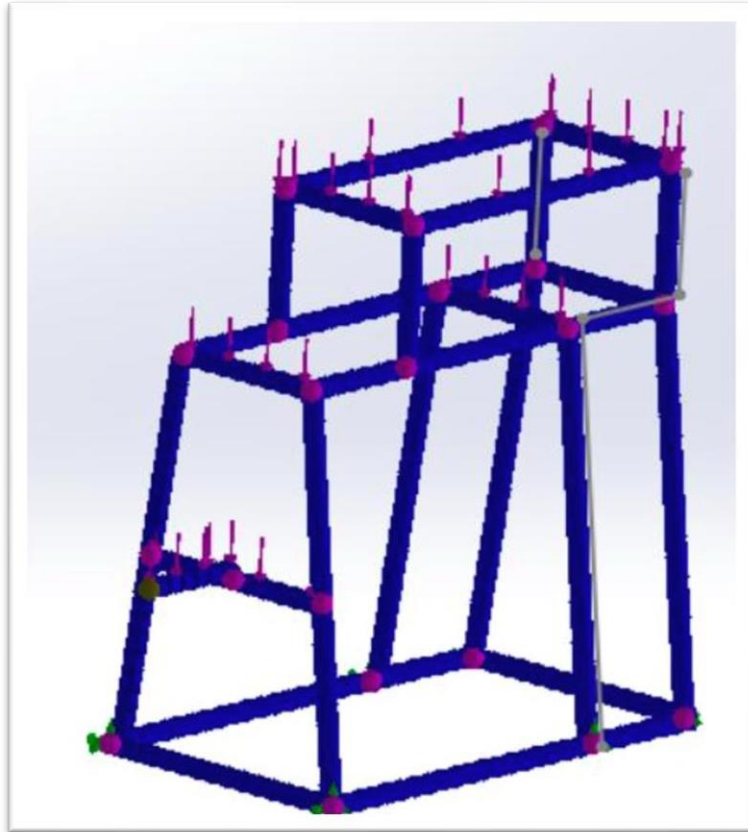


Figura 32. Modelado de las fuerzas aplicadas en la estructura.
Elaboración: Los Autores

3.13. Factor de seguridad

Se observa que su factor de seguridad es superior a 2.5 lo que quiere decir que la estructura es mucho más resistente que la carga real a la que está sometido. En este caso, el componente o estructura es extremadamente seguro y es muy improbable que falle, incluso si se excede en gran medida la carga real.

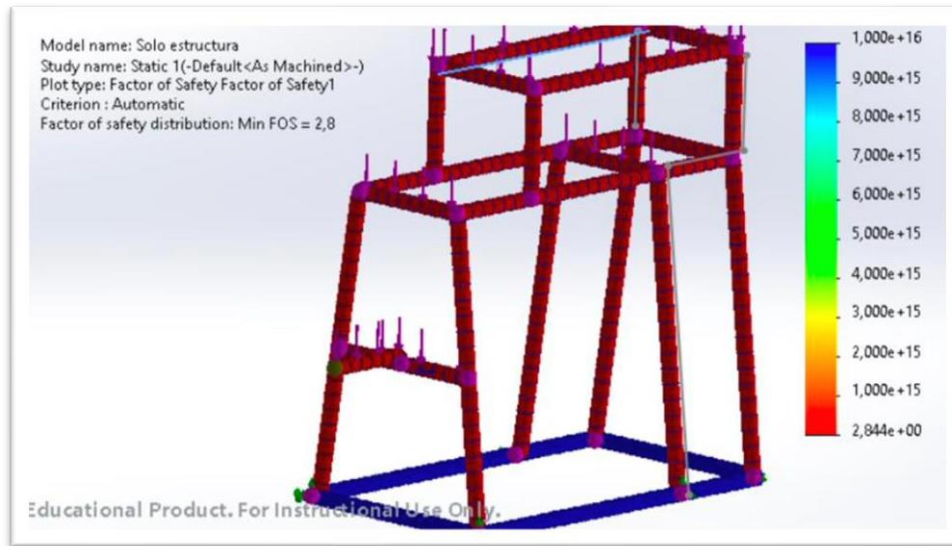


Figura 33. Modelado del factor de seguridad de la estructura.
Elaboración: Los Autores



Figura 34. Máquina escarificadora operando en la comunidad La Merced.

Capítulo IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. *Rendimiento de la máquina:*

Los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento de la máquina escarificadora de quinua fueron alentadores, demostrando una eficiencia aproximada del 97%, es decir, apenas no se pudo procesar un 3%. Durante las pruebas efectuadas, la máquina logró procesar quinua a una velocidad de hasta 40 kg/h, cumpliendo con las expectativas iniciales. Este rendimiento destacado confirma la capacidad de la máquina para manejar eficazmente grandes volúmenes de quinua sin comprometer la calidad del proceso. La eficiencia fue medida durante cada ciclo del proceso de escarificación lo que pondera una producción más rápida y rentable en términos económicos y de tiempo además de que cumple con los estándares descritos por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario del Ecuador [35] y la Norma RTE INEN 131 [36].

La falta de alimentación del motor fue uno de los factores que influyó en que no se alcanzara la eficiencia máxima, ante esto es importante contar con el combustible necesario para alimentar el sistema, asegurando así un suministro continuo y suficiente para alimentar el motor de la máquina durante su operación. Este enfoque proactivo, de incorporar almacenamiento adicional de combustible conforme se avanza en el trabajo, no solo corregiría la deficiencia observada, sino también optimizaría la eficiencia general de la máquina, asegurando un rendimiento consistente y maximizando la productividad en todas las fases operativas.

Ante esto, es válido destacar que esta tecnología tiene el potencial de contribuir significativamente a la mejora de los procesos de escarificación de quinua a nivel comercial de la parroquia La Merced en el segmento de la población correspondiente a la tercera edad.

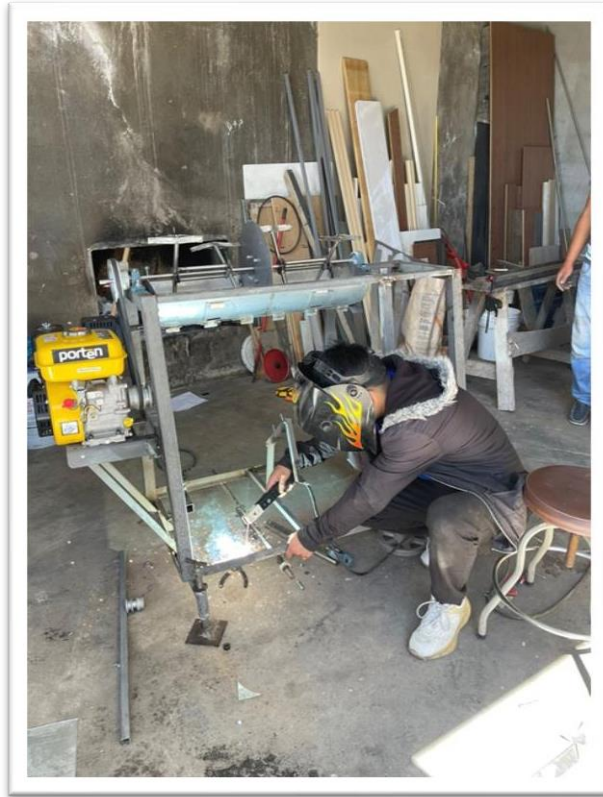


Figura 35. Proceso de Soldadura en la Fabricación y Ensamblaje de la Máquina.

4.2. Consumo de energía y recursos

El consumo de la máquina cumplió con las expectativas iniciales puesto que se invirtió aproximadamente USD 3,60 en combustible gasolina de tipo “Extra; Ecopais” para operarla, logrando así producir 40 kg de quinua en una hora de trabajo.

La elección del tipo de motor de 6 Hp de la marca Porten, así como los cálculos efectuados para la selección de componentes como correas y bandas de la máquina fueron factores claves para lograr un consumo de energía óptimo; esto permitirá al agricultor lograr un proceso exitoso desde el punto de vista costo-beneficio así como de manera paralela les permitirá ser competitivos en el mercado local con el precio del quintal de quinua actual que ronda entre los USD 100 - 140 aproximadamente.

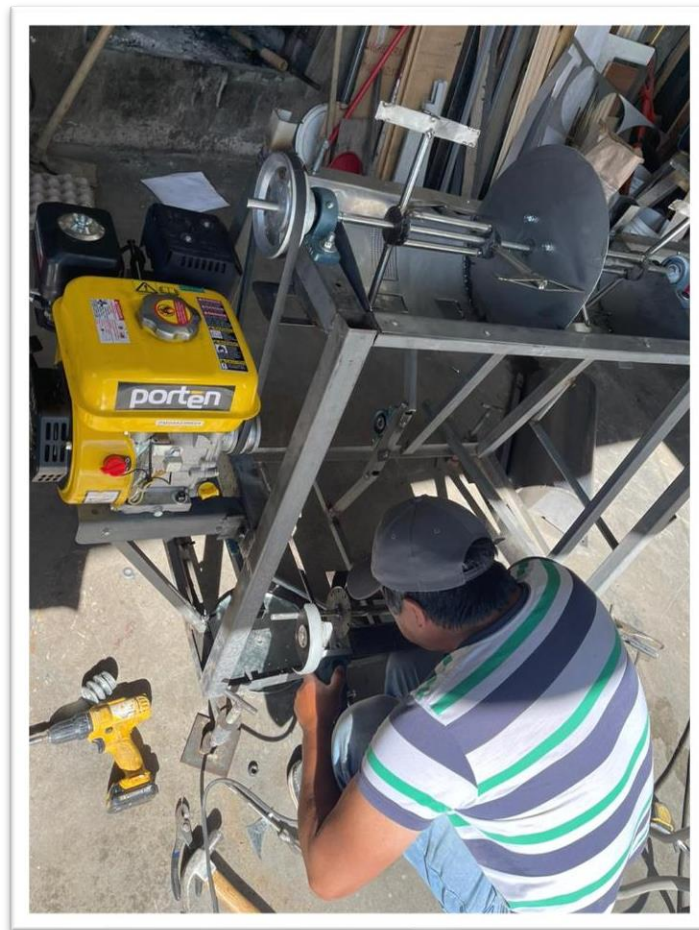


Figura 36. Montaje del motor y otros componentes de la máquina.

4.3. *Tiempos de producción*

Para llevar a cabo este análisis, se consideraron los siguientes aspectos importantes:

Se utilizó un envase de 20 cm de diámetro x 25 cm de profundidad, con una capacidad de llenado de 10 kg de Quinoa no pelada para alimentar la tolva de la máquina, en cada llenado se colocó quinoa con toda la cascarilla (A) y al final luego del proceso de escarificación se retiraba el producto con el mismo envase (B).

En el conjunto de valores (B) (producto final quinoa escarificada), se observó una reducción en el producto (A) (producto inicial quinoa sin escarificar) según se detalla en la tabla 7. Esta disminución se atribuye al proceso físico y mecánico que tiene lugar dentro del cilindro. Durante dicho proceso, la cascarilla de la quinoa se desprende de la semilla y se expulsa hacia el conducto de residuos de la máquina. Como resultado, se produce inevitablemente una pérdida de masa en el volumen total de la quinoa. Sin embargo, es importante señalar que esta pérdida es relativamente insignificante, situándose alrededor del 1-3%.

Basada en la descripción anterior, se obtuvieron los siguientes resultados a diferentes Kg de Quinoa procesada:

Tabla 6. Resultados de las pruebas de pérdida de masa de la quinoa durante el proceso de escarificado.

Quinoa con cascarilla (Kg) (A)	Quinoa Pelada (Kg) (B)	Desperdicios (g)
10	9,3	620
20	19,3	660
30	29,3	700
40	39,2	740
50	49,2	780

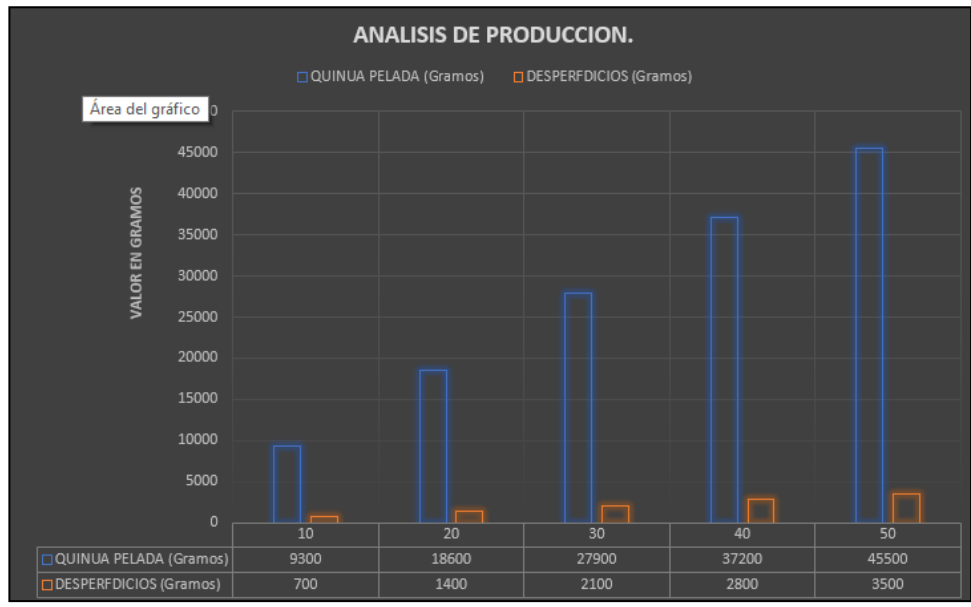


Figura 37. Análisis de producción de la quinua.
Elaboración: Los Autores

Con estos valores experimentales se determinó que en todas las capacidades de valor inicial siempre su valor de salida será menor, ya que ciertos residuos se eliminan en el proceso de escarificación, siendo estos valores poco significativos, llegando incluso a valores inferiores a 1% del total de la masa de la quinua tal cual se describió anteriormente en la tabla 7.

Con el fin de alcanzar los objetivos iniciales establecidos en este estudio (40 kg/h), se recomienda siempre cargar en la máquina entre un 1% y un 3% adicional del peso de la quinua. Esto se justifica por los hallazgos evidenciados en las pruebas, donde se observa un porcentaje de pérdida, como se describió anteriormente, que corresponde a los residuos de la semilla.

Los tiempos de producción se alinearon con las expectativas establecidas en los cálculos y pruebas iniciales. La máquina exhibe una capacidad de producción superior a los 40 kg/h, superando incluso la meta establecida en los objetivos del proyecto. Es crucial tener en cuenta que para aumentar la producción se necesitará una mayor cantidad de materia prima, mano de obra, combustible, entre otros recursos. No obstante, es relevante destacar que la máquina tiene el potencial de alcanzar tiempos de producción aún más elevados en función de la cantidad de quinua que se introduzca en la tolva.

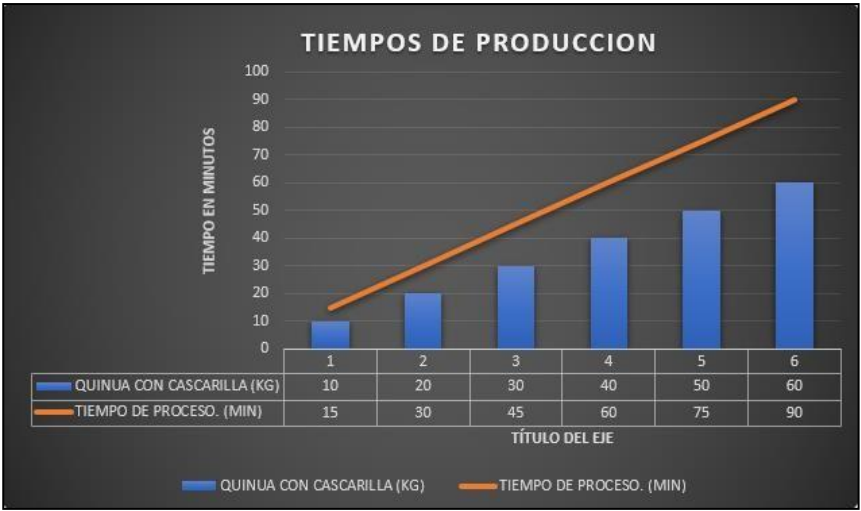


Figura 38. Tiempos de producción de la quinua.
Elaboración: Los Autores

4.4. Sistema eléctrico de la máquina

El sistema eléctrico seleccionado está compuesto por elementos descritos en la figura 39, dentro de este se encuentra un interruptor de encendido y apagado (On/Off), donde al momento de operar y manipular la máquina debe este ser colocado en la posición “On” lo cual automáticamente alimentará al motor y sus componentes (correas, poleas, etc) y empezará su proceso para que la máquina pueda operar.

Por otra parte, como medida de emergencia dentro del proceso de escarificación de la máquina, el circuito eléctrico también cuenta con un “pare de emergencia” denominado “Off” el cual hará que al momento de accionarlo todo el sistema se detenga de manera automática evitando así cualquier rose, golpe o atrapamiento de los componentes de la máquina con el operador, de esta forma se garantizará la integridad física del operario; es importante recalcar que este botón de emergencia está ubicado en un lugar visible y accesible a los

operarios en función de sus rasgos físicos (estatura) y biológicos (edad, condición física, etc.) para que pueda ser utilizado de forma fácil y prolija en casos de emergencia.

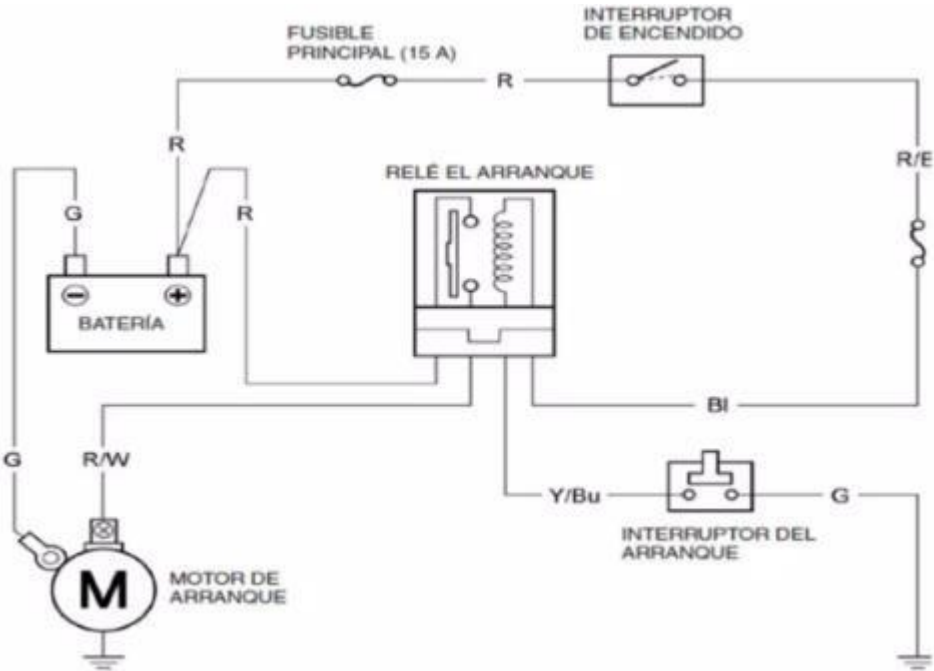


Figura 39. Sistema eléctrico del motor estacionario
Elaboración: Los Autores

5. CONCLUSIONES

Luego de efectuar los procedimientos de cálculo, fabricación y pruebas se puede inferir lo siguiente:

- La elección de los elementos, así como la fabricación, ensamblaje y pruebas de la máquina descritas en capítulos anteriores permitió alcanzar un 97% de efectividad con un porcentaje de desperdicio de quinua de entre el 1 y 3% por cada 40 kg procesados.
- El porcentaje de desperdicio representa una cantidad poco significativa de la producción en términos económicos, este valor corresponde a aproximadamente USD 1,20 por cada 40 kg de quinua procesada, teniendo en cuenta que el valor de los 40 kg ronda los USD 40 aproximadamente [37].
- El valor económico perdido en cada producción puede ser compensado a través de la creación de valor agregado de la cáscara de quinua, es decir, con los desperdicios resultantes se pueden elaborar productos como compost, alimento animal, entre otros y esta manera se generan ingresos adicionales que permiten compensar en términos económicos las pérdidas.
- Los cálculos estructurales efectuados permitieron determinar un factor de seguridad superior a 2.5 lo que garantiza que la máquina soportará el peso de sus componentes y de la producción.
- La máquina permitirá mejorar la competitividad de los agricultores de la parroquia La Merced en el mercado local ya que podrán producir hasta 40kg/h de quinua, paralelamente también los agricultores podrán aprovechar los desperdicios de quinua para elaborar otros productos y darles un valor agregado generando así más ingresos económicos.

6. RECOMENDACIONES

- Capacitación a los operarios
 - Es clave brindar un asesoramiento mediante capacitaciones a los agricultores para el manejo óptimo de la máquina, esto permitirá que los procesos sean más eficientes para optimizar recursos y sobre todo precautelar la salud y seguridad de los operarios.
 - Capacitar a los operarios en la fabricación de productos con valor agregado a partir de la cáscara de quinua para aprovechar estos desperdicios y generar ingresos económicos adicionales.
- Necesidad de almacenamiento adicional de combustible
 - Es importante contar con un almacenamiento adicional controlado de combustible que permita garantizar el flujo constante de gasolina al motor de esta forma se podrán extender las jornadas de trabajo y operación de la máquina.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S.-E. Jacobsen y A. Mujica, «La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres», University of Copenhagen, 26 de abril de 2007. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://research.ku.dk/search/result/?pure=en/publications/la-quinua-chenopodium-quinoa-willd-y-sus-parientes-silvestres\(1bd0d0a0-a1c2-11dd-b6ae-000ea68e967b\)/export.html](https://research.ku.dk/search/result/?pure=en/publications/la-quinua-chenopodium-quinoa-willd-y-sus-parientes-silvestres(1bd0d0a0-a1c2-11dd-b6ae-000ea68e967b)/export.html), <https://research.ku.dk/search/>, <https://forskning.ku.dk/find-en-forsker/>
- [2] J. Campos-Rodriguez, K. Acosta-Coral, L. M. Paucar-Menacho, J. Campos-Rodriguez, K. Acosta-Coral, y L. M. Paucar-Menacho, «Quinua (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación», *Sci. Agropecu.*, vol. 13, n.º 3, pp. 209-220, jul. 2022, doi: 10.17268/sci.agropecu.2022.019.
- [3] J. De La Cruz-Arango, «La quinua en el Perú: Pseudocereal andino, alimento de generaciones presentes y futuras», *J. Selva Andina Biosphere*, vol. 11, n.º 1, pp. 1-3, 2023, doi: 10.36610/j.jsab.2023.110100001.
- [4] M. Moraes R., B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius, y H. Balslev, *Botánica Económica de los Andes Centrales*. 2006.
- [5] G. Orgaz, «Orgaz, G. (2020). Adaptación de la quinua (*Chonopodium quinoa* Willd.) a las condiciones agroecológicas de la zona centro peninsular. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.», Orgaz, G. (2020). Adaptación de la quinua (*Chonopodium quinoa* Willd.) a las condiciones agroecológicas de la zona centro peninsular. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid., Madrid, 2020. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/65953/1/TFG_GABRIELA_ORGAZ_GARCIA.pdf
- [6] D. Bazile, S.-E. Jacobsen, y A. Verniau, «The Global Expansion of Quinoa: Trends and Limits», *Front. Plant Sci.*, vol. 7, 2016, Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.00622>
- [7] Y. N. Harari, *Sapiens. De animales a dioses: Una breve historia de la humanidad*. DEBATE, 2014.
- [8] O. de las N. U. para la A. y la A. FAO, «Crops and livestock products». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- [9] S. E. Zarate Sullca, «Evaluación del método de extracción sólido – líquido de la saponina de 5 cultivares de quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd), su encapsulamiento y utilización en la alimentación».
- [10] I. L. Chagua Aduviri, M. A. Quispe-Barra, O. A. Ortega Achata, I. L. Chagua Aduviri, M. A. Quispe-Barra, y O. A. Ortega Achata, «Diseño y construcción de prototipo de máquina clasificadora

de quinua por color usando sensores IR», *Rev. Investig. Altoandinas*, vol. 24, n.º 1, pp. 45-52, ene. 2022, doi: 10.18271/ria.2022.272.

[11] H. Choquehuayta, «ANÁLISIS REOLÓGICO DE HARINAS Y ALMIDONES AISLADOS DE CINCO VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) PARA SU UTILIZACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE MAZAMORRA», UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 2014. Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/9018/Choquehuayta_Huamansayre_Deylith_Haidee.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[12] «Cereal Grains for the Food and Beverage Industries - 1st Edition». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/cereal-grains-for-the-food-and-beverage-industries/arendt/978-0-85709-413-1>

[13] H. Torres y I. Minaya, «Escarificadora de Quinua Diseño y Construcción». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/17473/CDPE21068792e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[14] G. Aroni, M. Villca, M. Pinto, y W. Rojas, «Tecnología de procesamiento de quinua a pequeña escala en el Altiplano Sur de Bolivia», Proinpa. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/392152774/Tecnologia-de-Procesamiento-de-Quinua-a-Pequeña-Escala-G-Aroni>

[15] J. C. Shunta Ronquillo, E. F. García Cabezas, J. C. Aguirre Quezada, y J. C. Cayan Martínez, «Desaponificado de la Quinua en productos elaborados con una máquina escarificadora», *Rev. Arbitr. Interdiscip. Koinonía*, vol. 6, n.º 12, pp. 535-552, 2021.

[16] T. Saaty, «Decision making with the analytic hierarchy process», 2008. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.passagetechology.com/what-is-the-analytic-hierarchy-process>

[17] I. Montoya-Restrepo, D. Barrios, y L. Montoya-Restrepo, «Retos para los agronegocios en el marco de la cuarta revolución industrial: un recorrido sobre los principales hitos de la agricultura». Fondo Editorial Biogénesi, 2023.

[18] G. Jaramillo, «Estado, agro y acumulación en el Ecuador: una perspectiva histórica», ago. 2022, Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/18855>

[19] «Sensor Capacitivo de Humedad del Suelo V1.2», MEGATRONICA. Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://megatronica.cc/producto/sensor-capacitivo-de-humedad-del-suelo/>

- [20] «Rheonics Sensores de viscosidad y densidad en línea certificados por EHEDG para aplicaciones alimentarias y farmacéuticas» rheonics :: viscosímetro y densímetro», rheonics :: viscometer and density meter. Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.rheonics.com/sensores-de-densidad-y-viscosidad-en-l%C3%ADnea-certificados-por-rheonics-ehedg-para-aplicaciones-alimentarias-y-farmac%C3%A9uticas/>
- [21] «Modulo Sensor De Velocidad Infrarrojo Encoder Arduino - U\$S 2,85». Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516048741-modulo-sensor-de-velocidad-infrarrojo-encoder-arduino-_JM
- [22] «A000066 Arduino | Mouser», Mouser Electronics. Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/782-A000066>
- [23] Amazon, «Amazon.com: Dyno Racing Tacómetro de coche 2" 2.047 in RPM Gauge Digital Tacómetro 0-9000 RPM Medidor Led Azul Medidor Coche : Automotriz». Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/Racing-Tac%C3%B3metro-Digital-0-9000-Medidor/dp/B07S46PVCV>
- [24] G. Aizpurú, B. Schlüsselblum, y E. Seguro, «Desarrollo de maquinaria agrícola conforme a las necesidades y posibilidades de la Agricultura Familiar», presentado en I Jornadas de Agricultura Familiar (La Plata, agosto 2011), 2011. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97504>
- [25] K. E. Murrieta Ronquillo, «Inteligencia artificial en el agro para mejorar la productividad sustentable agropecuaria del Ecuador.», bachelorThesis, BABAHOYO, 2023. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13865>
- [26] «MOTOR MONOFASICO 5HP PARA PHI-5MC 220V PORTEN». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pintulac.com.ec/motor-monof-5hp-p-phi-5mc-220v-porten.html>
- [27] Organización Internacional del Trabajo, «Seguridad y salud en el trabajo». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/occupational-safety-and-health/lang--es/index.htm>
- [28] Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, «Censo Poblacional Ecuador 2023». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.censoecuador.gob.ec/>
- [29] Kywi, «Kywi – MegaKywi – Ferretería – Hogar – Construcción». Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kywi.com.ec/>
- [30] R. Chase, F. Jacobs, y N. Aquilano, «Administración de Operaciones». McGraw-Hill Education, 2020.
- [31] Disumtec, «CORREA TRAPEZOIDAL D», Disumtec Tienda online. Accedido: 9 de febrero

de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.disumtec.com/es/correas-y-poleas/3800000377-corra-trapezoidal-d.html>

[32] M. Ruiz y E. Díaz, «Mecánica de estructuras: Libro 1, resistencia de materiales», 2002.

[33] Intermec S.A, «Transmisión de potencia; Poleas en “V”». [En línea]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/Pdf/Manual_poleas_en_V_Intermec.pdf

[34] L. Vanegas, *Diseño de Elementos de Máquinas*, vol. ISBN: 978-958-722-301-9. Editorial UTP, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/158348444.pdf>

[35] Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario, «Buenas prácticas agrícolas para la quinua». Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/Gui%CC%81a-de-BPA-para-Quinua.pdf>

[36] Servicio Nacional de Normalización, «REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 131 “SEGURIDAD E HIGIENE DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS»». Accedido: 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-131.pdf>

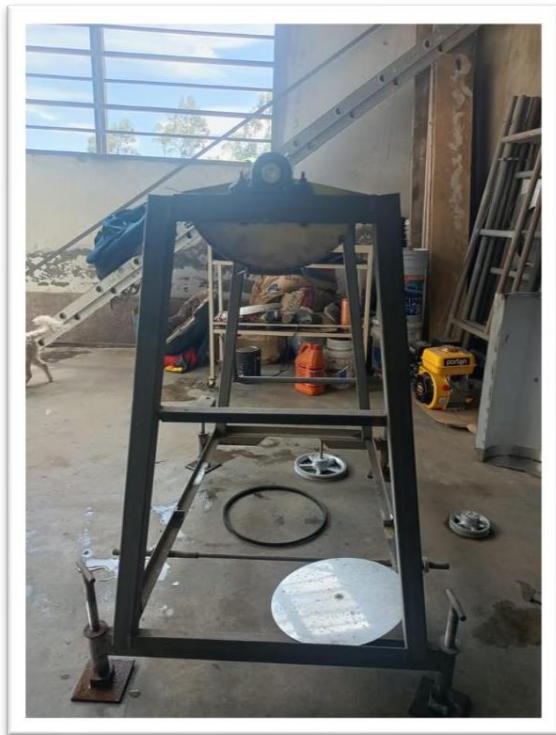
[37] «Productores de quinua venden hasta en 100 dólares el quintal de quinua a la UNA EP – Ministerio de Agricultura y Ganadería». Accedido: 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/productores-de-quinua-venden-hasta-en-100-dolares-el-quintal-de-quinua-a-la-una-ep/>

ANEXOS

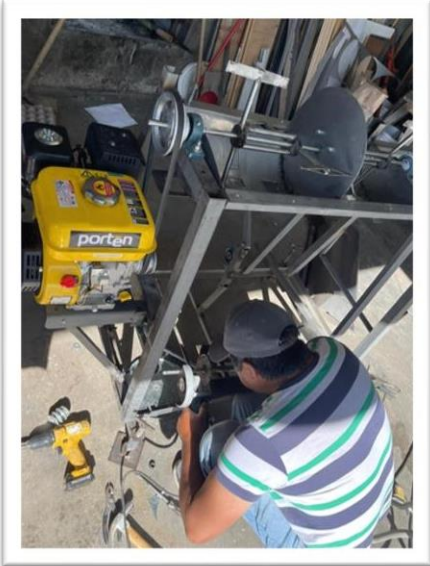
Estructura interna de la máquina escarificadora

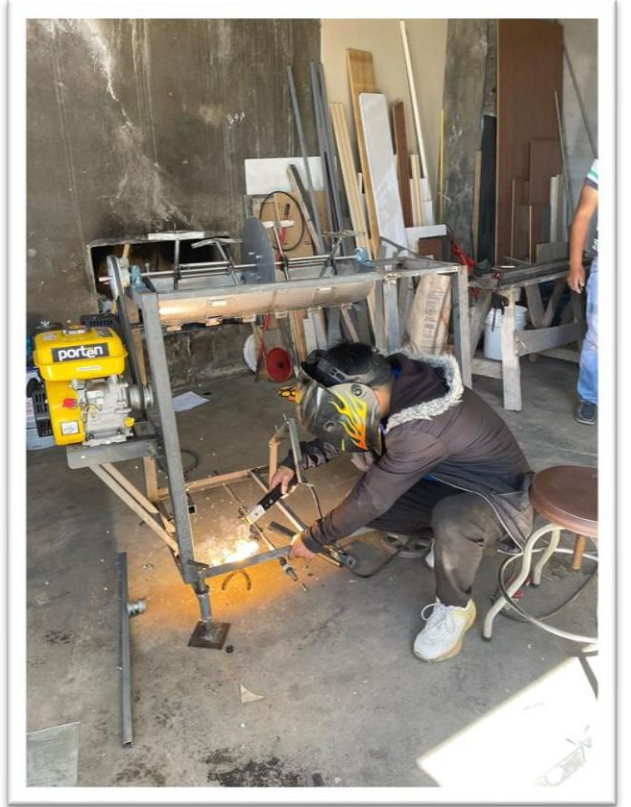


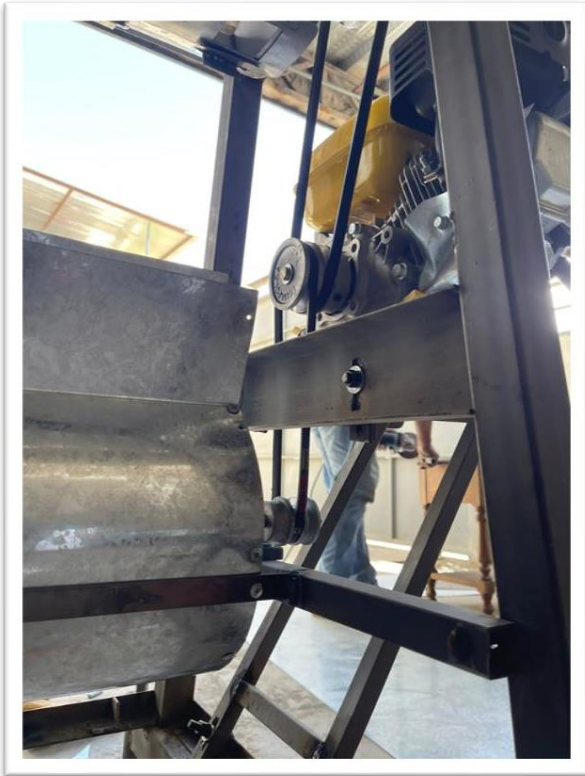
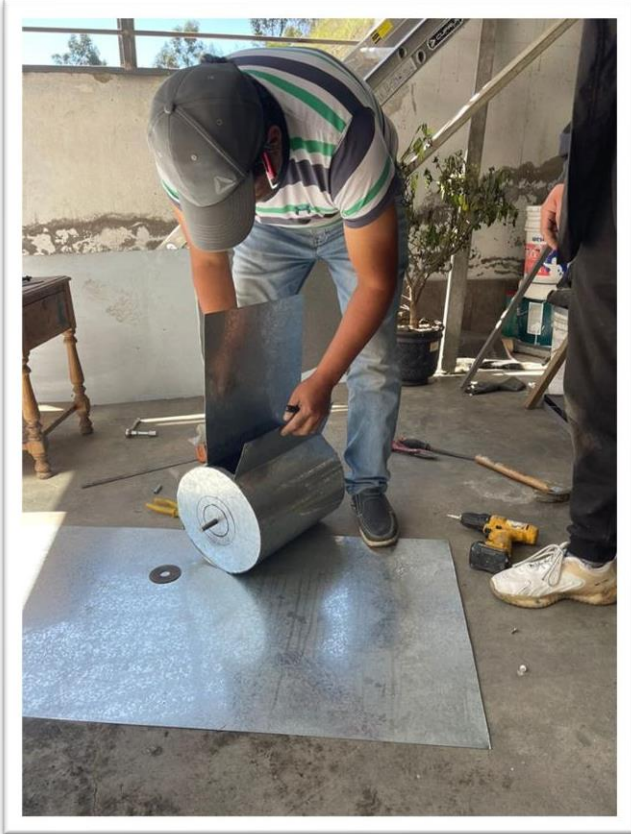




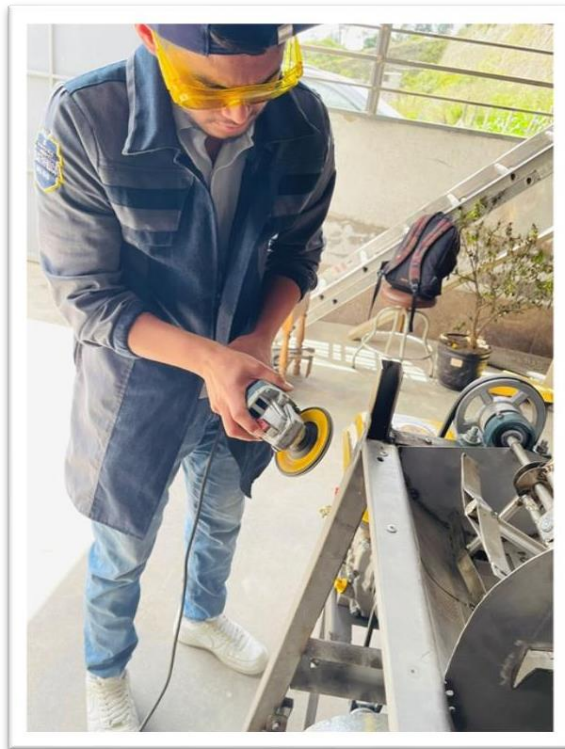
Proceso de elaboración y construcción de la máquina

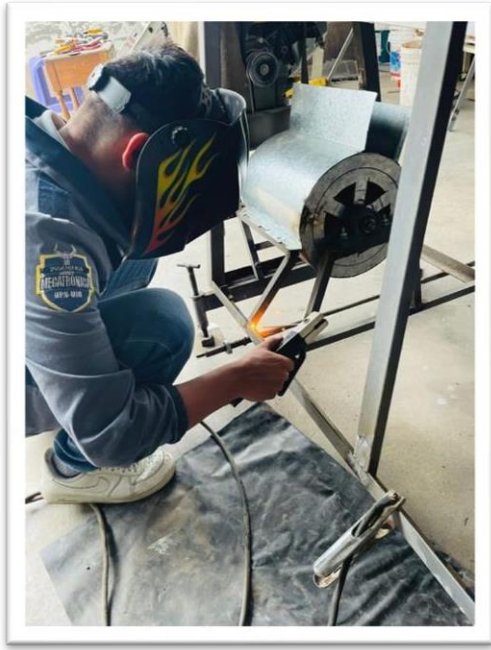
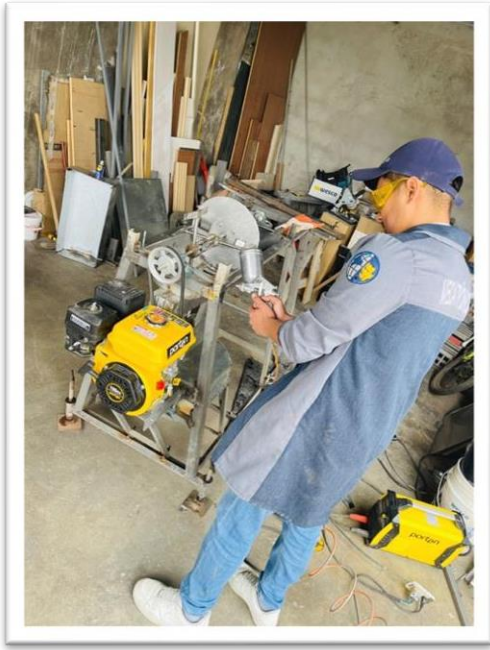




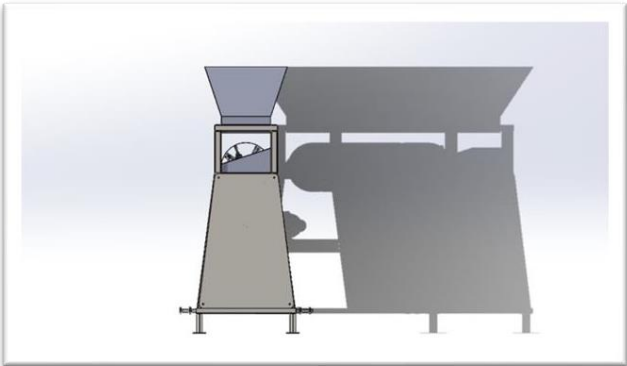
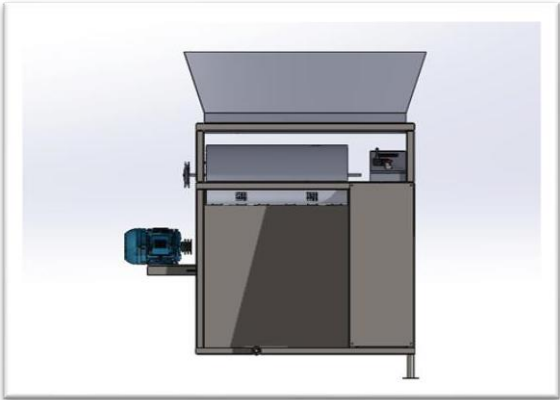
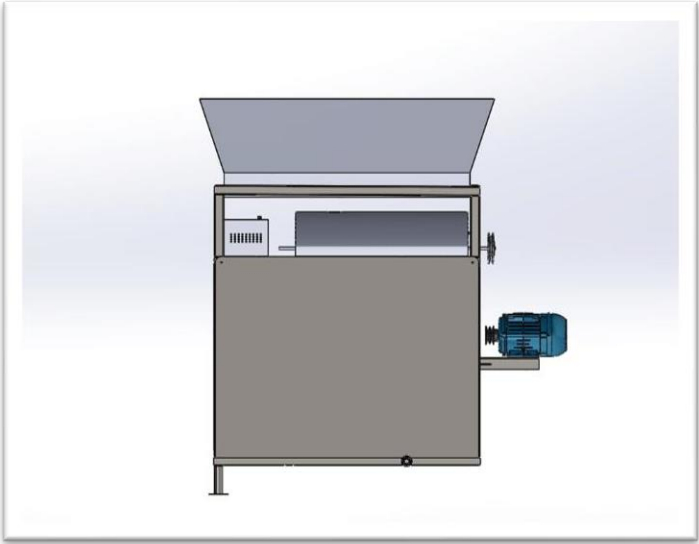




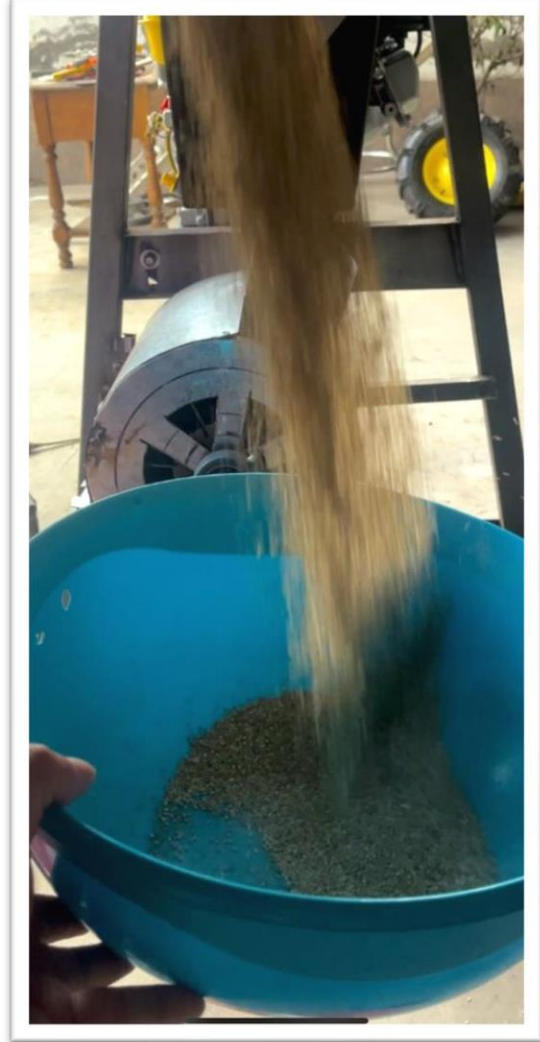




Elementos procesados en el software SolidWorks.



Periodo de pruebas de la máquina



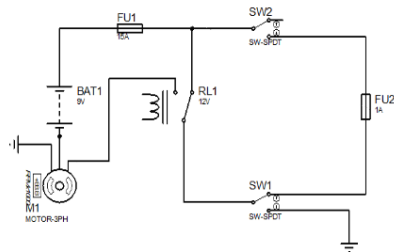
Operación de la máquina en la Comunidad La Merced.







Planos de la construcción de la máquina
Sistema eléctrico de la máquina:

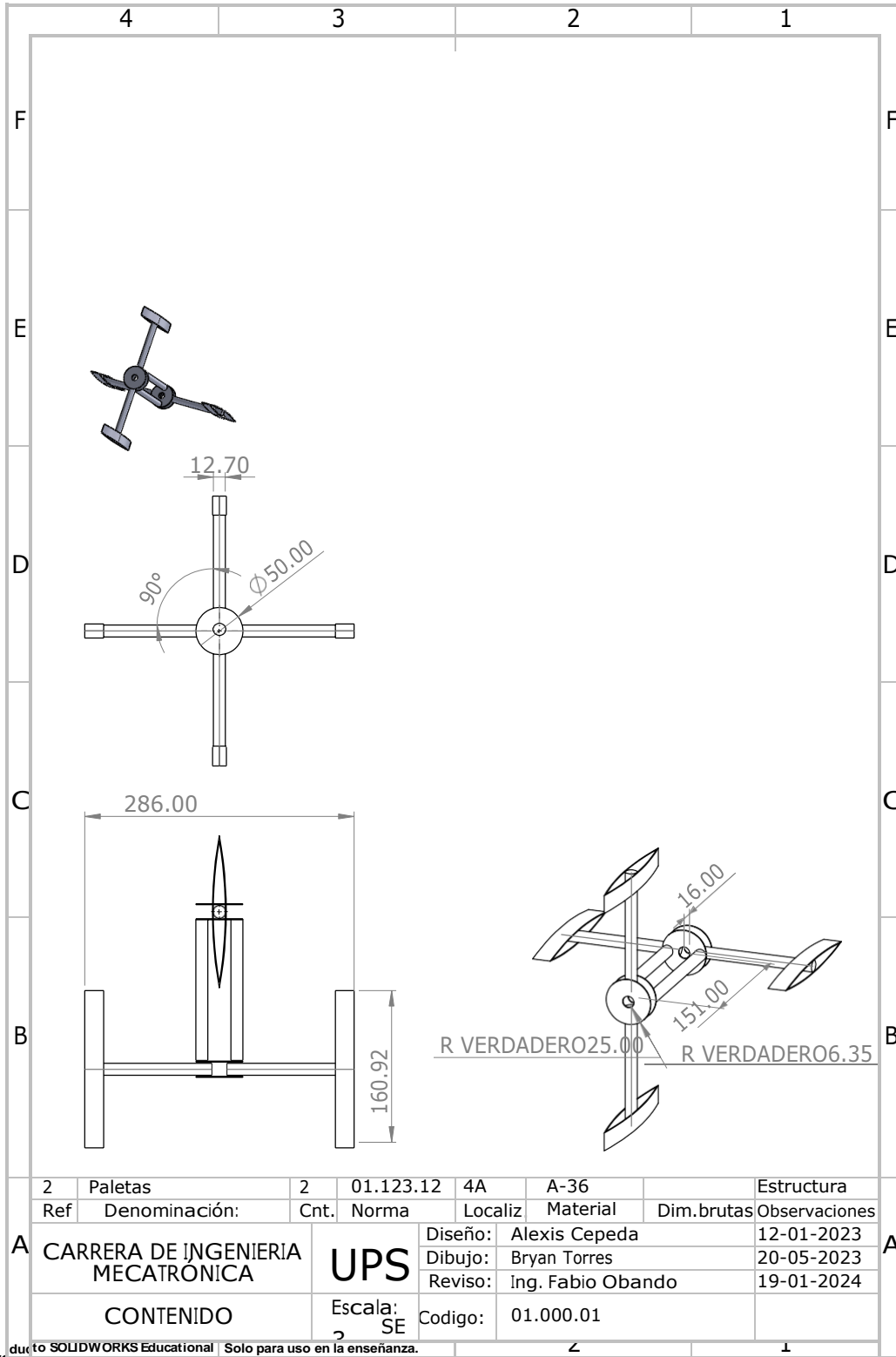


Labcenter Electronics, 21 Hardy Grange Grassington, North Yorkshire, BD23 5AJ
Fax: +44 (0)1756 752827 Tel: +44 (0)1756 753440
Email: info@labcenter.com WWW: http://www.labcenter.com

Nuevo proyecto.pdsprj

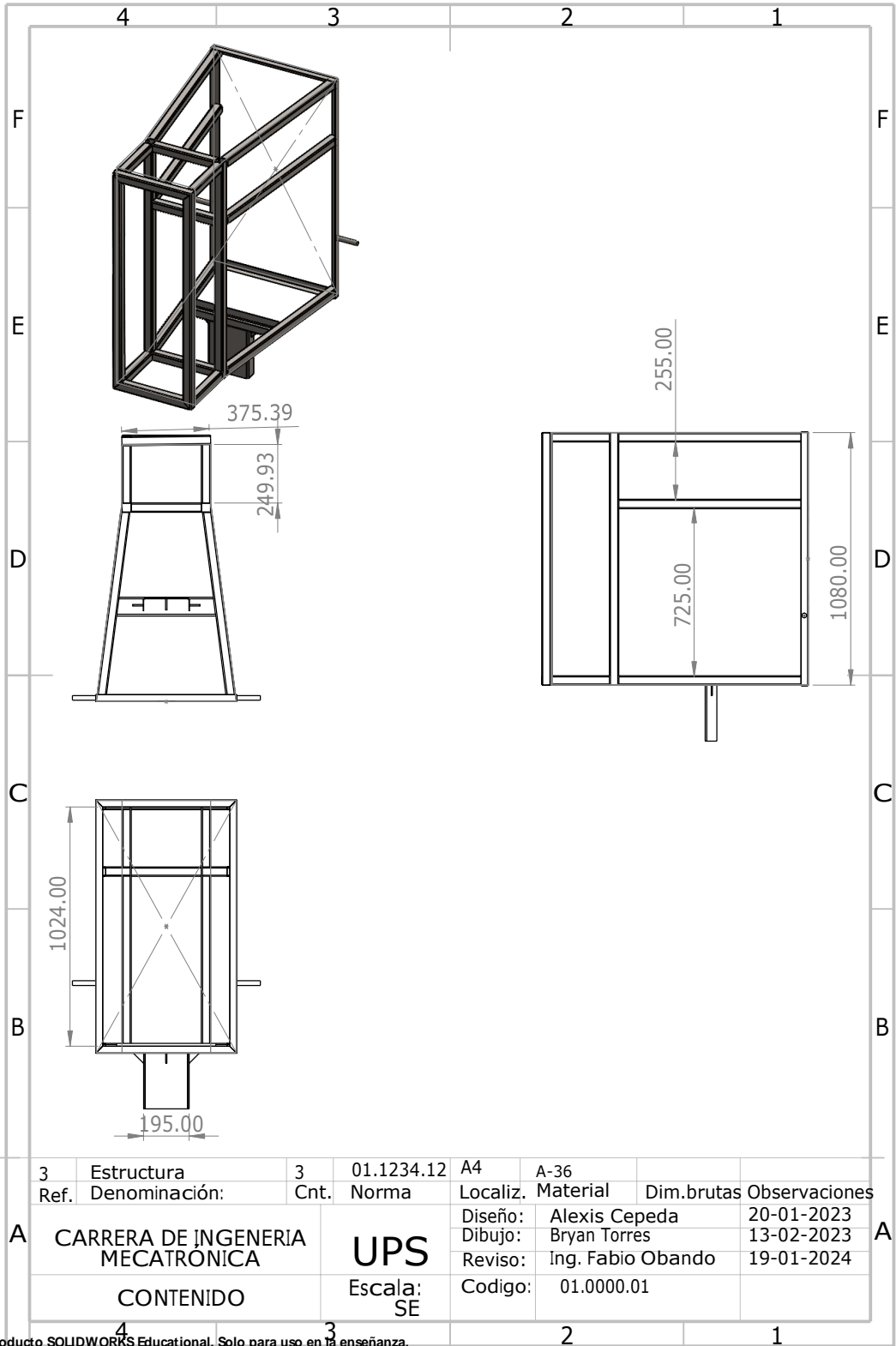
Sheet 1 Of 1 BOARD: @BOARD REVISION: 001/ 20 de enero de 2024



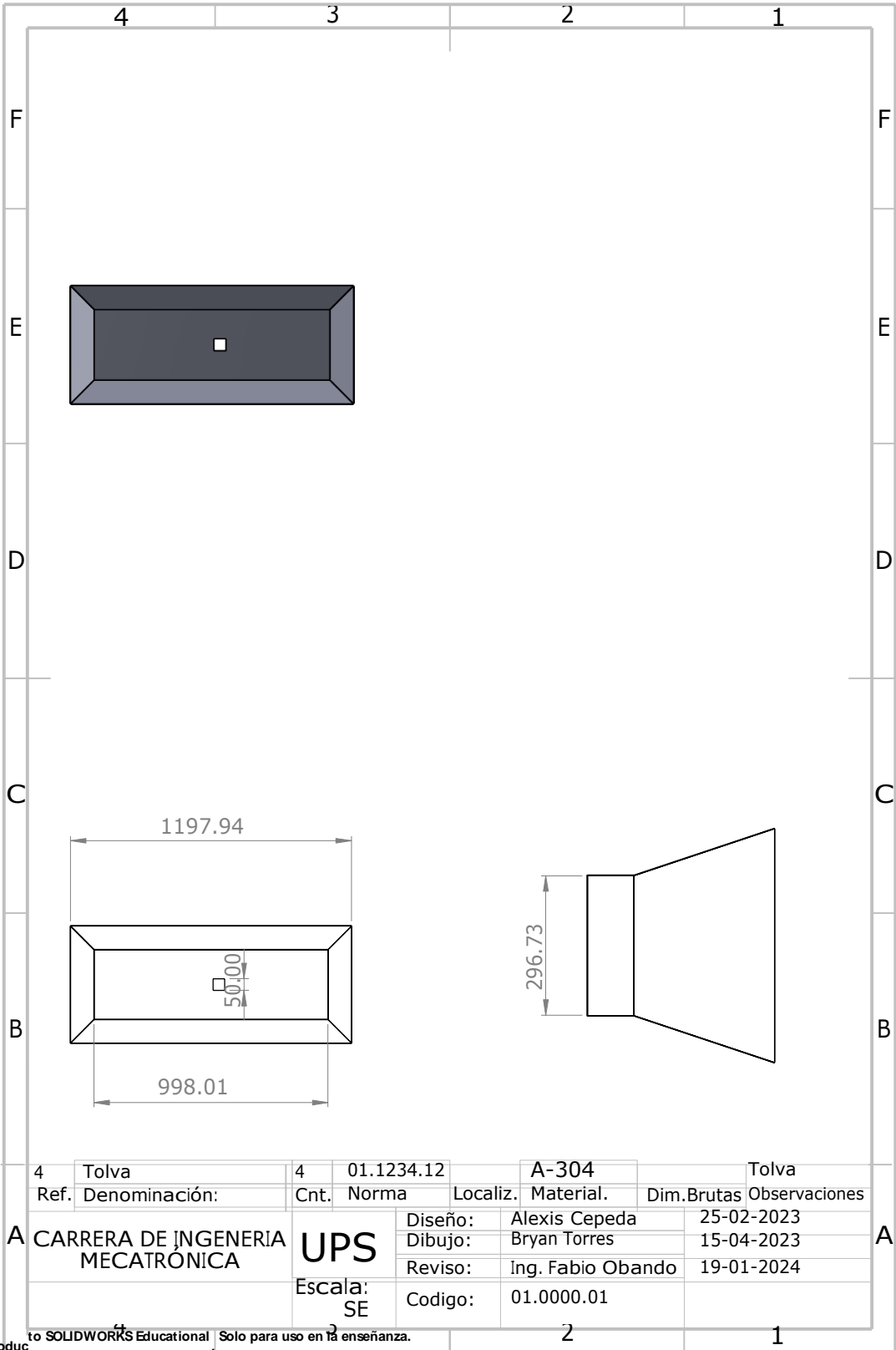


Ref	Denominación:	Cnt.	Norma	Localiz	Material	Dim.brutas	Observaciones
2	Paletas	2	01.123.12	4A	A-36		Estructura
A CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA			UPS	Diseño:	Alexis Cepeda		12-01-2023
CONTENIDO				Dibujo:	Bryan Torres		20-05-2023
				Reviso:	Ing. Fabio Obando		19-01-2024
			Escala:	Codigo:	01.000.01		
			SE				

Producto SOLIDWORKS Educational | Solo para uso en la enseñanza.

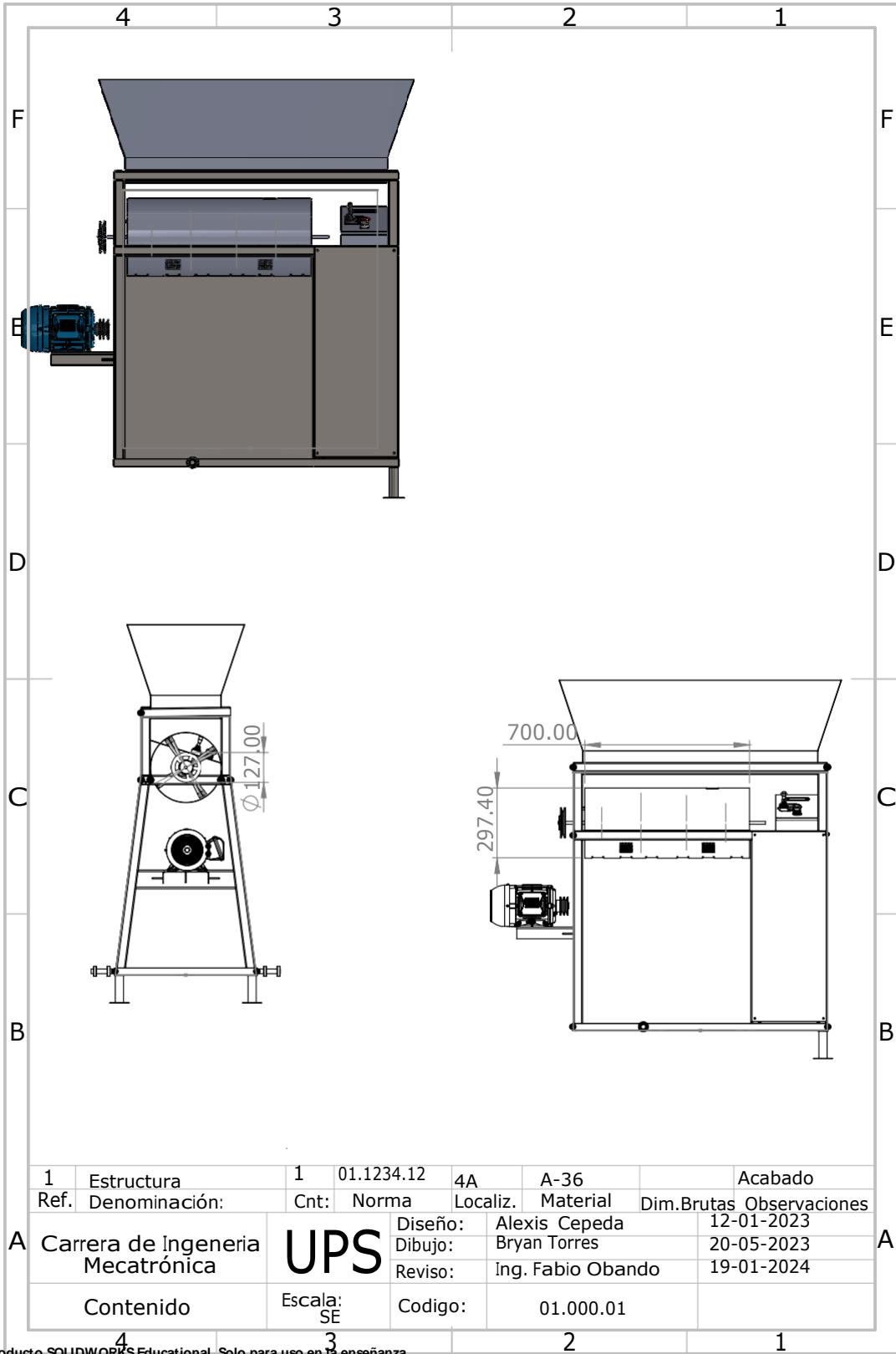


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



4	Tolva	4	01.1234.12	A-304	Tolva
Ref.	Denominación:	Cnt.	Norma	Localiz.	Material.
A CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		UPS Escala: SE	Diseño:	Alexis Cepeda	25-02-2023
			Dibujo:	Bryan Torres	15-04-2023
			Reviso:	Ing. Fabio Obando	19-01-2024
			Codigo:	01.0000.01	

Produced by SOLIDWORKS Educational | Solo para uso en la enseñanza.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Manual de Operación y Mantenimiento de la máquina



Índice

Item	No. Página
Ficha técnica	3
Lineamientos generales	5
Procedimiento de uso	6
Recomendaciones	11

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

Ficha Técnica

3

I. Descripción del equipo

Esta máquina está diseñada para eliminar la capa exterior de la semilla de la quinua conocida como "saponina" la cual contiene compuestos amargos que hacen que la semilla no se pueda comercializar en los mercados.



II. Datos técnicos

Marca	Porten
Modelo	PMG65 4 tiempos
Potencia	6.5 hp / 196 CC
Productividad	40kg/h
Suministro	Gasolina extra
Vida útil	20.000 horas de operación
Peso	29 kg
Para su instalación requiere	Operador y técnico

Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Ficha Técnica

4

III. Costos de funcionamiento

Costo del galón de	USD 2,40
Repuestos que utiliza la máquina	Mecánicos según el desgaste
Insumos para la máquina	Gasolina 86 octanos; Aceite de motor SAE 10 W-30
Mano de obra necesaria	1 Operador

IV. Recomendaciones

Regulaciones

- Controlar la velocidad de giro de las cribas
- Mantener la máquina una pendiente horizontal y vertical fija.

Mantenimiento

- Verificar el estado de los resortes antes de operar
- Verificar que la máquina este nivelada.
- Colocar aceite 10 W - 30 cada 5 meses

V. Dónde comprar repuestos para máquina

Los elementos de repuestos de la máquina pueden ser adquiridos en cualquier centro ferretero o ferretería donde se expendan productos para maquinaria agrícola.



Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Lineamientos generales

5

Antes de empezar

Antes de usar la máquina verifique:

1. El motor cuente con suficiente combustible para operar: 1 galón y medio para llenar el depósito del motor.
2. La tolva y el cilindro se encuentren totalmente limpios libre de cualquier elemento que pudiera afectar o contaminar el lote de producción.
3. El área de trabajo se encuentre despejada y limpia, es decir asegúrese que no existan elementos que pudieran causar un accidente tanto con la máquina como con el operador.
4. Tener una balanza cerca que le permitan pesar la cantidad exacta de quinua para procesar.

Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

6

1. Encienda la máquina

- Verifique que el motor tenga combustible
- Encienda el switch de paso de gasolina y posterior arranque el motor halando la cuerda.



Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

7

2. Cargar la tolva de quinua

El operador debe cargar la tolva de la cantidad de quinua que vaya a procesar.
Recuerde debe carga máximo 40 kg



Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

8

3. Verificar elementos ajenos al proceso

El operador debe verificar que no existan elementos grandes como piedras, cáscaras, u otros que pudieran obstaculizar el ingreso de la quinua al cilindro a través de la compuerta.



Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

9

4. Supervisar el proceso de escarificación

Luego de verificar que la carga inicial se encuentre libre de elementos grandes que pudieran afectar el proceso, el **operador deberá accionar el botón de inicio para que la máquina empiece con el proceso de escarificación.**

Es importante que el operador se encuentre vigilante del proceso en caso existan situaciones emergentes que requiera el apagado de emergencia de la máquina.



Parte interna del cilindro de la máquina donde por medio de dos filtros se escarifica la quinua.

Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

10

5. Almacenar el producto terminado

Luego del proceso de escarificado que tardará aproximadamente 1 hora (40 kg), el operador deberá almacenar la quinua escarificada el recipientes adecuados libres de contaminación.



Conducto metálico por donde saldrá la quinua luego de completar el proceso de escarificación

Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

11

6. Mantenimiento preventivo

- Luego de cada proceso de quinua es importante limpiar la máquina con esto evitará la presencia de bacterias o incluso la presencia de plagas alrededor.
- El motor debe ser lubricado con el aceite 10W-30, en cada intervención el operador depositará aproximadamente 0,65 ml de dicho aceite. Se recomienda hacer este proceso cada 5 meses o según la frecuencia de uso del motor.
- Verificar que las chumaceras cuenten con grasa
- Verificar las paletas que funcionen correctamente.



Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Procedimiento de uso

12

Resumen de cómo operar la máquina

1. Encender el switch de paso de gasolina.
2. Halar la cuerda para encender el motor.
3. Colocar 40 kg de quinua en la tolva.
(40 kg o menos según la cantidad que se vaya a procesar)
4. Colocar un recipiente (saco) sobre la tolva de salida de la máquina para almacenar la quinua escarificada.
5. Coloque el interruptor en "On" para inicial el proceso.
6. Espere mientras la máquina realiza el proceso
(La máquina tardará una hora en procesar hasta 40 kg de quinua).
7. Colocar en un lugar fresco la quinua escarificada para su posterior comercialización.
8. Apague la máquina.
9. Limpie y ordene el espacio de trabajo.



Elaborado por: Kevin Cepeda y Bryan Torres



Recomendaciones

13

- El operador debe ser capacitado antes de usar esta máquina para alcanzar el máximo rendimiento y optimización de recursos.
- El operador deberá asegurarse que elementos grandes o extraños no ingresen al cilindro ya que podría afectar el lote de producción y posteriormente la vida útil de la máquina.
- Implementar medidas de Seguridad y Salud Ocupacional para promover ambientes de trabajo seguro.
- Implementar protocolos de limpieza que garanticen que la máquina se encuentre limpia y óptima para procesar de los lotes de quinua requeridos.

Elaborado por: Kevin Copeda y Bryen Torres

