

MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MAQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS
“FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA”

**MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE
QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS “FORTALECIMIENTO
DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL
CAUCA”**



**Carlos Santiago Vidal Martínez
Didier Edinson Ñañez Macías**

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Enero de 2016**

MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MAQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS
"FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA"

**MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE
QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS "FORTALECIMIENTO
DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL
CAUCA"**

**Carlos Santiago Vidal Martínez
Didier Edinson Ñañez Macías**



Monografía presentada como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero en Automática Industrial

Director: Mg. Francisco Franco Obando

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Enero de 2016**

MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MAQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS
"FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA"

Nota de aceptación

Firma Director _____
Mg. Francisco Franco Obando

Firma del Jurado

Firma del jurado

Popayán, Enero de 2016

DEDICATORIA

Dedicado a los agricultores de quinua del departamento del Cauca, especialmente del poblado de San Juan Bolívar; que la realización del trabajo de grado sea un paso para el aumento de la productividad de las actividades agrícolas y el mejoramiento de sus condiciones de vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por su constante e incondicional apoyo durante toda nuestra formación, por el cariño, la entrega y la confianza que nos han depositado. También agradecemos al Ingeniero Francisco Franco por su paciencia y colaboración durante la elaboración de este trabajo de grado. Además agradecemos a todas las personas que nos tendieron la mano durante nuestra formación universitaria.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	3
1. GENERALIDADES DEL PROCESAMIENTO DE LA QUINUA.	4
1.1. RESEÑA HISTÓRICA.	4
1.1. EL ORIGEN DE LA QUINUA.	4
1.2. UTILIZACIÓN TRADICIONAL Y ACTUAL DE LA QUINUA.	5
1.3. CLASIFICACIÓN DE LA QUINUA.	5
1.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.	6
1.4.1. Hábitos de crecimiento.	6
1.4.2. Forma y densidad de la panoja.	7
1.4.3. Color y forma de grano.	8
1.4.4. Dimensiones de grano.	9
1.4.5. Fruto.	9
1.5. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO.	10
1.5.1. Cosecha.	10
1.5.2. Arrancado y siega.	10
1.5.3. Emparvado.	11
1.5.4. Trilla.	11
1.5.5. Harneado o zarandeo.	12
1.5.6. Venteado.	12
1.6. MÉTODOS DE TRILLADO.	13
1.6.1. Proceso de trillado.	15
1.7. MECANISMOS DE TRILLADO.	16
1.7.1. Sistema de alimentación.	16
1.7.2. Sistema de trilla.	16
1.7.3. Sistema de separación.	19
1.7.4. Sistema de clasificación y limpieza.	20
2. INGENIERÍA BÁSICA Y CONCEPTUAL.	21
2.1. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA MÁQUINA ACTUAL.	21
2.1.1. Partes principales de la máquina actual.	21
2.1.2. Funcionamiento.	23

2.2.	CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS.	24
2.2.1.	Portabilidad.	25
2.2.2.	Fabricación Nacional.	25
2.2.3.	Fácil manejo y mantenimiento.	25
2.2.4.	Al alcance de medianos y/o pequeños productores y/o asociaciones.	25
2.2.5.	Requerimientos de la zona.	25
2.2.6.	Requerimientos del cultivo.	26
2.3.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.	27
2.3.1.	Consideraciones.	27
2.3.2.	Sistemas mejorados.	28
2.3.3.	Alternativas para el análisis.	29
2.4.	NECESIDADES DE AUTOMATIZACIÓN.	30
2.5.	DISEÑO DE LOS COMPLEMENTOS DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA.	31
2.5.1.	Alternativa teórica.	31
2.5.2.	Sistemas de soporte.	32
2.5.3.	Sistemas de proceso.	33
2.6.	DIAGRAMA PFD.	34
2.7.	DIAGRAMA P&ID.	35
2.8.	CONJUNTO DE DISEÑO 3D.	37
3.	INGENIERÍA DETALLADA.	39
3.1.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS PARA LA INGENIERÍA DE DETALLE.	39
3.1.1.	Requerimiento Inicial.	39
3.1.2.	Requerimiento Fitosanitario y Fabricación Nacional.	39
3.1.3.	Requerimiento de fácil manejo y mantenimiento.	40
3.1.4.	Requerimiento de Cultivo y Portabilidad.	40
3.2.	PARÁMETROS FÍSICOS DETALLADOS DE LOS SISTEMAS DE PROCESO.	42
3.2.1.	Unidad de alimentación.	42
3.2.2.	Unidad de Trilla.	42
3.2.3.	Unidad de Separación.	51
3.2.4.	Unidad de Clasificación.	52
3.3.	PARÁMETROS FÍSICOS DETALLADOS DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE.	67
3.3.1.	Sistemas de Potencia.	67
3.3.2.	Sistemas de Control.	74
3.3.3.	Sistemas de Unión.	76
3.3.4.	Estructura.	76

MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MAQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS
"FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA"

3.4.	MODELADO EN ISA 88.	78
3.5.	CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS.	81
4.	CONCLUSIONES.	83
	BIBLIOGRAFÍA.	84
	ANEXOS.	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.	Requerimientos de humedad y temperatura, de los tipos de quinua6
Tabla 2.	Etiquetado de equipos, instrumentos y accesorios del proceso de trillado de quinua35
Tabla 3.	Pasos aconsejados del tronco trillador, para un desplazamiento de material de 11.3m/min 47
Tabla 4.	Características principales del ventilador SA-9/4 a un caudal de 2107m ³ /h64
Tabla 5.	Requerimientos generales del motor68
Tabla 6.	Características motor Honda GC160.....69
Tabla 7.	Potencia por seccion de bandas en "V"70
Tabla 8.	Relaciones de velocidades de los mecanismos de la mejora.70
Tabla 9.	Diámetros de las poleas de los mecanismos y sus relaciones para la mejora72
Tabla 10.	Tabla. Modelo de proceso del procedimiento de quinua78
Tabla 11.	Tabla. Modelo físico del sistema de procesamiento de quinua79
Tabla 12.	Tabla. Modelo de control procedimental de procesamiento de quinua80
Tabla 13.	Cumplimiento de los requerimiento de la máquina con las mejoras tecnológicas81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Muestras de quinuas de restos arqueológicos y la actualidad	5
Figura 2. Hábitos de crecimiento de la quinua.....	7
Figura 3. Forma de panoja Glomerulada, Intermedia y Amarantiforme	7
Figura 4. Formas de grano de quinua	8
Figura 5. Diversidad de formas, tamaños y colores de grano de quinua.	8
Figura 6. Componentes del grano de quinua/ corte transversal.....	9
Figura 7. Prácticas de siega con hoz y segadora mecánica manual.	10
Figura 8. Emparvados en línea y cruz.....	11
Figura 9. Trillado mecánico de quinua	12
Figura 10. Labor de hameado	12
Figura 11. Venteo de quinua	13
Figura 12. (a) Trilla tradicional de quinua; (b) Trilla con tractor	14
Figura 13. Trilla de quinua con camión.....	14
Figura 14. Diagrama de proceso de cosecha y post cosecha de quinua.	15
Figura 15. Diagrama de proceso de cosecha y post cosecha de quinua en San Juan, Bolívar.....	15
Figura 16. Diagrama proceso de trillado.....	16
Figura 17. Trillador de barras planas con caucho	17
Figura 18. Trillador de dientes.....	18
Figura 19. Trillador de barras angulares con caucho	18
Figura 20. Trillador de resortes.....	19
Figura 21. Separación con rotores	19
Figura 22. Clasificación y limpieza	20
Figura 23. Trilladora "Perfecta " Zutta Hermanos.....	21
Figura 24. Trilladora y motor en Solidworks.....	22
Figura 25. Partes principales trilladora perfecta.....	23
Figura 26. Flujo de material en la máquina.....	24
Figura 27. Cumplimiento de los requerimientos de la máquina actual	26
Figura 28. Sistemas de máquinas agrícolas.....	32
Figura 29. Alternativa sistema de soporte.....	33
Figura 30. Alternativa sistema de proceso.....	34
Figura 31. Diagrama de proceso de trillado de quinua.....	35
Figura 32. Diagrama P&ID del proceso de trilla de quinua.....	37
Figura 33. Alternativa maquina desgranadora de quinua.....	38
Figura 34. Medidas de una panoja de quinua	40
Figura 35. Distribución de las partes principales de la mejora	41
Figura 36. Unidad de alimentación	42
Figura 37. Tronco clasificador	43
Figura 38. Transportador de tornillo sin fin	44
Figura 39. Tronco Trillador	47
Figura 40. Conjunto unidad de trilla	48

Figura 41.	Modelo simplificado del tronco trillador	48
Figura 42.	Unidad de separación.....	52
Figura 43.	Tronco Clasificador con un tamiz clasificador	53
Figura 44.	Tronco clasificador	54
Figura 45.	Sistema de canales unidad de clasificación	55
Figura 46.	Limpieza de granos con corriente de aire	56
Figura 47.	Modelo de caída de un grano de quinua por una corriente perpendicular de aire.	57
Figura 48.	Diagrama de bloques en Simulink, ecuaciones del comportamiento del grano	58
Figura 49.	Vista lateral canales de clasificación.....	59
Figura 50.	Perfiles de aspas rodetes ventiladores	61
Figura 51.	Carcaza ventilador centrifugo	61
Figura 52.	Nomenclatura de catálogo de ventiladores centrífugos S&P	63
Figura 53.	Ventiladores centrífugos línea SA.....	63
Figura 54.	Ventilador centrifugo SA-9/4 S&P, vista isométrica	64
Figura 55.	Compuerta manual de regulación de aire	65
Figura 56.	Sistema de ventilación.....	66
Figura 57.	Sistemas de proceso de la mejora y estructura parcial	66
Figura 58.	Tamaño de sesión de correas en "V" clásicas	69
Figura 59.	Caja reductora CRG-09.....	71
Figura 60.	Sistema reductor de poleas	71
Figura 61.	Rodamientos de bolas	73
Figura 62.	Soportes para rodamientos	73
Figura 63.	Modelo CAD del sistema de potencia	74
Figura 64.	Diagrama P&ID del proceso de trilla de quinua.....	75
Figura 65.	Dimensiones de un perno.....	76
Figura 66.	Estructura de la mejora	77
Figura 67.	Modelo CAD de la mejora.....	77

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Características adicionales de la quinua.

ANEXO B: Máquinas trilladoras de quinua.

ANEXO C: Determinación de los requerimientos para la construcción de una trilladora de quinua.

ANEXO D: Prueba de campo máquina Trilladora Perfecta N 12.

ANEXO E: Estimación del coeficiente de cinético de rozamiento entre las panojas de quinua y el plástico.

ANEXO F: Experimento de fuerza de contacto de las panojas de quinua.

ANEXO G: Planos mecánicos detallados de la mejora.

GLOSARIO

GRAMINEAS: familia de plantas herbáceas.

PANOJA: Inflorescencia compuesta formada por un racimo cuyos ejes laterales se ramifican de nuevo en forma de racimo o a veces de espiga.

GLOMÉRULO: Tipo de inflorescencia cimosa sumamente contraída, adoptando una formas más o menos globular.

INFLORESCENCIA: La disposición de las flores sobre las ramas o la extremidad del tallo; su límite está determinado por una hoja normal.

AMILOSA: Molécula linear que consta de muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas.

AMILOPECTINA: Molécula del almidón que está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí, las moléculas de amilopectina son más grandes que las moléculas de amilosa.

DESAPONIFICADO: Proceso realizado por vía húmeda o abrasiva, con el fin de separar el polvo de saponina de los granos.

SIEGA: Corte y recolección del cereal o de la hierba maduros.

LEGUMINOSAS: familia de plantas características por tener el fruto tipo legumbre.

INTRODUCCIÓN.

La Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta pseudocereal de hace aproximadamente 5000 años, la cual crece entre los 2500 y 4000 MSNM. Fue reconocida en 1778, como una especie nativa de Sudamérica, donde fue la fuente de alimentación principal por miles de años. La quinoa catalogada con el grano de oro debido a su excepcional equilibrio de proteínas, grasas y carbohidratos, es considerada actualmente por los científicos como uno de los alimentos más completos que produce la tierra; se ha comparado incluso con la leche materna. La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el 2013, año internacional de la quinoa con el objetivo de centrar la atención en su importancia en la seguridad alimentaria y nutricional.

Por lo tanto en Colombia se han realizado proyectos con el fin de promover el cultivo y el fortalecimiento de la cadena productiva del grano de quinoa. Uno de esos proyectos que se impulsan actualmente, es el proyecto de regalías "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA". Este proyecto pretende potencializar el cultivo de la quinoa; promoviendo la agroindustria y siembra a gran escala, por medio del apoyo a los procesos de pos cosecha, valor agregado y calidad del grano. Uno de los procesos relevante en las operaciones de pos cosecha es la trilla; el cual no se ha tecnificado adecuadamente, por falta de estudios especializados en esta operación.

En este trabajo de grado se aborda la problemática que presenta la máquina trilladora "Perfecta No 12"; la cual contiene muchos mecanismos utilizados en gran parte de las máquinas trilladoras para granos, con la limitación de que la mayoría de estos no son especializados o propios para el tratamiento del grano de quinoa, lo que reduce calidad valor al grano. Además, por la naturaleza del proceso se requiere que las trilladoras en lo posible sean portables. Para solucionar la problemática se requiere una mejora tecnológica a la máquina.

En el primer capítulo se aborda las generalidades de la planta de quinoa y los procesos que son llevados a cabo para su transformación; explicando de manera general en qué consiste el proceso de trillado; en el segundo capítulo se describen las características y funcionamiento de la máquina trilladora "Perfecta No12"; con la ayuda de la ingeniería conceptual y básica se analiza el desempeño de la máquina trilladora N 12 con los requerimientos del proyecto de regalías "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA", con el fin de realizar una primera alternativa de la mejora tecnológica; en el capítulo 3 se realiza un análisis detallado de los requerimientos que debe cumplir la implementación de la propuesta de mejora tecnológica, para posteriormente diseñar de manera detallada sus elementos, se implementa el estándar ISA 88 como modo de evaluación de la mejora tecnológica del proceso de trilla.

1. GENERALIDADES DEL PROCESAMIENTO DE LA QUINUA.

En esta sección se presenta de manera general las diferentes características de la planta de quinua y su clasificación, teniendo en cuenta la diversidad que posee este cultivo y otras características relevantes para los procesos de transformación de la quinua. Además se presentan las diferentes operaciones o eslabones que se realizan o componen la cadena productiva de la quinua. Como también, se hace un énfasis en el proceso de trillado y los equipos que son utilizados en ella, con un estudio de sus respectivos sistemas.

1.1. RESEÑA HISTÓRICA.

La quinua, *Chenopium quinoa* Willd, *kañiwa* *Chenopium pallidicaule* Aellen y especies comestibles conocidas como *kiwicha*, *achis*, *milmi*, fueron un componente importante en la dieta alimenticia de los diferentes pueblos prehispánicos que ocupaban las tierras altas de los Andes, desde Colombia hasta Argentina y Chile. Su uso fue común hasta la importación masiva de trigo[1].

En el sur de Colombia se cultivaba la quinua en las tierras altas entre Pasto y Quito, debido a que las bajas temperaturas solo possibilitaban el cultivo de quinua sobre el de maíz. Los chibchas igual que diferentes tribus asentadas en la meseta Cundí-boyacense cultivaron intensamente la quinua. Se ha especulado que los antiguos habitantes de San Agustín en Huila, quienes tenían relaciones con los pobladores de la sabana de Bogotá, ayudaron al esparcimiento hacia el sur de Colombia y posteriormente al sur del continente[1].

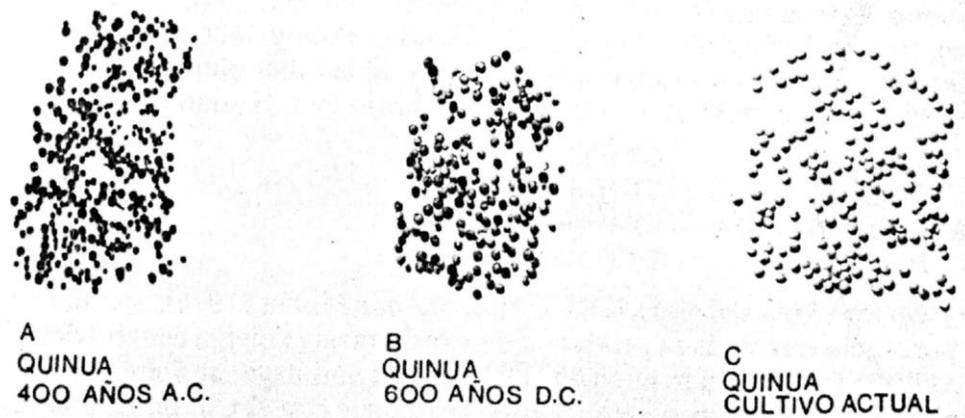
Los nombres que se le daban a la quinua variaban en tanto las regiones o idiomas que la conocían, los Chibchas la llamaban "*pasca*" que significa etimológicamente "la olla o comida del padre". El nombre primitivo de la quinua en el área de Bogotá era "*suba*" o "*supha*" (idioma Chibcha). En el resto de Colombia se había extendido el nombre quechua "*quinua*", pero en Cundinamarca el nombre indígena era "*parca*"[1].

1.1. EL ORIGEN DE LA QUINUA.

Estudios de quinuas del Altiplano de Puno y Cusco, relacionan la antigüedad del cultivo y el origen de la domesticación de la quinua, con el actual uso de las voces quechua "*kinua*" y aimará "*jupha*" y "*jiura*", lo cual se consideran pruebas de que las poblaciones de la raza aimará y quechua fueron las remotas domesticadoras de esta planta[1]. Se ha realizado una prueba de carbono 14 donde se muestran quinuas con diferentes fechas de antigüedad. Ver figura 1.

Las pruebas históricas indican que la domesticación de quinua por los pueblos de América puede haber sucedido entre 3.000 y 5.000 años antes de Cristo. Con el arribo de los españoles, la quinua tenía un desarrollo tecnológico adecuado además de una extensa distribución en el territorio Inca y sus alrededores. Pedro Valdivia el primer español en reportar el cultivo de quinua, quien al observar los cultivos próximos a la región chilena de Concepción señala que, entre otras plantas, los indios siembran quinua para su alimentación. Posteriormente en 1560 Cieza de León indica que la quinua se cultivaba en las tierras altas de Pasto y Quito y finalmente Humboldt, al visitar Colombia, enseña que la quinua siempre ha estado presente para los habitantes de Cundinamarca[1].

Figura 1. Muestras de quinuas de restos arqueológicos y la actualidad



Fuente. Artículo. Historia, distribución geográfica, actual producción y usos de la quinua

1.2. UTILIZACIÓN TRADICIONAL Y ACTUAL DE LA QUINUA.

Una vez domesticada la quinua se torna una parte importante de la subsistencia de las antiguas sociedades andinas. Se han hallado restos tanto en contextos domésticos, reflejando su incorporación en la dieta[1].

La quinua viene siendo utilizada desde siglos por los campesinos andinos que la han usado en su dieta habitual, incluso considerándola como un alimento adecuado para la seguridad alimentaria, esto significa que la conservan para los años de bajas cosechas que se suelen dar en las regiones altas de los Andes[2].

1.3. CLASIFICACIÓN DE LA QUINUA.

A través de un largo recorrido por los Andes se han diferenciado cinco grandes grupos de quinua principalmente por sus particularidades de adaptación a distintas condiciones agroecológicas en los Andes.

- Las quinuas de los valles interandinos, localizadas en las zonas meso térmicas, crecen a alturas entre 2000 a 3600 m.s.n.m. Poseen un gran desarrollo, pueden crecer a una altura de 2 a 2.5 m, son ramificadas, su periodo vegetativo es extenso, contiene panojas sueltas, con inflorescencia amarantiforme. Dentro de esta clasificación se encuentra la quinua blanca, amarilla y rosada[3].
- Las quinuas del altiplano norte del Lago Titicaca, crecen a una altura aproximada de 3800 m.s.n.m., tiene una alta resistencia a las heladas, con una altura de 1 a 2, no ramificados es decir solo contienen un tallo y panoja la cual es altamente conglomerada, poseen un corto periodo de crecimiento[3].

- Las quinuas de los Salares del Altiplano sur de Bolivia, las cuales se han adaptado a los suelos salinos, entregan un grano de mayor tamaño y amargos con altos porcentajes de proteínas, tienen una altura promedio de 1 a 1.5 m. muestran un solo tallo desarrollado[3].
- Las quinuas a nivel del mar, se cultivan en el centro y sur de Chile, con un grano oscuro de menor tamaño y amargo, generalmente no son ramificadas con un ciclo vegetativo largo[3].
- Las quinuas sub tropicales en la vertiente oriental de los Andes en Bolivia, los granos son pequeños y de color blanco o anaranjado[3].

Cada una de estos tipos de quinua requiere o soportan parámetros diferentes de humedad y temperatura, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos de humedad y temperatura, de los tipos de quinua

Grupo agroecológico	Precipitación m.m.	Temperatura mínima
De valle	700-1500	3 C
De Altiplano	400-800	0 C
De los Salares	250-400	-1 C
De nivel del mar	800-1500	5 C
Sub tropicales	0-2000	11 C

Fuente. Artículo. La diversidad genética de quinua en Bolivia

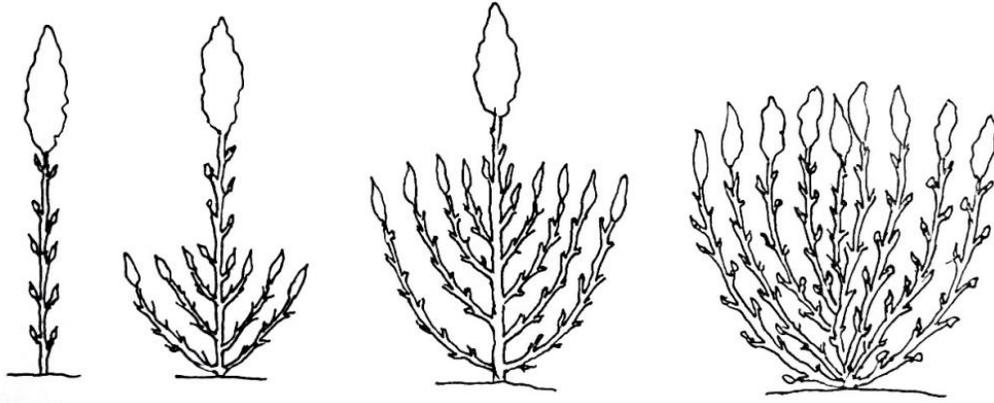
1.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.

1.4.1. Hábitos de crecimiento.

La quinua tiene cuatro diferentes hábitos de crecimiento. Ver figura 2 ,se observan los hábitos de crecimiento de izquierda a derecha: simple, ramificado hasta el tercio inferior, ramificado hasta el segundo tercio inferior y ramificado con panoja principal no diferenciada[4].

El tallo o eje principal es más desarrollado que los secundarios, su forma es cilíndrica y angulosa, su tamaño es variable siendo mayor en la base que en la punta de la planta. La corteza es algo compacta, en el exterior y en su interior contiene una médula menos compacta. Los diámetros del tallo varían según sus condiciones de cultivo y variedad, con rangos de 1 a 8 cm de diámetro[4].

Figura 2. Hábitos de crecimiento de la quinua

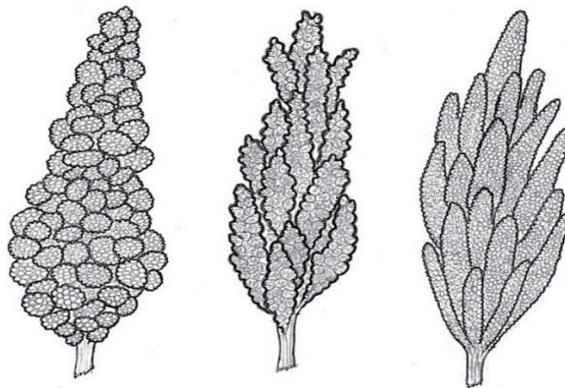


Fuente. Artículo. La diversidad genética de quinua en Bolivia

1.4.2. Forma y densidad de la panoja.

La quinua presenta tres formas de panoja: 'amarantiforme', cuando los glomérulos están insertos en el eje secundario y se observa una forma alargada; 'glomerulada' cuando los glomérulos están insertos en los ejes glomerulados y muestra una forma globosa por ultimo; la intermedia, cuando las panojas presentan ambas características. Las densidades de las panojas pueden ser laxa, intermedia o compacta[4], ver figura 3. Estadísticamente, el promedio de longitud de las panojas es aproximado a 40 cm, el diámetro es aproximado a 7cm, el número de glomérulos por panoja varia de 80 a 120, el número de semillas de 100 a 30000, con un rendimiento desde 48 a 250g por panoja[1].

Figura 3. Forma de panoja Glomerulada, Intermedia y Amarantiforme

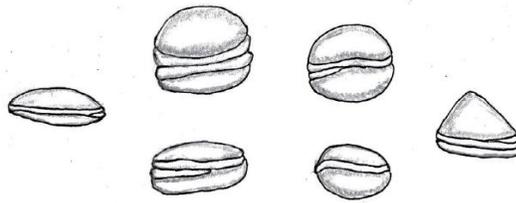


Fuente. Artículo. La diversidad genética de quinua en Bolivia

1.4.3. Color y forma de grano.

Los granos de quinua expresan una amplia diversidad de colores cuando alcanzan la madurez fisiológica, entre ellos: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café claro, café oscuro, café verdoso y negro[4]. Hay cuatro formas de grano de quinua, ver figura 4. De izquierda a derecha: lenticular, cilíndrica, elipsoidal y cónica. Las formas cilíndrica y lenticular, son granos adecuados que dependiendo de su contenido de amilosa y amilopectina, se pueden usar para la elaboración de productos como flanes, budines e instantáneos[4].

Figura 4. Formas de grano de quinua



Fuente. Artículo, La diversidad genética de quinua en Bolivia

Además existe diversidad de granos de quinua por sus colores y tamaños, como se muestra en la figura 5. Se puede comparar los tres colores comerciales, los cuales se encuentran en la parte inferior de la figura 5. Los granos de quinua tienen la particularidad al ser desaponificados, adquieren los tres colores comerciales[1].

Figura 5. Diversidad de formas, tamaños y colores de grano de quinua.



Fuente. Libro, Estado del arte de la quinua en el año 2013

1.4.4. Dimensiones de grano.

La variación del grano en la madurez de las respectivas razas varía desde 1.36 mm a 2.66mm. El grano de quinua por su diámetro se clasifica en cuatro categorías: tamaño 'extra grande' (mayores a 2,20) tamaño 'grande' (1.75 a 2,20 mm), tamaño 'mediano' (1,35 a 1,75 mm) y tamaño 'pequeño' (menores a 1,35 mm)[4]. Generalmente los granos de tamaño 'pequeño' se dan en la quinua de los altiplanos y valles interandinos, mientras que los granos de tamaño 'grande' se da en la quinua de los salares.

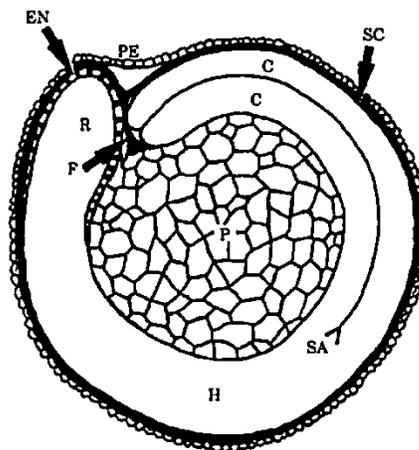
1.4.5. Fruto.

El fruto de quinua está cubierto por el perigonio, el color del grano está determinado por este y se asocia directamente con el de la planta.

La semilla está revestida por el epispermo en forma de una membrana delgada. El embrión está formado por los cotiledones y la radícula, forman la mayor parte del fruto que cubre al polispermo como un anillo. La capa externa del fruto llamada pericarpio. Ver figura 6, está pegado a la semilla y es donde se encuentra la saponina, la cual le confiere un sabor amargo a la quinua[5].

PE: Pericarpio
SC: Cubierta de la semilla
EN: Endospermo
C: Cotiledones
H: Hipocotilo
SA: Ápice del meristemo
R: Radícula
P: Perisperma
F: Funiculo

Figura 6. Componentes del grano de quinua/ corte transversal



Fuente. Tesis. Diseño y construcción de una trilladora y limpiadora de quinua.

Otras características adicionales de la planta de quinua se pueden observar en el anexo A.

1.5. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO.

El procesamiento de quinua empieza desde las fases de cosecha y pos cosecha que involucran las etapas de siega o corte, emparvado o formación de arcos, trilla, aventado y limpieza del grano, secado, selección, almacenamiento, elaboración de productos de valor agregado y uso directo del producto; las cuales han sido alteradas con innovaciones tecnológicas a escala industrial, desplazando las prácticas tradicionales, las cuales son concebidas para producción de pequeña escala[1].

1.5.1. Cosecha.

La cosecha se realiza cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica. Esta madurez se confirma con la resistencia que ofrece el grano a la presión de las uñas.

La cosecha de quinua contiene varias etapas según la tecnología empleada. Cuando el trabajo se hace de forma manual y usando trilladoras estacionarias las etapas son: siega o corte, emparvado, trilla, aventado y limpieza del grano, secado, selección, envasado y almacenamiento. Cuando el trabajo se realiza de forma mecanizada con cosechadoras combinadas las etapas de corte, trilla y venteo se realizan simultáneamente[1], posteriormente se realizan las etapas de selección, envasado y almacenamiento.

1.5.2. Arrancado y siega.

Manualmente, la siega se puede realizar de diferentes formas ya sea, arrancando las plantas, corte con hoz y por medio de motosegadora. La siega de la planta madura se realiza a una altura entre 10 y 15 cm desde la superficie del suelo; lo cual permite que restos de tallo y raíz queden en el suelo, protegiéndolo de la erosión, para que luego se conviertan en materia orgánica. En la etapa de siega se va incorporando paulatinamente el uso de hoces, azadones o segadoras mecánicas. Con lo cual se disminuye significativamente la contaminación del grano con arena piedrecilla y tierra[1]. En la figura 7 se muestra la realización de este proceso.

Figura 7. Prácticas de siega con hoz y segadora mecánica manual.



Fuente. Libro. Estado del arte de la quinua en el año 2013

1.5.3. Emparvado.

El emparvado de la quinua consiste en agrupar las plantas segadas, en forma de arcos con el fin de secar las plantas y panojas. Con el fin de evitar que se malogre la cosecha por eventos climáticos adversos[3].

Existen varias formas o métodos de emparve. La más utilizada consiste en formar pequeños montículos dispuestos en el interior de la parcela; otra radica en realizar el emparve de forma lineal con las panojas dispuestas a un solo lado; también, se colocan las panojas suspendidas en un lazo extendido donde las panojas quedan señalando hacia el suelo. Se hacen parvas en forma circular con las panojas orientadas al interior del círculo; otra manera popular de emparvado es en arcos con las plantas en forma de X o cruz, con las panojas en la parte superior, lo que permite buena aireación y por lo tanto el secado más rápido respecto a otras formas, ver figura 8. Las parvas deben permanecer en el campo el tiempo estrictamente necesario para evitar el ataque de roedores y aves[1].

Figura 8. Emparvados en línea y cruz



Fuente. Libro. Estado del arte de la quinua en el año 2013

1.5.4. Trilla.

La trilla consiste en la separación de la panoja, se efectúa sacando las panojas secas de la parva, la cual se extiende sobre mantas preparadas anteriormente. En algunas ocasiones se apisona un terreno plano, con arcilla bien apisonada a manera de loza lisa y consistente. Después se procede a golpear las panojas o realizar el respectivo procedo de trillado[5]. Antes de iniciar la trilla, es importante verificar que la humedad del grano no exceda el 15%. Esta labor se realiza de acuerdo a la disponibilidad de equipo y la topografía del lugar. Hay diversas maneras de realizar la etapa de trillado, entre estas la práctica de trilla tradicional, la cual utiliza una "huajtana" que es un palo macizo con el que se golpea las panojas para desprender el grano. También se emplean animales de carga para pisar las panojas e incluso en se han utilizado ruedas de un tractor para el mismo fin. Actualmente esta etapa se está mecanizando, empleando trilladoras estacionarias[6]. Ver figura 9.

Figura 9. Trillado mecánico de quinua



Fuente. Reportaje. Periódico Los Tiempos

1.5.5. Hameado o zarandeo.

El hameado consiste en separar el grano del despojos de la planta que incluye fragmentos de hojas, pedicelos, perigonio, inflorescencias y pequeñas ramas. Para la labor manual de este proceso se utilizan zarandas entre 0,80 m x 1,50 m que suelen ser de malla o planchas perforadas con orificios de 3,5 a 4mm. Los trabajadores realizan movimientos de balanceo para separar los granos del despojo de la planta. El hameado es una tarea tediosa y polvorienta, ver figura 10; el viento puede ser perjudicial o benéfico dependiendo de su intensidad[1].

Figura 10. Labor de hameado



Fuente. Libro, Estado del arte de la quinua en el año 2013

1.5.6. Venteado.

El venteado de grano consiste en separar las impurezas livianas aprovechando el viento en la práctica manual o tradicional y por medio de trabajos de sopladores o ventiladores en venteadoras mecánicas.

El venteo manual se realiza utilizando recipientes para recoger una porción de quinua previamente harneada y dejarla caer en dirección transversal en dirección al viento. En el venteo mejorado se utilizan venteadoras mecánicas. Las venteadoras generan corrientes regulares de aire y poseen una tolva de alimentación donde cae el grano en una cantidad constante, ver figura 11. Estos equipos son relativamente económicos y permiten realizar el proceso de venteo sin depender de factores ambientales o época del año[1].

Figura 11. Venteo de quinua



Fuente. Libro. Estado del arte de la quinua en el año 2013

1.6. MÉTODOS DE TRILLADO.

La trilla es el proceso donde se separa el grano de la panoja. Antes de realizar el proceso de trilla es importante verificar que la humedad del grano no exceda el 15%, debido a que los granos se pueden adherir a los mecanismos y no se puede cernir de forma óptima. La operación de trilla con respecto a la topografía del lugar y a la disponibilidad de equipo[1].

La trilla tradicional se realiza utilizando un palo macizo llamado "huajtana" con el cual se golpean las panojas para desprender el grano. Ver figura 12. En planicie se realiza la trilla por medio de pases consecutivos de un tractor. Ver figura 12b. La trilla utilizando tractores u otro tipo de vehículos e incluso se ha llegado a utilizar animales de carga, se ejecuta sobre carpas dispuestas en el suelo formando una plataforma, la plataforma debe cubrir toda la superficie con el propósito de que las llantas no tengan contacto con tierra o arena y contaminen el grano[1].

Para la trilla sobre la plataforma preparada se disponen de las plantas secas en dos hileras paralelas con las panojas orientadas hacia al interior. Ver figura 13. La distancia entre estas hileras corresponde a la distancia entre las ruedas del vehículo. Los movimientos de avance y retroceso del vehículo sobre las panojas colocadas en hileras, logran separar el grano de la panoja. Los desechos se separan paulatinamente por medio de rastrillos y se colocan por fuera de la plataforma. Este ejercicio se realiza varias veces hasta conseguir un grano parcialmente pulido mezclado con algunos restos de la planta.

Figura 12. (a) Trilla tradicional de quinua; (b) Trilla con tractor



Fuente. Libro. Estado del arte de la quinua 2013

Figura 13. Trilla de quinua con camión

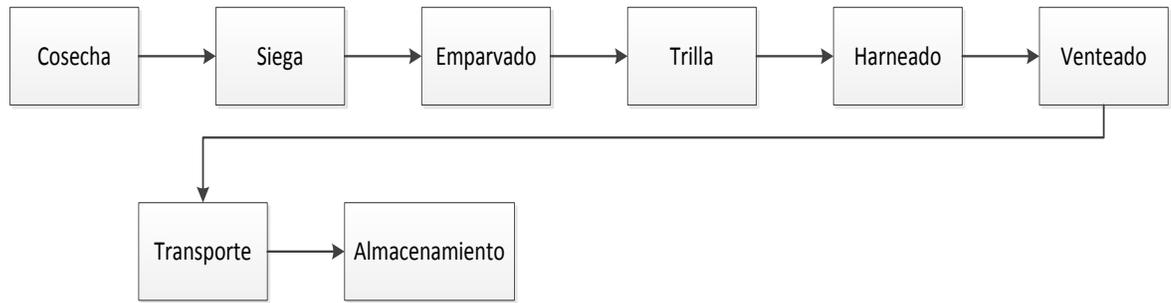


Fuente. Libro. Estado del arte de la quinua 2013

En la trilla mecánica de quinua se utilizan o se adaptan otras máquinas, las cuales se pueden observar en el anexo B.

Con el fin de mostrar secuencialmente y ordenadamente las etapas del proceso que se realizan en la cosecha y pos cosecha de quinua, se muestra un diagrama donde se resumen las etapas que se realizan en el proceso de cosecha y pos cosecha de quinua, ver figura 14.

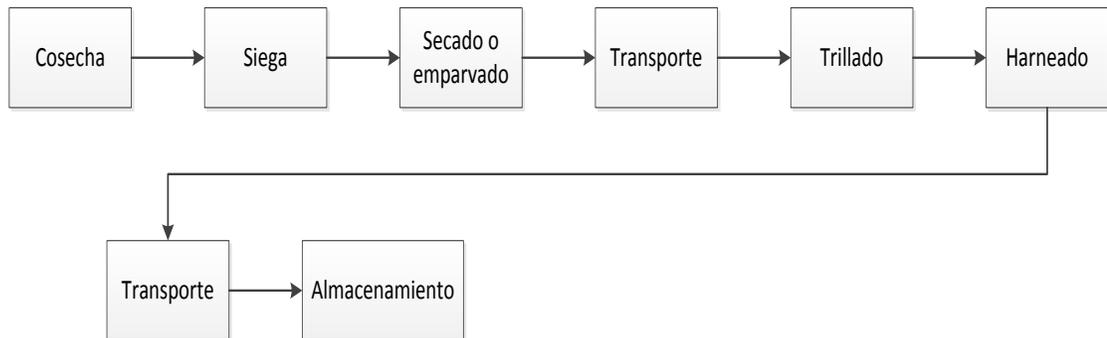
Figura 14. Diagrama de proceso de cosecha y post cosecha de quinua.



Fuente. Propia

El proceso de cosecha y pos cosecha de quinua en el municipio de San Juan, Bolívar Cauca posee diferencias con el proceso general descrito anteriormente debido, principalmente al clima y la disponibilidad de maquinaria en las áreas de cultivo, por lo cual el diagrama del proceso de cosecha y pos cosecha específico es diferente al general ver figura 15.

Figura 15. Diagrama de proceso de cosecha y post cosecha de quinua en San Juan, Bolívar



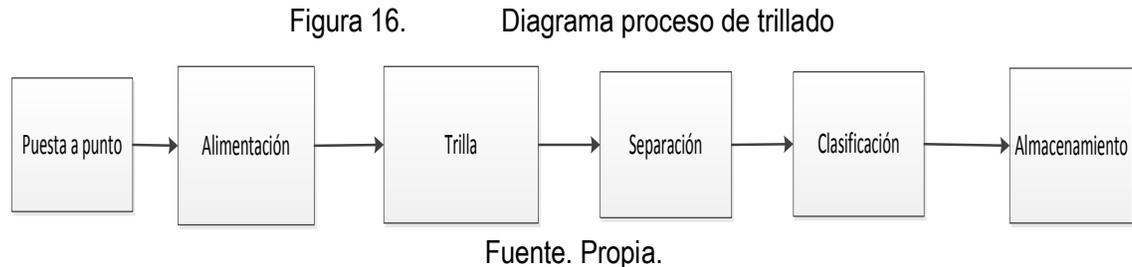
Fuente. Propia

1.6.1. Proceso de trillado.

La primera operación que se realiza consiste en la puesta a punto de la máquina trilladora, por medio del acople entre el motor y la máquina por medio de una correa de cuero, al igual que la colocación de las diferentes correas que conectan los diferentes mecanismos de la máquina. Luego se alimenta la máquina ingresando panojas de quinua, estas panojas se topan con el sistema de trilla el cual consiste en un cilindro dentado, el cual gira a gran velocidad por lo que golpea las panojas separando el grano del resto de la planta; el mismo movimiento de rotación y golpeteo ejercido en la panoja hace que esta se desplace, luego se tiene un sistemas de tamices y ventiladores que permiten separar completamente y clasificar los granos, para su posterior almacenaje en bultos. Finalmente se extrae

el resto de la planta ya sea por medio de zarandas, efecto de gravedad, etc. el cual puede ser utilizado como material orgánico en posteriores cosechas.

El proceso de trilla de grano de quinua, consiste en diferentes operaciones ver figura 16.



1.7. MECANISMOS DE TRILLADO.

De manera general las máquinas trilladoras constan de las siguientes partes principales:

- Sistema de alimentación
- Sistema de trilla
- Sistema de separación
- Sistema de clasificación y limpieza

1.7.1. Sistema de alimentación.

El sistema de alimentación generalmente está ubicado más alto que la máquina, debido a que el material cae al mecanismo de trillado por gravedad, entonces la tolva de alimentación se ubica de manera que el operario alcance a ingresar el material en ella y disminuya esfuerzos. Dependiendo del flujo de material que soporta la máquina, la tolva tomará ciertas dimensiones, la forma de la tolva de alimentación no influye demasiado en el rendimiento de la máquina, pero sí es importante buscar una forma que favorezca el desempeño del operario, en operatividad y seguridad, teniendo en cuenta que la tolva de alimentación desemboca directamente en el mecanismo de trilla. Además, si la trilladora no es alimentada por un operario sino por otro mecanismo, la tolva tendrá otras consideraciones de diseño[7].

1.7.2. Sistema de trilla.

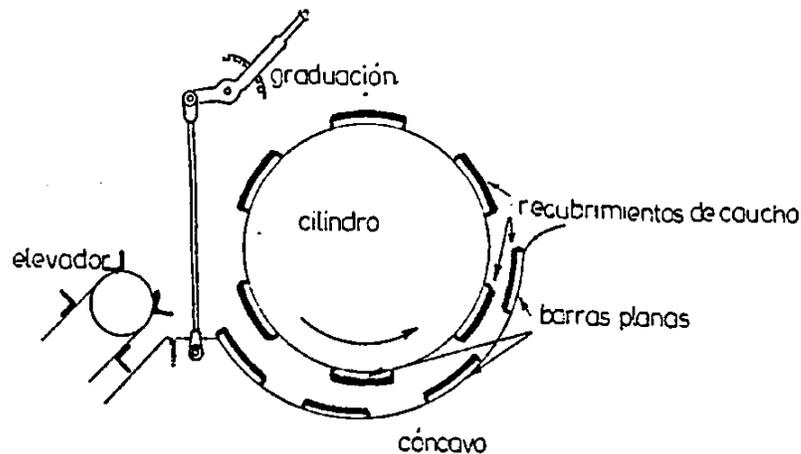
Ya que este mecanismo es el principal componente de la máquina, el que realiza la función principal en el desgranado, las máquinas que realizan este proceso son nombradas trilladoras. Su función es arrancar los granos de las espigas, en caso de plantas gramíneas, o de las vainas en caso de leguminosas. Hay dos tipos de mecanismos de trilla:

- Por fricción
- Por impacto

Los mecanismos *por fricción* constan de un elemento plano dinámico que pasa paralelo a otro estático y entre ellos fluye el material. Este tipo de mecanismo recibe el nombre de *trillador de barras planas*

ver figura 17. El material de las barras contiene hendiduras o puede ser caucho para incrementar la fricción. La distancia entre los primeros elementos en contacto y los últimos aumenta, y el ancho de las barras determina la cantidad de fricción. La distancia entre el cilindro y el cóncavo dependen de la clase del grano, la velocidad del cilindro se debe graduar dependiendo de la madurez y humedad del grano. Es importante saber que el porcentaje de grano trillado aumenta al aumentar la velocidad del cilindro pero también aumentará el porcentaje de grano dañado[7].

Figura 17. Trillador de barras planas con caucho



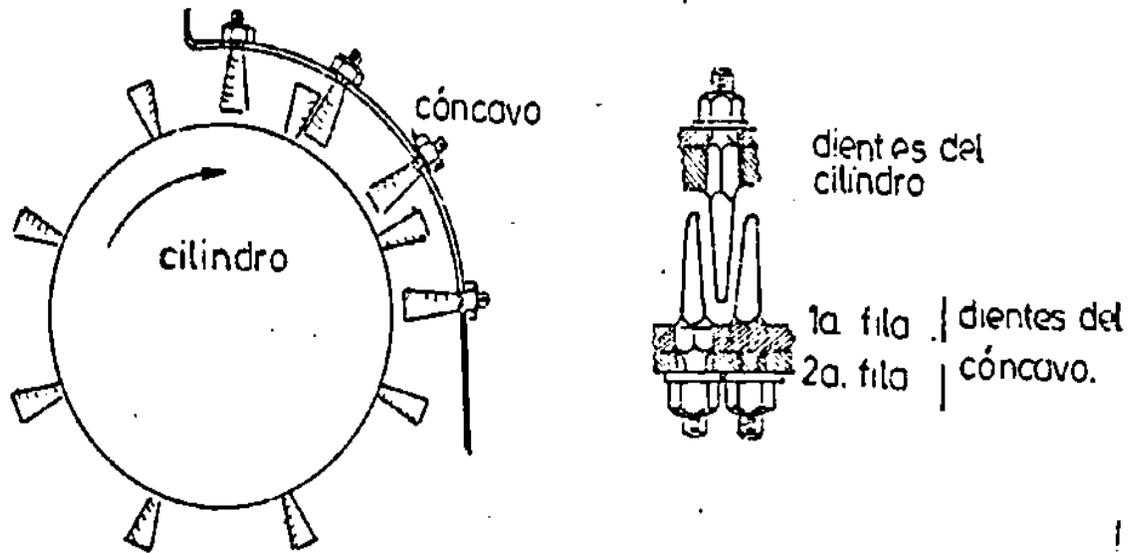
Fuente. TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo

Los mecanismos *por impacto* a diferencia del de fricción los elementos trillantes (dientes) del cilindro se entrecruzan con los del cóncavo, los elementos trillantes golpean el material para desprender el grano, y eliminando la fricción, ver figura 18. La distancia entre el cóncavo y el cilindro no es de relevancia en el proceso. Si la velocidad del cilindro aumenta, aumentan los impactos. Este sistema puede trillar varios tipos de granos sin configurar las características del mecanismo, razón por la cual este sistema es el más popular[7].

Si el grano es delicado y se desean cuidar algunas propiedades físicas, es recomendable usar mecanismos por fricción. También se han desarrollado métodos híbridos, que al combinar propiedades de los sistemas de trillado se logra obtener fricción e impacto. También existen desarrollos en mecanismos para semillas y granos que requieren no más de un impacto suave para la trilla[7].

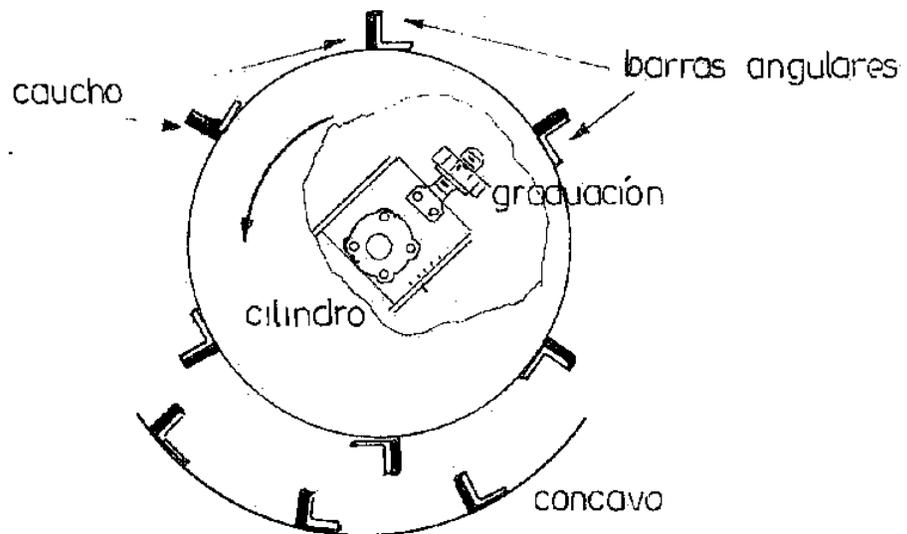
Un mecanismo híbrido es el trillador de barras angulares con caucho, ver figura 19, en donde las barras están dispuestas helicoidalmente sobre el cilindro. El trillador de resortes, es otro mecanismo híbrido, ver figura 20, se usa para granos que requieren un mínimo esfuerzo para ser desprendidos, los resortes golpean el material y desprenden el grano [7].

Figura 18. Trillador de dientes



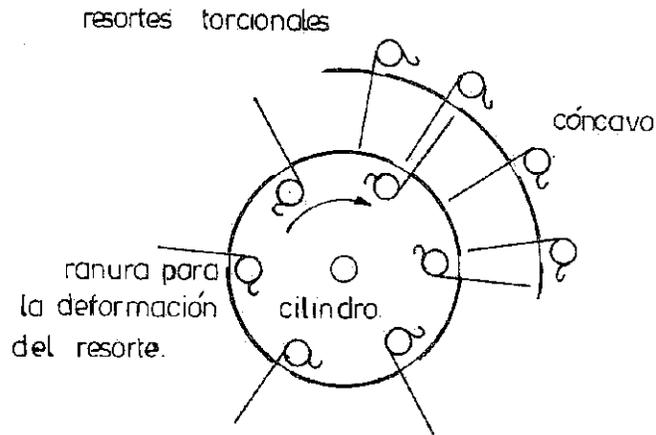
Fuente. TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo

Figura 19. Trillador de barras angulares con caucho



Fuente. TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo

Figura 20. Trillador de resortes

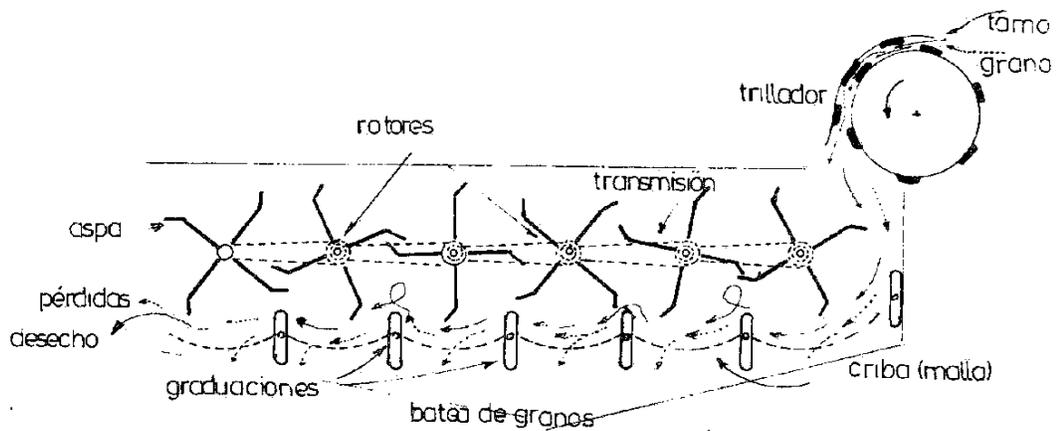


Fuente. TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo

1.7.3. Sistema de separación.

Un reciente desarrollo es un sistema de rotores como se indica en la figura 21. Este sistema recibe el material del trillador, el material recorre las cribas cóncavas, el grano pasa a través de ellas y el tamo es retirado. Cada vez que el material pasa al siguiente rotor, este se reorganiza para separar más grano. La velocidad del primer rotor al último, aumenta con el propósito de que el grano que está aún sujeto a la planta se desprenda. El mecanismo necesita muchos elementos y a veces es modificado por ganchos con cigüeñales u otros[7].

Figura 21. Separación con rotores

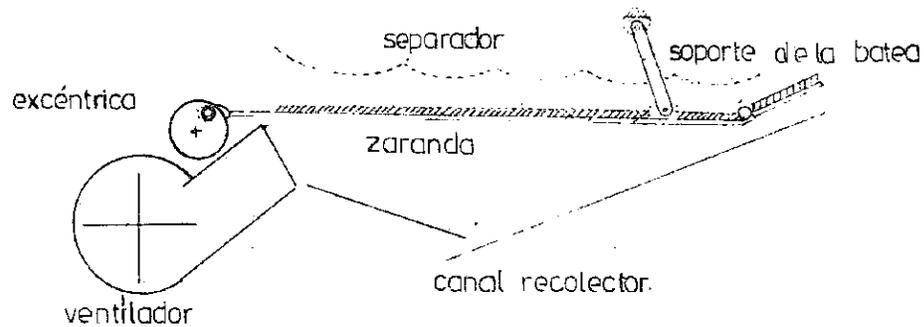


Fuente. TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo

1.7.4. Sistema de clasificación y limpieza.

Se hace mediante un arreglo de zarandas o tamices y un movimiento oscilatorio llamado *bateo*, las zarandas son intercambiables a razón del diámetro de sus orificios según el tipo de grano. Las impurezas más grandes van quedando encima de cada tamiz hasta que en lo posible quede solo grano, para expulsar las impurezas que quedan encima de los tamices, se generan corrientes de viento con la ayuda de un ventilador, ver figura 22[7].

Figura 22. Clasificación y limpieza



Fuente. TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo

2. INGENIERÍA BÁSICA Y CONCEPTUAL.

En esta sección se comienza describiendo las partes y funcionamiento de la máquina desgranadora de trigo y cebada (Trilladora Perfecta No.12), la cual es utilizada actualmente para el trillado de quinua en muchas regiones del país. Se evalúa el desempeño de esta trilladora, con respecto a los requerimientos del proyecto de regalías "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA", para formular una primera alternativa de mejora tecnológica.

2.1. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA MÁQUINA ACTUAL.

Para realizar la cosecha de grano (trillado), actualmente en el sur de Colombia se ha estado usando una máquina estacionaria producida por la empresa nariñense Zutta Hermanos, referida con el nombre de "Trilladora de Cebada y Trigo Perfecta No. 12", ver figura 23. El precio de la máquina con un motor de combustión, oscila alrededor de los 6'500.000 pesos colombianos, no incluye mantenimiento ni asistencia técnica. Está construida principalmente en hierro y madera, sus dimensiones aproximadas son de 1.4m de alto 8.6m de ancho 3.2m de largo y su transporte se hace con ayuda de un automotor. Para poder trillar quinua se ha modificado la máquina, solo cambiando el diámetro de orificio de las zarandas, lo que no favorece la eficiencia del proceso de desgranado y la calidad del grano obtenido después del trillado con esta máquina.

Figura 23. Trilladora "Perfecta" Zutta Hermanos



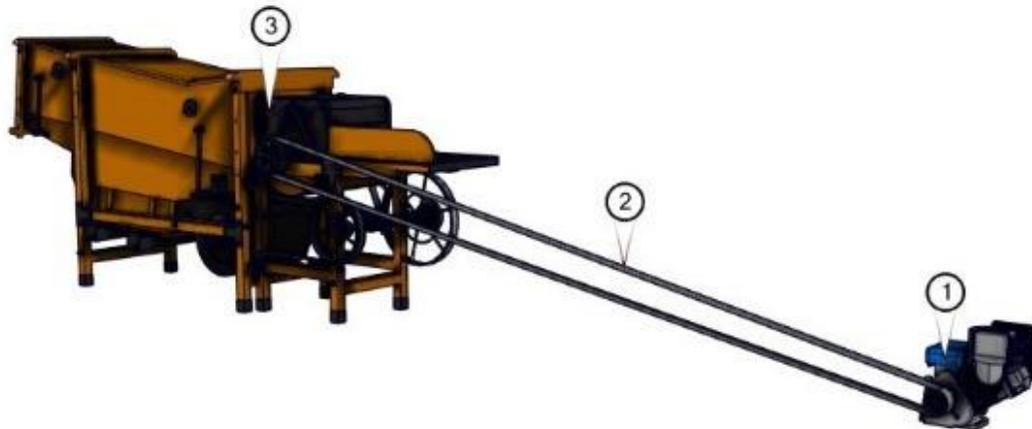
Fuente. Página web. <http://sites.amarillasinternet.com/zuttahermanos/>

2.1.1. Partes principales de la máquina actual.

Para hacer un mejor estudio de la máquina, se levanta en 3D los planos de esta, haciendo uso del software Solidworks SP0 en su versión 2015, ver figura 24. El sistema se compone de un motor (7-10HP) de combustión a gasolina (punto. 1 figura 24), para transmitir potencia a los mecanismos el sistema se acopla con una banda (punto. 2 figura 24), los mecanismos para el desgranado completan

la máquina (punto 3 figura 24). Los mecanismos son la parte principal de la máquina trilladora presentada, las principales partes que componen esta máquina, al igual como se presentó en el punto 1.8 del capítulo 1, son: el sistema de alimentación, sistema de trilla, sistema de separación y sistema de clasificación.

Figura 24. Trilladora y motor en Solidworks



Fuente. Propia

El sistema de alimentación es una bandeja plana, de madera, cubierta con lámina de zinc de 1mm de espesor (punto 1 figura 25). Las panojas o tamo se extienden a lo largo de la bandeja y se desliza para que estas entren al sistema trillador.

El sistema trillador consta de: un cilindro dentado (punto 2 figura 25), construido en hierro, con 8 carreras de dientes, montado sobre un eje con dos poleas; una que recibe la banda del motor y la otra más pequeña (punto 3 figura 25) que transmite el movimiento a la polea de la excéntrica. La cóncava (punto 4 figura 25) está construida en hierro y contiene 4 carreras de dientes. Los dientes del cilindro y el cóncavo van intercalados para producir el impacto para la trilla. El sistema o grupo trillador y el sistema de alimentación, están montados a un armazón de madera (punto figura 25).

El sistema de separación consta de un cuerpo en madera al que van montado: un cigüeñal delantero y otro posterior (punto 6 figura 25), el delantero recibe el movimiento del eje de la polea más pequeña montada en el eje de la excéntrica (punto 7 figura 25), el primer cigüeñal y el segundo se unen por medio de 3 cintas de madera (punto 8 figura 23) cada una con carreras de ganchos que expulsan el tamo hacia el exterior de la máquina. Además contiene una zaranda (punto 9 figura 25) con diámetro de orificio grande para separar residuos más gruesos que el grano.

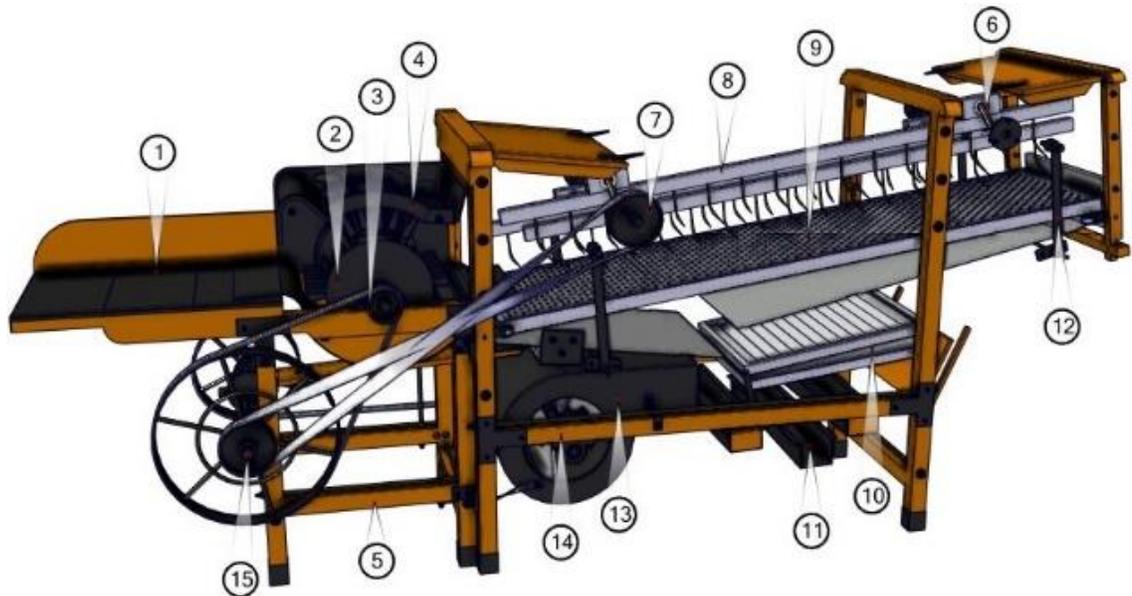
El sistema de clasificación está formado por un juego de zarandas (punto 10 figura 25), acomodadas de mayor a menor diámetro de orificio, de arriba hacia abajo. El grano clasificado cae hacia los canales (punto 11 figura 25), por donde el grano sale con cierto grado de impureza. Al cuerpo de madera del sistema de separación está montado el cuerpo de madera del sistema clasificador, por medio de unos balancines (punto 12 figura 25). El cuerpo de madera del sistema clasificador junto con la zaranda del

sistema separador hacen un movimiento de bateo que realiza la separación y clasificación del grano. Además un ventilador (punto 13 figura 25) ayuda a limpiar el grano de las impurezas más finas, este está fijo a un armazón de madera (punto 14 figura 25), que también soporta los armazones del sistema de separación y clasificación.

Para transmitir el movimiento en esta máquina se hace uso de bandas y poleas. Desde el motor acoplado a una polea pequeña se transmite el movimiento al eje del cilindro, luego al eje de la excéntrica (punto 15 figura 25), a este eje se acoplan distintas poleas; una para transmitir el movimiento hasta el cigüeñal delantero, otra para el ventilador. El nombre "eje de la excéntrica" se debe a que a él está acoplada una excéntrica, la cual convierte el movimiento rotacional en lineal para realiza el bateo para el sistema de clasificación que, por medio de una cinta de madera, recibe el movimiento.

La máquina también contiene otros elementos como: chumaceras con rodamientos para soportar los ejes, tornillos cabeza hexagonal y plana, tuercas, arandelas, varillas roscadas, bisagras y platinas metálicas para fijar los componentes de madera con otros de metal y de madera.

Figura 25. Partes principales trilladora perfecta.



Fuente. Propia.

2.1.2. Funcionamiento.

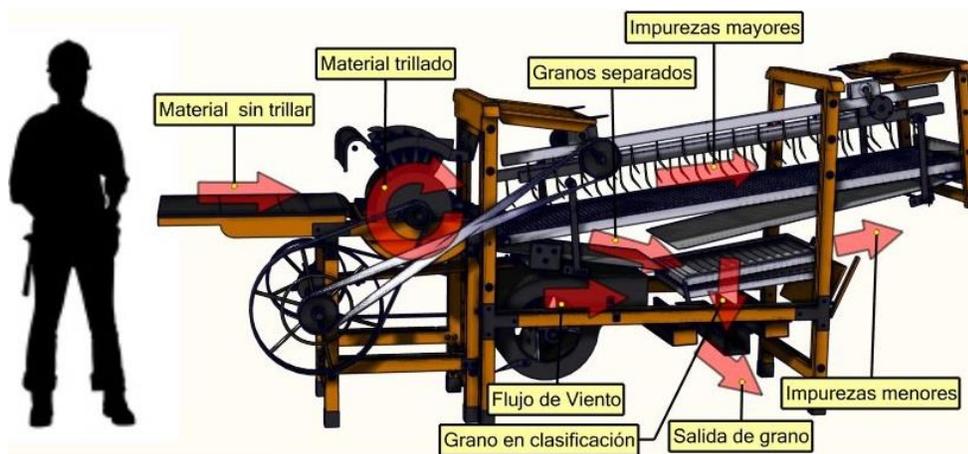
Para poner en marcha la máquina se deben hacer ajustes previos. Primero se deben colocar los mecanismos (el cuerpo de la máquina), en una superficie plana y firme, en lo posible nivelar y asegurar firmemente sus soportes, si no se nivelan, el trillado puede tener defectos. El motor se debe fijar a una distancia aproximada de 4m, sobre un riel de madera nivelada y fija, además la polea del motor debe estar alineada con la polea del cilindro trillador. Luego se monta la banda que transmite el movimiento

del motor hacia los mecanismos, se tensa de manera que no se desalinee fácilmente ni que vaya a forzar los ejes. Si las correas de las demás poleas están flojas se deben ajustar al igual que la correa del motor. También se debe verificar la configuración de las zarandas, configurar de acuerdo al material que se esté por trillar; y si ya están configuradas, verificar su ubicación.

Antes de empezar a trillar se debe realizar un proceso de limpieza. Se pone en marcha la máquina, para que en su funcionamiento, la ventile y la limpie. Luego de terminado el período de limpieza, el operario debe apilar la quinua en el lugar más cercano para que por cantidades aproximadas de veinte panojas, se alimente la máquina. Las panojas se deben deslizar hacia el grupo trillador por la bandeja de alimentación, cuando ingresan las panojas a la máquina ocurre el siguiente proceso.

La espiga, vaina o calceta impacta con el cilindro en rotación, la hace impactar con los dientes del cóncavo y luego envía el material hacia la zaranda de separación, el grano revuelto con pajas cae a la zaranda de separación la cual deja pasar el grano hacia el sistema de clasificación y los ganchos expulsan el tamo más grueso al exterior, a lo largo de la zaranda de clasificación el material es reorganizado y de nuevo las vainas sueltan más grano. El sistema clasificador hace un movimiento de bateo para clasificar el grano, el ventilador aleja las impurezas más livianas y las expulsa fuera de la máquina, la primera zaranda de este sistema es de orificio de mayor diámetro y el materia que clasifica sale por un canal, la siguiente zaranda de menor diámetro de orificio limpia, da una mejor clasificación del grano y la envía por otro canal, la última zaranda lo clasifica aún mejor y lo envía por un último canal, ver figura 26.

Figura 26. Flujo de material en la máquina



Fuente. Propia

2.2. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS.

Con respecto a los requerimientos presentados en el proyecto "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA" con respecto a una máquina trilladora de quinua que se adapte a las condiciones, necesidades económicas y sociales del pequeño y mediano agricultor del departamento del Cauca. Se proponen las siguientes condiciones de

operación. (Los requerimientos completos del proyecto anteriormente mencionado se presentan en el anexo C).

2.2.1. Portabilidad.

Se busca una trilladora que no sea de tamaño considerable para su transporte, que solo estén disponibles en el centro de acopio, así el campesino se evitará transportar grandes volúmenes de panojas para obtener menos del 50% en producto. La trilladora debe presentar mayor portabilidad sin sacrificar resistencia ni rendimiento. Es vital que no tenga un peso superior a los 400 kg con motor incluido y posea un sistema que permita el transporte de la máquina por medio de diferentes medios de transportes como vehículos, caballos o/y personas.

2.2.2. Fabricación Nacional.

Debido a la facilidad de mantenimiento, reparación y capacitación, se tiene preferencia por máquinas elaboradas en el ámbito nacional, permitiendo a los productores acceder sin muchas dificultades a las necesidades que se pueden presentar con respecto a la máquina como la disponibilidad de repuestos, adquisición de nuevas máquinas y capacitaciones.

2.2.3. Fácil manejo y mantenimiento.

Los productores deben tener las capacidades para manipular la trilladora con claridad, confianza, tranquilidad y seguridad. La máquina no debe presentar fallas recurrentes y si eventualmente se llegan a producir, los productores deben tener la capacitación, medios y herramientas necesarios para solucionarlos. Es importante que la máquina sea modular y desmontable, para cuando se presente una falla en las partes internas o se realice un mantenimiento periódicamente.

La máquina debe poseer una tolva, plataforma o bandeja recolectora para poder ingresar las panojas eficientemente, sin presentar atascamiento o detención del proceso de trillado, el mecanismo de ingreso debe impedir la pérdida de grano por rebote o devolución por parte del golpe de los rodillos de trillado así como minimizar el riesgo que el productor salga lastimado. Además debe contener un sistema de recolección de granos y subproductos, capaz de obtener las panojas que necesiten volver a ingresar al proceso de trillado, los sacos de almacenamiento puedan adaptarse a las salidas de grano y contar con un sistema de nivelación que permita estabilizar la máquina y el motor sobre diferentes terrenos con facilidad o una estructura integrada con el motor y evitar la necesidad de estabilizar ambas partes y detener el proceso por desajuste de las bandas.

2.2.4. Al alcance de medianos y/o pequeños productores y/o asociaciones.

Se contempla la posibilidad de un equipo más compacto y de menor rendimiento pero sostenible para el cultivo, cuyo valor de adquisición sea lo suficientemente bajo o moderado para que agricultores fuera del proyecto puedan acceder a este tipo de máquinas.

2.2.5. Requerimientos de la zona.

La máquina debe resistir a las condiciones medioambientales predominantes en la zona de influencia del proyecto, el cual es un clima húmedo de bajas temperaturas, debe trabajar al sol y al agua sin que esto afecte su rendimiento de trillado. Además de resistir los viajes entre veredas y pueblos por

diferentes medios de transporte en vías primarias, secundarias y terciarias. Por lo cual la estructura y material de la máquina debe ser robusta.

2.2.6. Requerimientos del cultivo.

La máquina debe contar con un sistema de ventilación que permita la disminución de impurezas en el producto final y tenga la potencia suficiente para funcionar con grano relativamente húmedo. Un juego de tamices que garantice una buena selección y clasificación. Un motor cuya fuente de energía sea combustible, capaz de trabajar durante 8 a 10 horas diarias continuas, con un sistema de alimentación y desfogue apartado de la entrada y salida de producto para no incidir en la calidad final de este.

La máquina debe tener un rendimiento mínimo de 1 Ton/ día y un soporte resistente capaz de proporcionar estabilidad al equipo en pleno funcionamiento y que esta se mantenga durante las largas jornadas laborales en épocas de cosecha. Se realiza un análisis para determinar los requerimientos que cumple la máquina actual, para apreciar el nivel de cumplimiento de cada uno de los ítems que se especifican en el anexo C.

Figura 27. Cumplimiento de los requerimientos de la máquina actual

Requerimientos	Cumplimiento
Portabilidad	
Peso aproximado entre 100 y 400 kg con motor incluido.	NO CUMPLE
Sistemas que permitan el fácil traslado de la máquina	NO CUMPLE
Fácil manejo y mantenimiento	
Sistema de alimentación eficiente	CUMPLE PARCIALMENTE
Mecanismos de seguridad	NO CUMPLE
Mecanismos de recolección de granos	CUMPLE
Mecanismos de recolección de subproductos	NO CUMPLE
Mecanismos de nivelación	NO CUMPLE
Requerimientos de la zona	
Estructura y material resistentes a las condiciones ambientales agroecológicas.	NO CUMPLE
Acero inoxidable en las partes de contacto con el grano.	NO CUMPLE
Requerimientos del cultivo	
Sistema de ventilación.	CUMPLE
Juego de tamices.	CUMPLE PARCIALMENTE
Sistema de trillado eficiente.	CUMPLE PARCIALMENTE
Resistencia de la máquina para trabajo en jornadas largas y continuas.	CUMPLE
Motor de combustible.	CUMPLE
Sistema de alimentación y desfogue del motor apartados de salida y entrada de grano.	CUMPLE

Estructura estable.	CUMPLE
Fuente. Propia	

Teniendo en cuenta que el cumplimiento parcial de un ítem se considera como el cumplimiento del 50% de este, por lo tanto el cumplimiento parcial de dos ítems, se supone como el cumplimiento de uno. Se puede concluir que la máquina actual cumple con un 46% de los requerimientos. Lo cual termina siendo insuficiente, por lo tanto es necesario aplicarle mejoras tecnológicas a la máquina actual con el fin de satisfacer todas las necesidades expuestas anteriormente.

2.3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

2.3.1. Consideraciones.

El grano es el principal aspecto para tener en cuenta en el diseño. Características físicas de forma, tamaño, volumen, área superficial, densidad, color, apariencia y textura del grano. Propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, al corte, a las cargas de impacto, el coeficiente de fricción y algo muy determinante como las cualidades hidrodinámicas. Además de propiedades térmicas, y ópticas, determinan el diseño mecánico, diseño del proceso y robustez del prototipo.

La humedad es un factor muy influyente en el comportamiento del grano, en el momento de la trilla. El grano disminuye su tamaño si disminuye el porcentaje de humedad. También el bajo porcentaje de humedad exige menos fuerza de separación, alta resistencia del grano y baja deformación, favoreciendo la conservación del grano. Mucha humedad en el grano hace que se generen grumos de grano y tamo en los sistemas mecánicos. Cabe aclarar que la humedad depende del ambiente en el que se cultiva la quinua, el grano y la planta varía sus propiedades dependiendo del país o región donde se cultive. Las zonas de cultivo de quinua en el Cauca y Colombia poseen un grado de humedad superior al deseado (12%) para la quinua. Además, en muchas ocasiones para evitar daño de la quinua por las lluvias y alta humedad, la siega o corte se hace antes de su madurez total; por lo tanto la humedad es un factor que determina gran parte del diseño de los mecanismos y control de la máquina [7].

El operario debe ser apto para realizar el proceso, el operario puede disminuir pérdidas y hacer más eficiente el trabajo de la máquina con su conocimiento del proceso y de la máquina. *El sistema de alimentación* de la máquina se debe diseñar favoreciendo el trabajo del operario, en forma, tamaño y seguridad. Por otro lado, la manera como el material reposa en el sistema de alimentación es importante, se debe establecer si el material fluye por gravedad, por una fuerza de empuje, vibración, o debe permanecer en reposo [7].

El sistema de trilla contiene dos elementos importantes: el cilindro y el cóncavo, el espaciamiento entre estos y la velocidad perimetral del cilindro son importantes para el diseño. De esta manera, la efectividad de la trilla depende de:

- Velocidad periférica del cilindro.
- Espaciamiento entre el cilindro y el cóncavo.
- Número de elementos trilladores (dientes).

- Tipo de grano.
- Humedad del grano y madurez.
- Cantidad de material ingresado al sistema de trilla.

El rango de velocidad perimetral (velocidad tangencial) del cilindro aconsejado para poder trillar es de 300 a 2400m/min. El espacio recomendable entre cilindro y cóncavo esta entre 0.5 y 2cm. El número de elementos trilladores depende del tamaño del cilindro y el cóncavo, del tipo de sistema y la capacidad de la máquina. Además una trilladora aceptable debe procesar entre 50 y 150Kg de grano por hora [7].

Con granos delicados como el de la quinua se debe tener cuidado en el diseño del sistema de trilla, se debe optar por uno combinado, el cual disminuya la fuerza de impacto al trillar, pero que no disminuya la eficiencia ni capacidad de la máquina. Con una correcta configuración del sistema de trilla se aumentará la capacidad, eficiencia y conservación del grano [7].

El sistema de separación consiste en un sistema que sacude el tamo sobre un tamiz. En tamices planos, debido a la humedad del tamo y el grano, se pueden formar capas de material que no permite el paso de grano adecuadamente. Lo mismo pasa con el *sistema de clasificación*, pero en muchas ocasiones no se utiliza este sistema y se combinan los tres sistemas anteriores en uno o los dos anteriores en uno. Una buena forma de diseñar estos dos sistemas proporcionará un ahorro de espacio, potencia y mejora en la eficiencia [7].

La potencia de consumo para este tipo de máquinas oscila alrededor de 7HP, que en las máquinas convencionales se divide así: 2HP en el sistema de trilla, 2HP en el sistema de separación, 1HP en el sistema de clasificación y 0.5HP en pérdidas, con una estrada regulada de material. El tipo cilindro influye notablemente en el cambio de potencia en el sistema de trilla, pues uno con más fricción necesitará más potencia de funcionamiento[7].

Por otro lado el proceso de cegado se puede cambiar con el fin de favorecer el funcionamiento de las máquinas trilladoras. Actualmente en Colombia y el Cauca, la ciega de quinua se hace sin pensar en los procesos siguientes a este, muchos agricultores realizan la ciega cortando la planta muy cerca al suelo, lo que hace que dificulte el proceso de trilla, pues mucho material que ingresa a la máquina de trillado no contiene grano. Además si la planta contiene mucha humedad o no está en su completa madurez, exige mayor esfuerzo al sistema de trilla y puede causar atascamientos y mal funcionamiento de todos los sistemas de la máquina trilladora. Entonces se puede sugerir que la ciega se realice de manera que se clasifique y corte partes de la planta que contengan grano y lo demás se deseche.

2.3.2. Sistemas mejorados.

Muchas máquinas mejoradas han optado por integrar el proceso de trillado y separación en uno solo, este sistema ha sido utilizado en trigo, obteniendo buenos resultados[7].

En ensayos con mecanismos, de cilindros rotativos, con dos o más etapas de trillado, se ha encontrado que la primera etapa puede trabajar a una velocidad menor que las apropiadas, y la segunda trabaja a velocidad normal, con el fin de reducir pérdidas en el grano por el impacto [7].

Un cilindro cónico provee en amplio rango de velocidades periféricas que puede disminuir la pérdida de grano y favorece el flujo de material. También se han encontrado cilindros de flujo axial con su respectivo cóncavo, una buena configuración de estos permite que el sistema de separación y de trilla se integre y se puedan eliminar impurezas mayores en un sistema mejorado de trilla. En semillas delicadas, el trillado se realiza con bandas de caucho, con un sistema adicional de corte de tallos antes de entrar en las bandas. El sistema de bandas es eficiente, pero el tamaño del sistema aumenta en gran medida, convirtiéndose en una alternativa poco práctica.

2.3.3. Alternativas para el análisis.

Teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA", las consideraciones y sistemas de trilla, se han planteado la siguiente alternativa.

Sistema de alimentación: El sistema de alimentación debe permitir el ingreso de las panojas de quinua de forma segura para el operario, además de reducir pérdidas de grano. Una forma inclinada de la tolva de alimentación será suficiente para que el material entre por gravedad al sistema de trilla.

Sistema de trilla: debido a que los granos de quinua no requiere mucho esfuerzo para ser desprendidos de las panojas, y se debe tener un especial cuidado con el grano, un cilindro de impacto no favorece los aspectos anteriores, por esto una alternativa por fricción como el trillador de barras planas es una buena alternativa. Los sistemas mejorados de dos cilindros de diferentes velocidades pueden reducir pérdidas, pero aumentaría mecanismos y tamaño de la máquina. Una alternativa mejorada es un cilindro cónico, el cual cuenta con diversos rangos de velocidades que permiten la reducción de pérdidas. Para favorecer el flujo de material a través del trillador, las barras del cilindro están dispuestas de forma helicoidal sobre la superficie del cilindro.

Sistema de separación: La integración de este sistema con el anterior ayudará a reducir el tamaño de la máquina, las pérdidas de grano, y las pérdidas de potencia, que quizá se requieran para sistema de trilla. El cilindro trillador además de trillar puede separar las impurezas mayores, usando las barras planas para separar el material.

Sistema de clasificación: Así como los dos sistemas anteriores, el sistema de clasificación debe reducir pérdidas de grano, consumir el mínimo de energía y aportar a la portabilidad de la máquina. Un sistema de tamices cilíndricos giratorios, ayudan a la reducción de pérdidas, acumulación de material húmedo, y con la ayuda de un sistema de ventilación, sí es necesario, se lograra una buena clasificación del grano.

Estructura: para los sistemas de proceso (sistema de trilla, sistema de alimentación...) debe contar con una estructura que permita la modularidad de la máquina. Esta estructura debe evitar la propagación de vibraciones, facilitar nivelación, debe soportar el peso necesario y debe permitir el intercambio de cada uno de los módulos de la máquina, relativamente fácil. Además debe facilitar su transporte con sistemas adecuados de desarme y remolque.

Potencia: Lo más conveniente en un tipo de máquina portable es que contenga una fuente energética portable, por lo que motores de combustión a gas, gasolina o diésel serían los más apropiados en el diseño. El motor debe proveer de una potencia máxima 7HP, y una velocidad necesaria para que la máquina realice el su trabajo.

Control: Este proveerá la máquina de un sistema de control sobre los sistemas que realizan las funciones como: trillar, clasificar, separar etc. La máquina contará con un sistema de control semiautomático, debido a que el proceso y los requerimientos no exigen de un control automático en su totalidad.

2.4. NECESIDADES DE AUTOMATIZACIÓN.

Con el fin de cumplir los requerimientos económicos y productivos de los pequeños y medianos agricultores del departamento del Cauca y obtener una mayor eficiencia en el proceso de trilla de quinua, se plantean las necesidades de aumentar la robustez del sistema de trillado, la seguridad y el control de los diferentes procedimientos en el proceso de trilla de quinua. Las cuales se presentan a continuación:

- El agricultor debe realizar el proceso de siega, tomando en cuenta los procesos posteriores que se llevaran a cabo, con el fin de evitar la mayor entrada de partes de la planta que no contengan granos para que el esfuerzo de la máquina se enfoque en la separación de granos y no en la trituración del tallo, de no hacerlo se disminuye considerablemente la eficiencia y él aumenta los errores de funcionamiento de las máquinas.
- El operario debe estar consciente del funcionamiento de la máquina y los mecanismos que trabajan en esta, para lograr intuir la capacidad y el ritmo de trabajo óptimo de funcionamiento, con el fin de ingresar la panoja de la manera y en el momento adecuado.
- El sistema de trilla es el encargado de la separación del grano de la planta, en este proceso se requiere que el cilindro rotatorio sea eficiente en el consumo de potencia, no maltrate el grano, separe el mayor número de granos de la planta y no presente atascamientos o pérdidas.
- El sistema de tamices clasifica y separa el grano de los residuos de la planta, por lo tanto es necesario que este sistema garantice que el flujo de granos hacia los canales de salida, igualmente garantice que los residuos de la planta no ingresen a los canales de salida y clasifique los granos con respecto a los diámetros previamente especificados.
- Se debe garantizar que todas las panojas ingresadas a la trilladora circulen por el sistema de trillado, con el objetivo de disminuir los desperdicios y obtener la mayor cantidad de grano posible.
- Se requiere un sistema de transporte sencillo y robusto que no dañe ni altere los mecanismos de la máquina cuando esta se traslade de una vereda o parcela a otra.

- Es necesario un sistema de seguridad, especialmente en los mecanismos que evite lesiones en los operarios de la máquina y un sistema de alarmas que informe a los operarios en caso de alguna eventualidad.
- Se requiere un sistema de nivelación capaz de estabilizar la trilladora, con sus respectivos módulos separados si los posee, en los diferentes entornos en los cuales debe funcionar por su atributo de portable. Debido a que se pretende transportar la máquina a las zonas de cultivo las cuales se encuentran en zonas montañosas, el sistema de nivelación debe ser robusto y capaz de evitar paradas de procesos por el desajuste u obstrucción de la máquina.
- Controlar el flujo de aire de la máquina, con el fin de garantizar la separación de granos con residuos ligeros que no puedan ser extraídos por medio del sistema de tamices. La cantidad de ingreso de granos, la raza o el tipo, como el peso serian variables a considerar en este sistema a controlar.
- Es vital que el flujo de material en la trilladora sea de manera constante y controlada. Debido a que un flujo muy elevado de material puede generar atascamientos, maltrato y desgaste de las piezas como la disminución de la calidad del grano. Un flujo bajo de material genera una baja productividad, desperdicio de potencia y energía en los sistemas de la máquina.

2.5. DISEÑO DE LOS COMPLEMENTOS DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA.

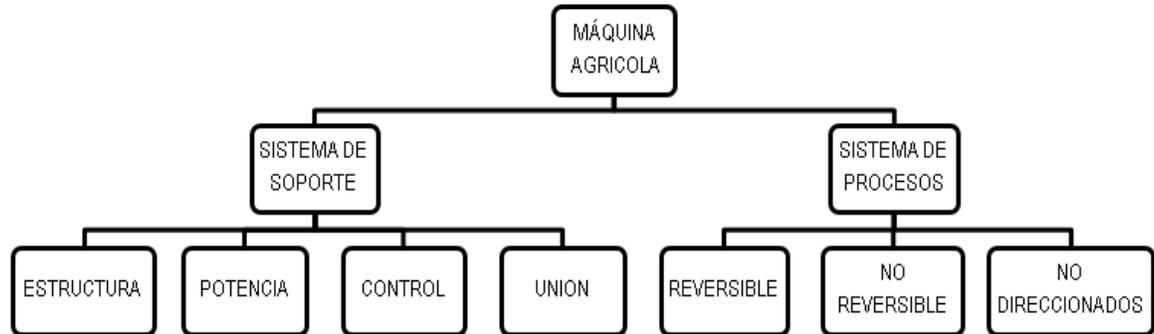
En el primer acercamiento de diseño, teniendo en cuenta las necesidades de automatización y la alternativa, se desarrollan los siguientes modelos en Solidworks para su análisis y estudio.

2.5.1. Alternativa teórica.

Una máquina de tipo agrícola se compone de subsistemas: subsistema de soporte y de proceso. Los sistemas de soporte ayudan a los sistemas de proceso a cumplir su función y su vez se clasifica en: sistema estructural, de potencia, de unión y de control, ver figura 28. El sistema estructural de la máquina es el soporte de las partes que componen la máquina. El sistema de potencia suministra energía al sistema de proceso, los elementos como motores y mecanismos de transmisión hacen parte de este sistema. El sistema de unión son conexiones o juntas de los elementos, pueden ser soldaduras, pegantes, tornillos, tuercas, chavetas etc. El sistema de control permite controlar los sistemas de proceso, pueden ser manuales o automáticos [8].

Los sistemas de proceso son aquellos sistemas de la máquina que realizan una función como: cortar, separar, mezclar, calentar entre otras, se clasifican en reversibles (se pueden regresar a su concepción inicial), no reversibles (no se pueden regresar a su concepción inicial) y no direccionados (no tienen dirección, ejemplo: transporte, medición, almacenamiento)[8].

Figura 28. Sistemas de máquinas agrícolas.



Fuente. Elementos de diseño de maquinarias agrícolas

2.5.2. Sistemas de soporte.

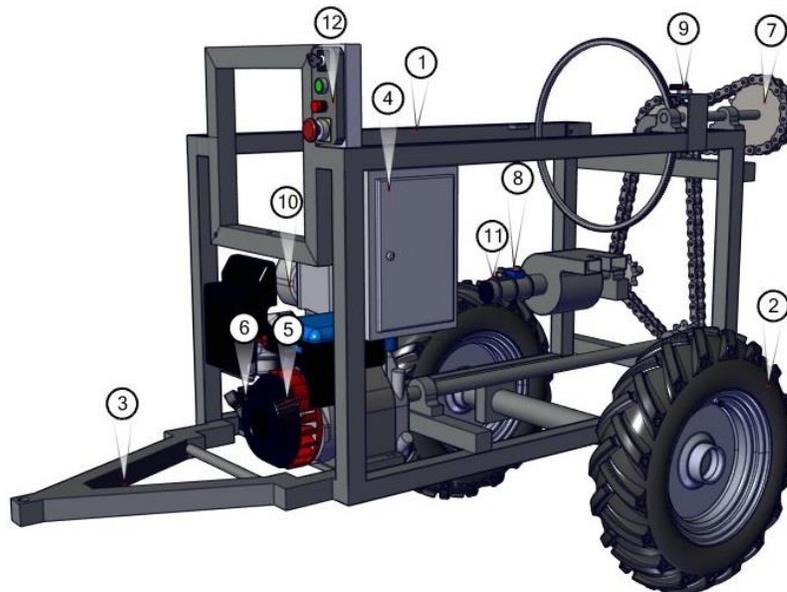
Estructura: Se propone una estructura en perfil cuadrado (punto 1 figura 29), la forma de la estructura depende cómo se fije a esta los sistemas de proceso. Para cumplir requerimientos de movilidad, se le adicionan un par de ruedas (punto 2 figura 29) y una extensión para ser remolcado (punto 3 figura 29). Además posee un armario y una botonera (punto 4 figura 29), para soportar los dispositivos electrónicos necesarios para el control.

Potencia: Un motor de combustión interna permite la portabilidad de la máquina, este motor proveerá la potencia necesaria para mover los mecanismos (punto 5 figura 29) y para alimentar los dispositivos electrónicos se adiciona una batería eléctrica (punto 6 figura 29). Además posee cadenas, piñones, engranajes, ejes y rodamientos que permiten transmitir la potencia para que los sistemas de proceso realicen su función (punto 7 figura 29).

Control: Se desea controlar variables como flujo de aire, velocidad de rotación y sobre carga del motor, para ello se adiciona instrumentación para la lectura de variables como: un sensor transmisor de flujo (punto 8 figura 29), un sensor transmisor de rotación (punto 9 figura 29), un sensor de temperatura (punto 10 figura 29), una servo válvula (punto 11 figura 29) y un panel de mando con: botones, paro de emergencia y señales luminosas (punto 12 figura 29). Además de dispositivos electrónicos y de control se adicionan en el tablero (punto 4 figura 29).

Unión: Cada perfil metálico de la estructura se une a otros por medio de soldadura. Para sujetar los sistemas de proceso a la estructura y entre ellos se hace uso de tornillería. Puede que se haga uso de chavetas para sujetar engranajes y otro tipo de pines para los mecanismos.

Figura 29. Alternativa sistema de soporte.



Fuente: propia

2.5.3. Sistemas de proceso.

Unidad de alimentación: está diseñada de manera que las panojas de quinua entren en la unidad de trilla deslizándose sobre esta con la ayuda de su forma en desnivel. Ancha en un extremo y delgada en el otro para alimentar con buena cantidad de material a la unidad de trilla. Además su desnivel y forma evitan que el operario deba llevar sus manos a la unidad de trilla, aumentando la seguridad de la máquina (punto 1 figura 30).

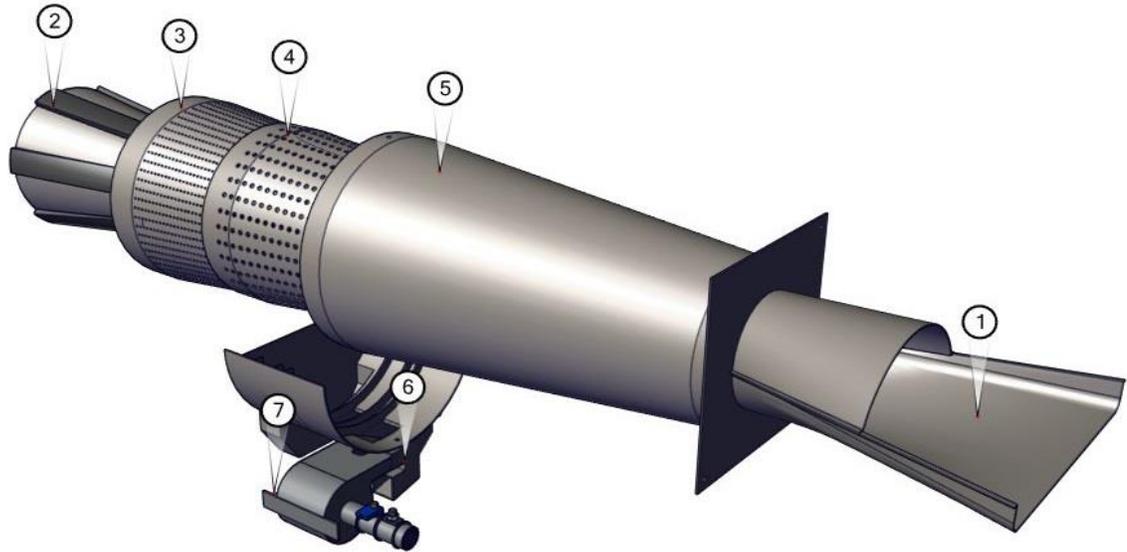
Unidad de trilla: consta de un cilindro cónico con barras planas dispuestas en forma helicoidal sobre su superficie (punto 2 figura 30), concéntrico al cilindro de barras planas, otro cilindro de mayor diámetro soporta otro conjunto de barras planas (punto 3 figura 30), de esta manera, al rotar el cilindro de barras planas hace que por fricción se realice la función de trillar. La forma cónica de los anteriores cilindros permite reducir pérdidas de grano en la entrada y facilitar el flujo de material trillado para su clasificación.

Unidad de separación: consta de un cilindro cónico agujerado que recubre al cilindro trillador (punto 4 figura 30), el cual es el mismo que soporta las barras caucho de la unidad de trilla, al rotar el cilindro trillador lleva el material a lo largo de esta unidad, haciendo que el grano e impurezas mayores pasen a través de los agujero y las impurezas mayores se expulsan de esta unidad, de esta manera la máquina realiza la función de separación.

Unidad de clasificación: consta de un cilindro cónico que recubre la unidad de separación, este cilindro tiene perforaciones más pequeños que los de la unidad de separación (punto 5 figura 30), luego un cuarto cilindro recubre las unidades anteriores y recoge el grano clasificado (punto 6 figura 30), también un sistema de canales por los que salen impurezas mayores por uno, grano e impurezas

menores por otro y grano sin impurezas por el último (punto 6 figura 30). Por último un ventilador centrífugo (punto 7 figura 30), el cual ventila el grano para limpiarlo.

Figura 30. Alternativa sistema de proceso.



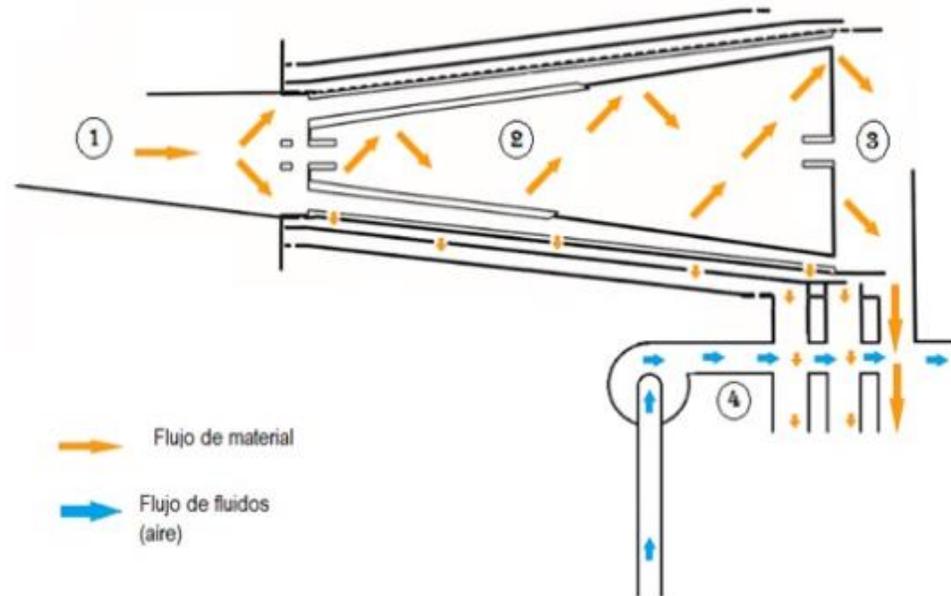
Fuente. Propia

2.6. DIAGRAMA PFD.

En el diagrama de flujo de proceso de trillado de quinua para la máquina, se muestran las diferentes trayectorias que recorren las panojas de quinua para ser procesadas para obtener un grano limpio del proceso. Ver figura 31.

La sección 1 del diagrama, constituye el módulo de alimentación, donde se observa la entrada de material al cilindro de trillado, que representa las panojas de quinua. En la sección 2, que representa el módulo de cilindros se muestra que las panojas realizan un movimiento helicoidal por la forma del cilindro del trillador y la velocidad es dependiente de la de este; lo cual inicia el proceso de separación de grano dentro de la máquina, el flujo de material de la parte inferior muestra los granos separados del bagazo de la planta que empieza por medio de la fuerza de gravedad hacia el proceso de tamizado en los diferentes niveles de clasificación. En la sección 3 el bagazo de la planta empieza a emerger del sistema de cilindros donde finalmente por acción de gravedad termina su proceso de separación del grano. En la sección 4 se encuentra el ventilador el cual succiona aire del exterior y lo expulsa hacia los canales donde caen los granos con diferentes niveles de impurezas y el bagazo. Lo cual realiza el harneado para la separación de dichas impurezas como polvo y pequeñas partículas de la panoja que hayan superado el sistema de tamices del grano.

Figura 31. Diagrama de proceso de trillado de quinua



REVISIONES				UBICACIÓN	PROYECTO	PAGINA
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO	 Universidad del Cauca	Mejora tecnológica de máquina desgranadora de quinua	1 DE 1
					TÍTULO	ESCALA
					Diagrama PFD de máquina desgranadora de quinua	1: 1
						DIBUJADO POR
						CARLOS SANTIAGO VIDAL MARTINEZ DIDIER EDINSON ÑAÑEZ MACIAS
					FECHA	14/10/2015

Fuente: propia

2.7. DIAGRAMA P&ID.

Con el fin de suplir los requisitos funcionales y operacionales del proyecto de regalías se plantea la solución de implementar la instrumentación necesaria para poder suplir la mayor parte de las necesidades de automatización anteriormente expuestas (2.4.). Dichos instrumentos, equipos y accesorios se muestran con su debido etiquetado de acuerdo a la norma ISA S5.1[9]. Ver tabla 2.

Tabla 2. Etiquetado de equipos, instrumentos y accesorios del proceso de trillado de quinua

Descripción		Etiqueta
Instrumentos	Sensor transmisor de velocidad, el cual mide la rotación de la máquina	STE-01
	Sensor transmisor de temperatura	TTE-01
	Sensor transmisor de flujo	FTE-01

	Válvula mariposa	FCV-01
Accesorios	Pulsador verde para encender la máquina	S-1 ^a
	Pulsador rojo para apagar la máquina	S-1B
	Luz piloto color roja que indica atascamiento en el cilindro de trillado	LLH-01
Equipos	Motor	E
	Ventilador	F
	PLC	UC

Fuente: Propia

Se expone el diagrama P&ID con las recomendaciones de la norma ISA S5.1[9], ver figura 32, se muestra el motor de combustión *E*, el cual se enciende cuando el operario presiona el interruptor *S-1A* en el panel de mando. Iniciando el trillado de quinua. En caso de algún posible atascamiento o falla en la máquina trilladora, se enciende la luz *LLH-01* indicando al operario que es necesario presionar el interruptor *S-1B* el cual detiene al motor de combustión *E*.

El control de velocidad de rotación del cilindro trillador se realiza a través del sensor transmisor de velocidad *STE-01*, el cual envía señales al PLC *UC*, el PLC realiza el control de este valor enviando una señal al motor para ajustar su velocidad de acuerdo a lo que se requiera.

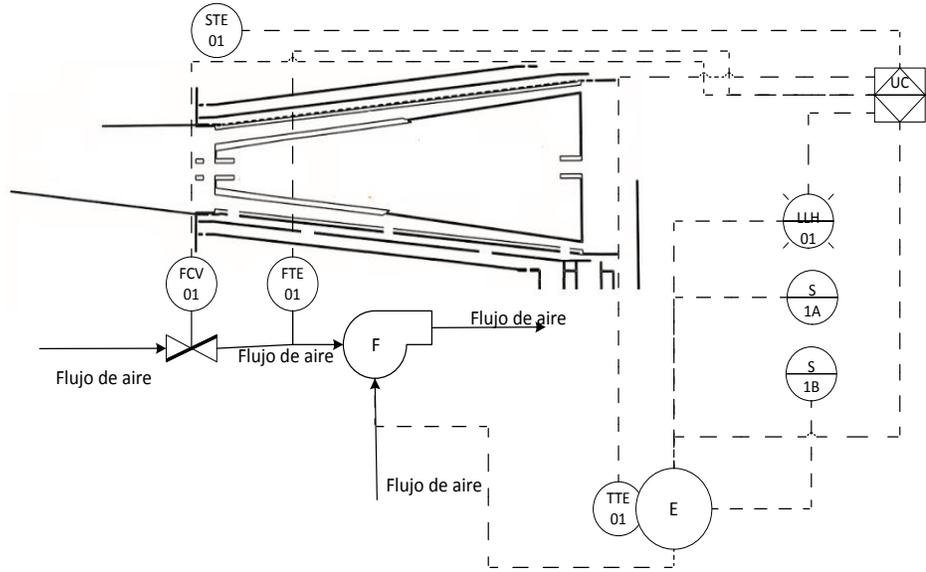
El control de flujo de aire se realiza a través del sensor transmisor de flujo *FTE* el cual mide el flujo de aire que ingresa al ventilador *F* y envía una señal al PLC *UC*, desde el cual se envía una señal hacia la servo válvula tipo mariposa *FCV* la cual restringe el paso de aire hacia el ventilador.

El control sobre atascamiento se realiza por medio de un sensor transmisor de temperatura *TTE*, debido a que un atascamiento exigiría un sobre esfuerzo del motor de combustión *E* lo que conduciría al aumento de temperatura emanada por este, lo cual envía una señal al sensor transmisor de temperatura *TTE* al PLC *UC*, desde el cual a su vez transmite una señal que activa la luz *LLH-01*.

Debido al aumento de costo en la implementación de la instrumentación mencionada anteriormente con el fin de controlar las variables de proceso y suplir las necesidades de automatización que se identifican en el ítem 2.4. De las necesidades de automatización. Se propone un control en lazo abierto ilustrado en el P&ID de la figura 33; la cual sigue cumpliendo los requerimientos funcionales solicitados en el proyecto de regalías (2.2). En esta propuesta se tiene los elementos esenciales para el funcionamiento de la máquina, como el motor de combustión *E* y el ventilador *F*, además de los botones necesarios para encender y apagar el motor de combustión *E* para iniciar o detener el funcionamiento de la máquina desgranadora de quinua. Debido a que la válvula no posee mayor complejidad en su funcionamiento y su costo no es elevado se presenta en la propuesta de lazo abierto, también debido a que no necesita de ningún instrumento adicional para cumplir su función

como reguladora de flujo de aire hacia la máquina, esta puede ser manipulada por el operario al observar la cantidad de polvillo o impurezas que contiene el producto final o si por el contrario, el flujo de aire es tal que provoca la expulsión de granos.

Figura 32. Diagrama P&ID del proceso de trilla de quinua



TAG	INSTRUMENTO	REVISIONES				UBICACION	PROYECTO	PAGINA	
		REV.	DESCRIPCION	FECHA	APROBADO				
FCV-01	Válvula controladora de flujo					 Universidad del Cauca	Mejora tecnológica de máquina desgranadora de quinua	1 DE 1	
FTE-01	Sensor transmisor de flujo						ESCALA	1: 1	
STE-01	Sensor transmisor de velocidad						TITULO	DIBUJADO POR CARLOS SANTIAGO VIDAL MARTINEZ DIDIER EDINSON RÁÑEZ MACIAS	
UC-01	Unidad controladora							FECHA	14/09/2015
TTE-01	Sensor transmisor de temperatura								
HMI-1A	Botón de encendido								
HMI-1B	Botón de apagado								
LLH-01	Luz piloto alarma de atascamiento								
E	Motor de combustible								
F	Ventilador								

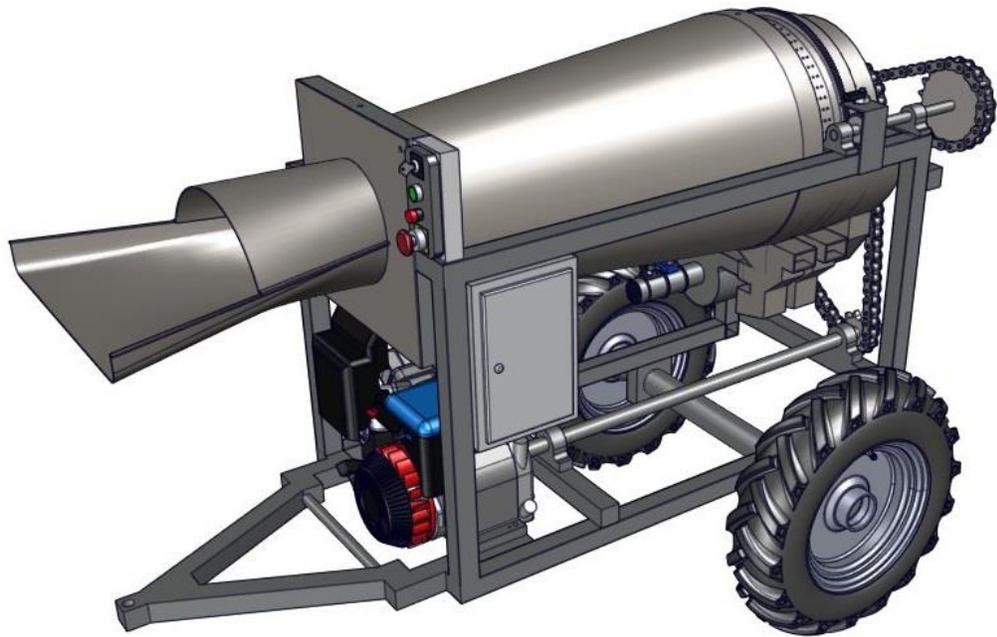
Fuente: propia

2.8. CONJUNTO DE DISEÑO 3D.

En conjunto, el sistema de soporte con el de proceso compone la máquina, ver figura 31. Las partes en contacto con el grano se deben construir con un material no contaminante como: acero inoxidable, y las partes que no tengan contacto en un material resistente y en lo posible liviano. Se pretende que funcione de la siguiente manera: El motor transmite el movimiento por medio de un arreglo de ejes y piñones. Las panojas se deben deslizar por la unidad de alimentación hacia la unidad de trilla, en donde el grano se desprende de las panojas, gracias a la rotación del cilindro de barras planas que hacen fricción con las panojas y las barras del separador, luego el grano y las impurezas menores pasan a un tercer cilindro clasificador que gira haciendo pasar el grano a un cuarto cilindro fijo el cual

a su vez se une con un sistema de canales que separan las impurezas del grano, con la ayuda de un flujo de aire generado por un ventilador centrífugo, este aire se controla para obtener una clasificación adecuada del grano. Si la maquina presenta sobrecarga por atascamiento o exceso de material se genera una alarma, el encendido, apagado y paro de emergencia de la maquina se controlan por medio del panel de control. La máquina posee ruedas, una extensión en la estructura y modularidad para facilitar su transporte y manipulación.

Figura 33. Alternativa maquina desgranadora de quinua



Fuente. Propia.

3. INGENIERÍA DETALLADA.

En este capítulo se realiza el diseño detallado de las partes que componen la mejora tecnológica. Luego se determina la viabilidad y el nivel de automatización requerida, para el cumplimiento de los requerimientos. Para una posible aplicación de la alternativa propuesta, se implementa el estándar ISA 88 como modo de evaluación de la mejora tecnológica del proceso de trilla.

3.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS PARA LA INGENIERÍA DE DETALLE.

3.1.1. Requerimiento Inicial.

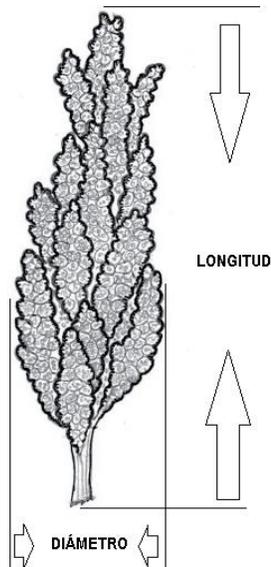
Teniendo en cuenta los requerimientos, se parte de un requisito de rendimiento de 1Ton/día y según las horas de trabajo aproximadas, que varían entre 8 a 10 horas, el rendimiento de la máquina en kilogramos oscila entre 100 a 125 Kg de grano por hora; pero para no sobredimensionar la máquina, el límite superior se toma como el 80% de la capacidad total de la misma, por consiguiente la capacidad debe estar entre 125 a 150 Kg/hora. Por otro lado, como está consignado en el capítulo 1, las dimensiones en promedio de una panoja de quinua son: 40cm de longitud y 11cm de diámetro, ver figura 34; con un rendimiento promedio por panoja de 150g de grano. Por lo que se estima, que la máquina debe procesar 1000 panojas de quinua por hora; lo que equivale a 16 panojas por minuto. Cabe resaltar que los cálculos anteriores se ven condicionados por la técnica de manejo que posea el operario y por la cantidad de grano que posea una panoja, ya que si el operario no alimenta de manera correcta la máquina, o el contenido de grano por panoja sea bajo, el rendimiento de la máquina varía; según lo visto en la prueba de campo consignada en el anexo D.

3.1.2. Requerimiento Fitosanitario y Fabricación Nacional.

Para dar seguimiento al decreto Nacional 3075 de 1997 reglamentado por el INVIMA[10], se deben tener las siguientes consideraciones en la configuración de las partes y materiales para la fabricación de la máquina. Además, se buscará que los materiales y equipos de fabricación sean referencias disponibles en la geografía nacional, y precio favorable.

- La fabricación se debe hacer con materiales resistentes a la corrosión.
- No se permite el uso de materiales contaminantes como: plomo, cadmio, zinc, antimonio, hierro, u otros que resulten de riesgo para la salud.
- Todas las superficies de contacto con el alimento deben ser fácilmente accesibles o desmontables para la limpieza e inspección.
- Se debe evitar el contacto del alimento con piezas que requieran lubricación o las piezas deben de poseer un elemento protector.

Figura 34. Medidas de una panoja de quinua.



Fuente. Libro. Estado del arte de la quinua en el 2013

3.1.3. Requerimiento de fácil manejo y mantenimiento.

La mejora debe permitir el fácil desmontaje de los sistemas de proceso con los de soporte. Tornillería como sistema de unión, facilita el desmontaje y mantenimiento de las partes de la mejora. La utilización de sistemas de transmisión de fácil montaje y mantenimiento favorecerán el cumplimiento de este requerimiento. Los materiales resistentes a las condiciones agroecológicas como el acero inoxidable y el aluminio, disminuyen el mantenimiento de la máquina. Materiales y partes comerciales de uso común y de fácil refracción disminuyen costos de fabricación y mantenimiento.

Con el fin de garantizar que la operación de la mejora se haga de manera intuitiva, se propone que los elementos que la compongan no sean demasiado sofisticados para el operario. Además para ofrecer una alternativa accesible y funcional, la mejora requiere obligatoriamente realizar un control de todos los procesos que ésta ejecuta; por lo tanto, se propone que la mejora cuente con un control que no requiera un alto nivel de automatización.

3.1.4. Requerimiento de Cultivo y Portabilidad.

La portabilidad de la alternativa dependerá en gran medida del sistema de potencia que la alimenta y la modularidad de sus partes principales, reduciendo en lo posible el tamaño y peso de estas. Es así como, el suministro energético al sistema de potencia debe de permitir el desplazamiento, por lo que la fuente de suministro debe estar integrada en la máquina. En el capítulo uno de este documento se puede evidenciar que la mayoría de maquinaria utilizada en el trillado de quinua, trigo, cebada, entre otros; utilizan motores de combustión interna, debido a la portabilidad y eficiencia que este tipo de sistemas presentan. Motores eléctricos, hidráulicos, o neumáticos, son poco viables, ya que muchas

de las zonas de cultivo, no cuenta con las fuentes de suministro eléctrico a su disposición. Ahora, según los requerimientos del anexo C, un motor DIESEL genera mayores residuos de combustión que uno a gasolina. Por lo tanto, el motor de combustión a gasolina resulta ser la alternativa que mejor se acomoda a dichos requerimientos.

Dividir en unidades la máquina, permite que los mecanismos sean agrupados; lo que reduce: tamaño, peso y número de piezas. Entonces la mejora se divide en unidades: unidad de trilla, unidad de clasificación, unidad de alimentación, etc. Ahora, las unidades pueden compartir mecanismo y piezas; pero los mecanismos complejos que necesiten ser integrados en conjunto, podrán ser desintegrados fácilmente de la máquina. El sistema de cilindros que se presentó como alternativa en el ítem 2.3.3 de este trabajo, permite favorecer estos aspectos. Por consiguiente la figura 35 representa conceptualmente la máquina con la relación de sus partes principales. Además para facilitar su transporte, la mejora debe contar con ruedas y un sistema de remolque; como también un sistema de nivelación.

Figura 35. Distribución de las partes principales de la mejora



Fuente. Propia

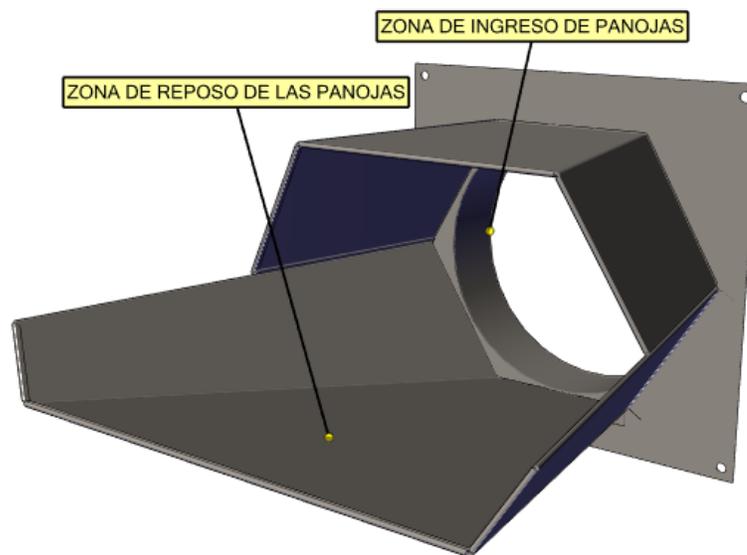
Debido a que el proceso de desgranado de quinua, no requiere la implementación de un alto grado de automatización, para satisfacer los requerimientos en cuestión; porque éstos solamente demandan tener un control básico en la clasificación del grano. Teniendo en cuenta el análisis de los requerimientos, para la mejora; se procede a realizar estudios que permitan, definir detalladamente cada parte de cada unidad y los sistemas de soporte asociados a estas.

3.2. PARÁMETROS FÍSICOS DETALLADOS DE LOS SISTEMAS DE PROCESO.

3.2.1. Unidad de alimentación.

Esta unidad debe de tener la capacidad de alimentar al sistema de trilla con un flujo másico aproximado de 16 panojas de quinoa por minuto, de acuerdo con el análisis del ítem 3.1.1 de este documento. Ahora, si el diámetro en promedio de cada panoja es de 11cm el área transversal promedio aproximada será de 96cm², el área transversal de la salida de la unidad de alimentación deberá ser aproximadamente de 1540cm². Pero, en el anexo de prueba de campo (Anexo D) se observa que *un operario*, con buena disponibilidad de material, ingresa en promedio 4 tandas de material por minuto, por consiguiente, la sección transversal de la zona de ingreso de las panojas de la unidad de alimentación se reduce a 384cm². Desde el anexo D, se sabe que el área de la zona de ingreso de panojas de la trilladora perfecta No. 12 es de 588cm². Con un diámetro de 28cm en zona de ingreso de las panojas se obtiene una área aproximada de 616cm², pero si por ejemplo se reduce el diámetro a 27cm, el área se reduce por debajo de 588cm², por lo tanto se elige el de 28cm. A lo largo, la unidad de alimentación debe permitir reposar una panoja por completo, por consiguiente debe tener una longitud de 50cm como mínimo, ya que el promedio de longitud de una panoja es de 40cm. Una inclinación tenue favorecerá el flujo de panojas hacia la unidad de trilla, aumentando así, la seguridad, como se muestra en la figura 36.

Figura 36. Unidad de alimentación



Fuente. Propia

3.2.2. Unidad de Trilla.

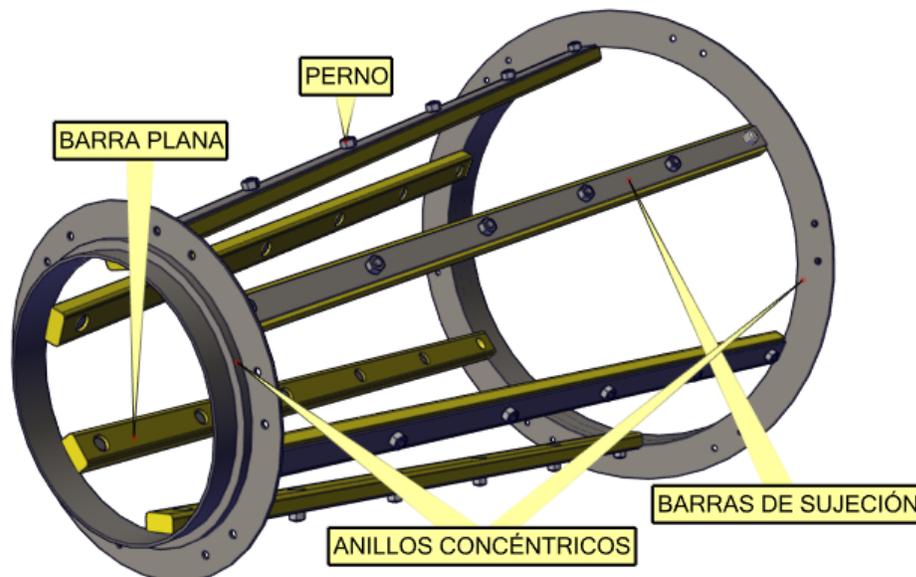
Esta unidad debe trillar todo el material que ingresa desde la unidad de alimentación y entregar el material trillado a la unidad de separación y clasificación. Como se estableció en las alternativas de solución, en el ítem 2.3 de este trabajo, esta unidad posee el método de trilla por fricción con barras dispuestas sobre dos troncos de cono y que al girar uno en dirección opuesta al otro realizan la acción de trilla. Los componentes de esta unidad están compartidos con la unidad de separación y

clasificación, para disminuir tamaño y aumentar las prestaciones funcionales de la máquina. Es así como esta unidad consta de dos troncos de cono, nombrados como: tronco trillador y tronco clasificador, debido a las funciones principales que ellos realizan. Además cada uno de estos troncos posee barras planas acomodadas debidamente, las cuales hacen fricción sobre las panojas, para realizar la acción de trilla.

Tronco clasificador. El diámetro menor es de 29cm, pues la unidad de alimentación entrega material a esta unidad por un cilindro de 28cm de diámetro y al dejar un espaciamento por fuera de la boca de salida de la unidad de alimentación permite el giro de este tronco de cono evitando colisiones. El diámetro mayor depende del factor de aumento de la acción de trilla; muchas trilladoras de arroz utilizan dos etapas de trillado con un factor de 2[7], es decir el segundo cilindro con un diámetro del doble del primero; en este caso por la forma propuesta de tronco de cono, el diámetro mayor se establece en el doble del diámetro menor (58cm). Ahora, si el largo es de 90cm, se obtiene un área de 8310cm², cercano a 8460cm², el área del tamiz clasificador de la trilladora "Perfecta No 12", como se muestra en el anexo D.

Según las medidas anteriores del tronco clasificador, se propone que las dimensiones de cada barra dispuesta a este tronco sean: largo 912mm, ancho 40mm y espesor 20mm. Se sabe, desde el anexo D, que el cilindro trillador de la "Trilladora Perfecta No 12" posee 6 carreras de dientes; por lo tanto se propone que el número de barras para el conjunto del tronco clasificador, sea del mismo número. El tronco clasificador se construye con dos anillos concéntricos unidos por barras que ligan estos anillos y sobre ellas se sujetan las barras de trilla por medio de pernos, ver figura 37. Debido a que esta parte de la máquina está en contacto con el grano, se aconseja que el material de fabricación sea acero inoxidable y en caso de las barras, plástico no tóxico.

Figura 37. Tronco clasificador

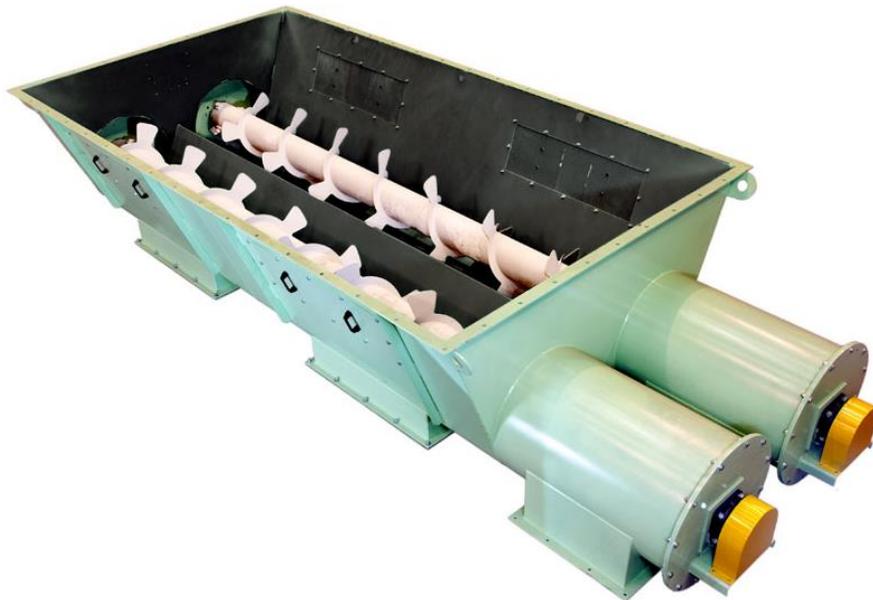


Fuente. Propia

Tronco trillador: está cubierto por el tronco clasificador, además debe de poseer barras planas, que realicen la acción de trilla con ayuda de las barras del tronco clasificador. Para garantizar el agarre de las panojas en la entrada de material de la unidad de trilla, el espaciamiento entre las barras de ambos troncos es de 4cm; por lo tanto, el radio menor del tronco trillador, se establece en 8.5cm; dado que, como se consignó en los hábitos de crecimiento en el ítem 1.7.1 de este trabajo, el promedio del diámetro de una panoja de quinua es de 4cm. El espaciamiento en la salida de material debe ser pequeño, para aumentar la acción de trilla a medida que el material sale de la máquina; se aconseja que este espaciamiento debe estar de 0.5 a 2cm [7], y como el grano de quinua es uno de los más pequeños; el espaciamiento entre barras es de 0.5cm ;por lo que, el radio mayor se establece en 24.5cm. El largo debe ser igual al tronco clasificador, de esta manera la unidad realiza la acción de trilla sobre todo el espacio disponible.

Se propone que las barras del tronco trillador, formen un espiral, asemejándolo a un transportador de tornillo sin fin, ver figura 38. La razón por la cual se asemeja el tronco trillador a un sistema transportador de tornillo sin fin, es que se necesita que el material trillado sea expulsado de la máquina. En consecuencia las barras del tronco trillador se deben disponer de forma helicoidal sobre la superficie de este. Se recomienda que el ancho de cada barra sea de 40mm y el espesor de 20mm; la longitud depende del largo del tronco trillador y las características de la sección de espiral, que forman las barras. Para realizar los caculos y establecer las características de dicha sección de espiral, para el tronco trillador, las relaciones que determinan las dimensiones y velocidad del sistema de tornillo sin fin (expresiones (1) a (7)), se obtienen de [11].

Figura 38. Transportador de tornillo sin fin



Fuente: Pagina web. <http://micesa.net/productos.htm>

$$\text{Área de relleno diámetro constante:} \quad A[m^2] = 0.32 \frac{\pi D^2 [m^2]}{4} \quad (1)$$

$$\text{Flujo de material:} \quad Q \left[\frac{Kg}{min} \right] = \left(A[m^2] v \left[\frac{m}{min} \right] \rho \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \right) \quad (2)$$

$$\text{Velocidad de desplazamiento de material:} \quad v \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{Q \left[\frac{Kg}{min} \right]}{A[m^2] \rho \left[\frac{Kg}{m^3} \right]} \quad (3)$$

$$\text{Paso del helicoidal:} \quad d[m] = \frac{v \left[\frac{m}{min} \right]}{W[rpm]} \quad (4)$$

$$\text{Velocidad angular:} \quad \omega[rpm] = \frac{V \left[\frac{m}{min} \right]}{2\pi R[m]} \quad (5)$$

Donde:

D : diámetro del tronco trillador, incluyendo barras planas [m].

ρ : densidad del material [Kg/m³]

A : área de relleno del tronco clasificador [m²].

d : paso del helicoidal [m]

V : velocidad tangencial del cilindro [m/s]

R : radio del tronco trillador [m]

Según el rendimiento establecido de 150 Kg/h, se estima que el flujo másico del grano que sale es de: 2.5Kg/min. Además se ha encontrado estadísticamente en [12], la relación entre el peso de semilla sobre el peso de residuos, después de una muestra de trillas, es de 0.47. Con los datos anteriores, el flujo másico de los residuos se calcula en 5.32Kg/min, los cuales sumados con el flujo másico del grano dan como resultado Q=7.82Kg/min. Ahora, aplicando un balance de masa, el flujo que entra a la máquina es igual al flujo de los residuos más el flujo de grano, y sabiendo que la densidad está dada por la relación del peso sobre el volumen, se puede estimar que la densidad del material que debe transportar el tronco trillador es de $\rho=63.5\text{Kg/m}^3$, pues se tiene las dimensiones promedio por panoja y el número de panojas que entran a la máquina, para el rendimiento establecido. Por último, se debe tener en cuenta que: por la forma que presenta el tronco trillador, el área de relleno depende de la longitud del cilindro, por lo tanto se aproxima la relación área de relleno-longitud del tronco trilladora una ecuación lineal de la forma $ax+b$; con lo cual la ecuación del área de relleno y la de velocidad de desplazamiento, para esta aproximación, ahora son (6) y (7), respectivamente.

Área de relleno variable. $A[m^2] = mL + A_0$ (6)

Velocidad de desplazamiento $v \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{Q \left[\frac{Kg}{min} \right]}{(mL + A_0[m^2])\rho \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}$ (7)

Donde:

m : es la pendiente

A_0 : es el área de relleno base (intercepto vertical)

L : es la variable longitud del tronco trillador

El área de relleno corresponde al área del cilindro que recubre al helicoidal, en un sistema de transportador de tornillo sin fin. En este caso el cilindro que recubre el helicoidal (tronco trillador) es el tronco clasificador, por lo tanto el área de relleno A_0 se halla evaluando la ecuación (1) con el diámetro menor del tronco clasificador (0.210m), correspondiente a la distancia $L = 0$.

El valor m se halla evaluando la ecuación (1) en una distancia $L \neq 0$ para aplicar la ecuación de la pendiente. Teniendo el valor de los parámetros requeridos, se procede a evaluar las ecuaciones (6) y (7), dando como resultado las relaciones (8) y (9).

$A[m^2] = 0.066121L + 0.01108$ (8)

$v \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{7.82}{62.5(0.06612L + 0.01108)}$ (9)

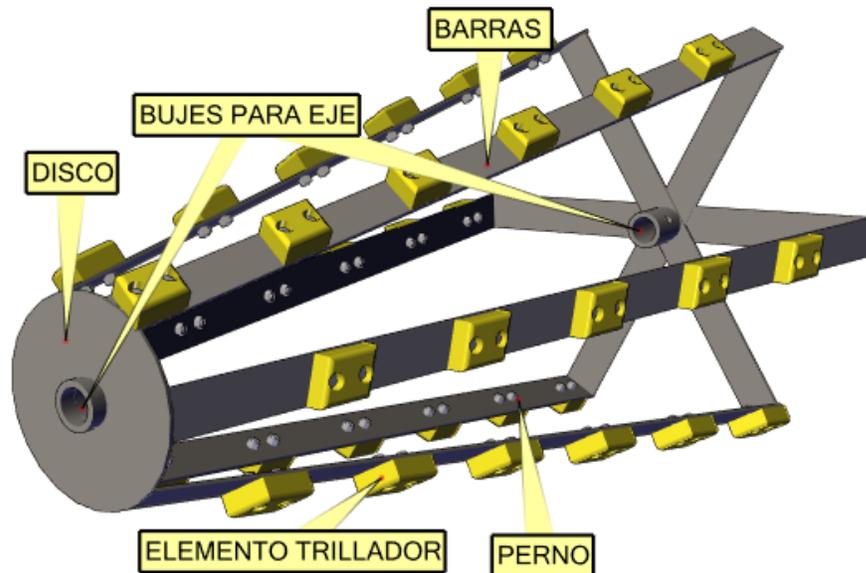
Ya que se desea que el material se transporte con la mayor velocidad posible, y si al evaluar la expresión (9), el mayor valor de velocidad de desplazamiento de material es de $v = 11.3m/min$; se fija como referencia esta velocidad y se calculan los pasos correspondientes para un rango de velocidades angulares aconsejadas para materiales ligeros como el grano de quinua [11], como se muestran en la tabla 3. Ahora, debido a que es más conveniente variar la velocidad que el paso, se fija el paso del helicoidal en 0.15m y se aconseja una *velocidad mínima* de 75rpm. Para favorecer la acción de trilla mientras se transporta material; se seccionan las barras, de manera que se asemejen a dientes dispuestos en forma helicoidal, con el paso fijado de 0.15m; debido a esta modificación puede que la velocidad de transporte disminuya, si eso sucede, solo basta con aumentar la velocidad angular del tronco trillador para aumentar la velocidad de transporte de material.

Definidas las medidas del tronco trillador, su forma se constituye de un disco y barras acomodadas en forma de tronco de cono, sobre las cuales se fijan los elementos trilladores (espiral seccionado), por medio de pernos. Además este tronco debe permitir su montaje sobre un eje para la transmisión de potencia, ver figura 39. Debido a que este tronco y sus elementos trilladores están en continuo contacto con el grano, el material de construcción del tronco debe ser acero inoxidable y el de los elementos trilladores en plástico no tóxico.

Tabla 3. Pasos aconsejados del tronco trillador, para un desplazamiento de material de 11.3m/min

Velocidad angular	Paso del helicoidal
25 rpm	0.452 m
50 rpm	0.226 m
75 rpm	0.150 m
100 rpm	0.113 m
125 rpm	0.090 m
150 rpm	0.075 m
Fuente: propia	

Figura 39. Tronco Trillador



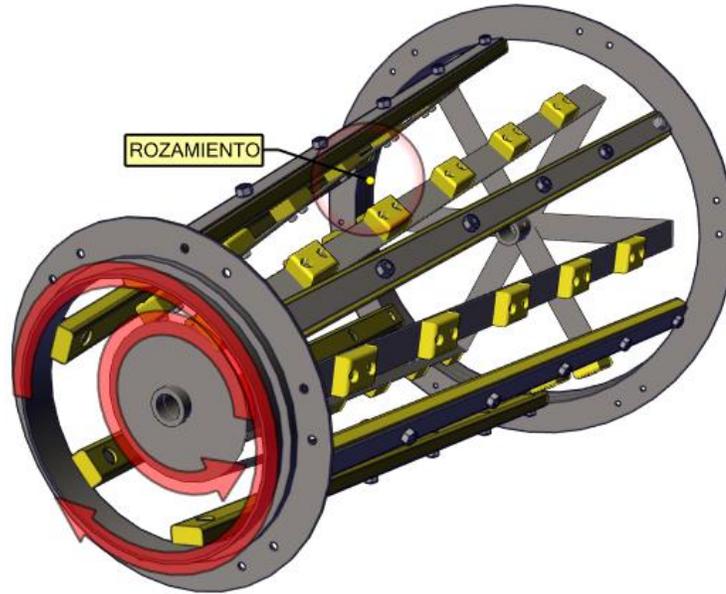
Fuente. Propia

La unidad de trilla se compone del tronco trillador y el tronco clasificador. Para realizar la acción de trilla, el tronco trillador debe girar de manera que sus elementos trilladores ejerzan fricción sobre las panojas de quinua, con la ayuda de las barras planas del tronco clasificador, ver figura 40. Para ello se le debe suministrar la potencia y velocidad necesaria para que el tronco trillador gire a una velocidad constante mayor a 75rpm.

La potencia de giro necesaria del tronco trillador, se halla simplificando el modelo a uno sobredimensionado, para reducir problemas de atascamientos y desbalance de la máquina. El modelo se simplifica, acumulando la masa del tronco trillador en un punto y se estiman las potencias para mover esta masa en vacío (sin material que trillar) y con carga (trillando material). Si la masa del tronco

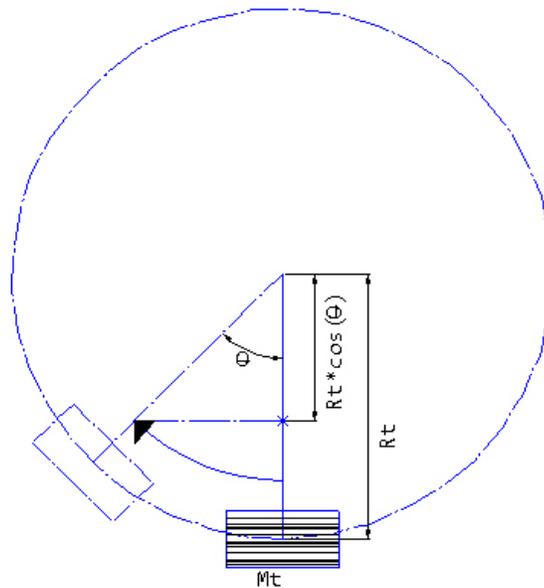
trillador, obtenida de su modelo 3D, es de $M_t=9.6\text{Kg}$ y el radio máximo del tronco trillador es de $R_t=0.245\text{m}$. El modelo simplificado del tronco trillador se representa en la figura 40.

Figura 40. Conjunto unidad de trilla



Fuente. Propia

Figura 41. Modelo simplificado del tronco trillador



Fuente. Propia

Ahora, se necesita representar matemáticamente el modelo, para poder estimar la potencia necesaria requerida por el tronco trillador. La ecuación (10), obtenida de [13], representa el comportamiento del modelo simplificado .

$$\text{Torque} \quad \tau = J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + M_t g R_t \cos(\theta) \quad (10)$$

Donde:

J : es el momento de inercia [Kgm^2]

$\ddot{\theta}$: es la aceleración angular [rad/s^2]

B : es el coeficiente de fricción [Nms/rad]

$\dot{\theta}$: es la velocidad angular [rad/s]

M_t : es la masa equivalente del tronco trillador [Kg]

g : aceleración de la gravedad [m/s^2]

R_t : es el radio equivalente del tronco trillador

θ : es la posición angular [rad]

Debido, a que solo nos interesa el funcionamiento en régimen estacionario, la velocidad angular es constante, en este caso se propone una velocidad el doble de la mínima establecida (75rpm). Por lo tanto, la ecuación (10) ahora se reduce a (11).

$$\tau = B\dot{\theta} + M_t g R_t \cos(\theta) \quad (11)$$

La ecuación (11) nos indica que: para hacer girar el tronco trillador a una velocidad constante, el torque debe de vencer la fuerza de fricción, en el momento de realizar la acción de trilla, más el peso del tronco trillador. Por lo tanto la potencia que requiere el tronco trillador para realizar la trilla equivale a la potencia requerida por el torque. En ausencia de panojas de quinua entre los troncos de trilla y clasificación, el componente de fricción de la ecuación (11) será despreciable, es decir, el tronco trillador trabajará en vacío. Cuando se esté trillado panojas de quinua, existirá un componente grande de fricción, es decir, el tronco trillador trabajará con carga.

Si se propone que las pérdidas de potencia en los cojinetes sean despreciables, en relación a la potencia de giro en vacío y con carga. Teniendo en cuenta la ecuación (11), la potencia que se le debe aplicar al tronco trillador se traduce en la ecuación (12):

$$\text{Potencia del tronco trillador} \quad P_{tt}[W] = P_{tc} + P_{tv} \quad (12)$$

Donde:

P_{tc} : es la potencia del tronco trillador con carga [W]

P_{tv} : es la potencia del tronco trillador sin carga [W]

De [14] se sabe que el par motor y la potencia desarrollada son:

$$\text{Par motor} \quad M[Nm] = RF \quad (13)$$

$$\text{Potencia desarrollada} \quad P[W] = M\omega \quad (14)$$

Donde:

R : es el brazo de aplicación de la fuerza [m]

F : es la fuerza aplicada ortogonal a R [N]

El momento crítico donde se debe aplicar la mayor potencia es cuando el peso M_t y la fuerza del par F tienen sentidos opuestos, es decir forman un ángulo de 180° ; y debido a que la fuerza F y la fuerza de fricción siempre forman un ángulo de 180° , el par necesario en vacío se expresa con la ecuación (15) y con carga en la ecuación (16), de acuerdo a lo expuesto en [14]:

$$\text{Par necesario en vacío} \quad M_{nv} = R_t M_t g \quad (15)$$

$$\text{Par necesario con carga} \quad M_{nc} = R_t \mu_k N \quad (16)$$

Donde:

R_t : es el radio del tronco trillador [m]

M_t : es la masa equivalente del tronco trillador [Kg]

g : es la aceleración de la gravedad [m/s^2]

μ_k : es el coeficiente de fricción dinámica aproximado entre la quinua y las barras planas

N : es la fuerza de contacto entre las barras planas y la quinua [N]

Evaluando los parámetros de (14) y (15), el valor estimado del par y la potencia necesaria en vacío son:

$$\text{Par del trillador vacío} \quad M_{tv} = 0.245m * 9.6Kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 23.35Nm$$

$$\text{Potencia del trillador vacío} \quad P_{tv} = 23.35Nm * 150 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi rad}{rev} \cdot \frac{min}{60s} = 366.780W$$

Para poder establecer el par y la potencia necesarios con carga, se debe conocer el coeficiente de rozamiento dinámico de las panojas de quinua con el material friccionante (plástico) y la fuerza de contacto que ejerce una panoja de quinua a la compresión. Debido a que no se encontraron fuentes que proporcionen estos datos se realizó un experimento basado en el deslizamiento de plano inclinado, el cual está documentado en el anexo E, con el fin de estimar el coeficiente de rozamiento dinámico; también se hicieron pruebas sobre la respuesta de diversas panojas de quinua a la fuerza de compresión, las cuales están documentadas en el anexo F.

$$\text{Coeficiente de rozamiento cinético plástico liso} \quad \mu_{kq} = 0.51$$

$$\text{Coeficiente de rozamiento cinético plástico con hendiduras} \quad \mu_{kq} = 0.79$$

$$\text{Fuerza de contacto} \quad N_q = 9.8N$$

Con el fin de evitar sobreesfuerzos de la máquina, al utilizar uno u otro material como fricciónate, se toma el valor máximo de los coeficientes. Además, si el tronco trillador posee 36 dientes, y en el supuesto que cada diente posea carga, se estima que la sumatoria de los pares de los elementos trilladores compone el par con carga; por lo cual la potencia en este caso resulta de multiplicar por 36 el par motor de un elemento trillador. Para establecer el par motor carga y la potencia requerida, con carga, se evalúan las ecuaciones (14) y (16).

$$\text{Par del trillador cargado } M_{tc} = 0.245m * 0.79 * 9.8N = 1.89Nm * 36 = 68.28Nm$$

$$\text{Potencia del trillador cargado } P_{tc} = 68.28Nm * 150 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi rad}{rev} \cdot \frac{min}{60s} = 1072.60W$$

Finalmente, la potencia necesaria para el tronco trillador, reemplazando valores en (15) es:

$$\text{Potencia del tronco trillador } P_{tt} = 1439.39W$$

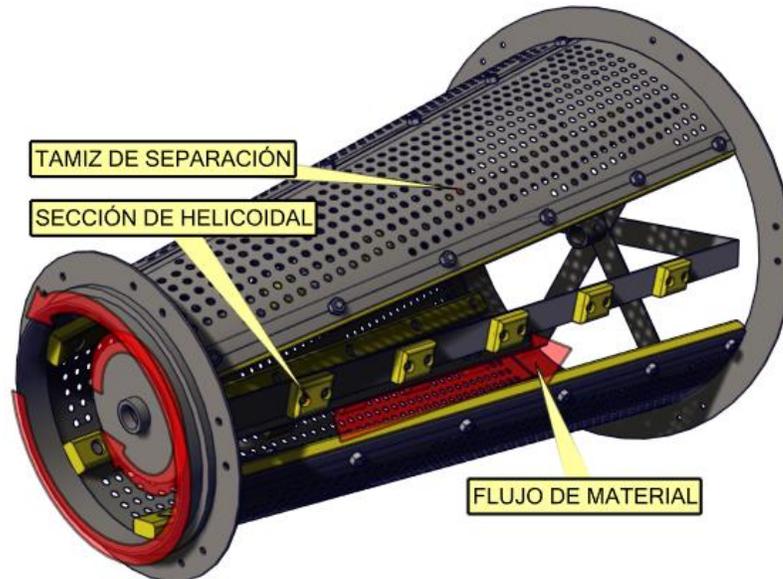
3.2.3. Unidad de Separación.

Consta de un sistema de arrastre de residuos y un tamiz separador; el sistema de arrastre debe expulsar los residuos hacia el exterior de la máquina y el tamiz separa el grano de los residuos orgánicos como tallos y glomérulos trillados. El sistema de arrastre de residuos está integrado en la unidad de trilla; ya que los elementos trilladores del tronco trillador al girar empujan los residuos debido a su disposición helicoidal. El tamiz recubre la superficie del tronco clasificador y va sujeto a él, ya que al girar el tronco clasificador con este tamiz hace que el grano se filtre por sus orificios; además el tamiz se divide en 6 secciones, cada una se sujeta al tronco separador, con los mismos pernos que sujetan las barras planas al tronco clasificador. Debido a que el diámetro de orificio del tamiz de separación de la trilladora "Perfecta No 12", consignado en el anexo D, es de 10mm, el de este tamiz también se fija en el mismo valor.

Considerando que el tamiz de esta unidad va sujeto al tronco clasificador, las estimaciones de potencia y velocidad de esta unidad se especifican en la unidad de clasificación. El material de fabricación del tamiz de separación, se propone sea acero inoxidable, debido a que este tiene contacto permanente con el grano. Ya que el tamiz de esta unidad está compuesto de 6 partes removibles, lo que facilita el mantenimiento y reparación de esta unidad.

Al girar el tronco trillador hace que todas las secciones del helicoidal, a la vez que trillan, desplacen el material hacia fuera de tronco clasificador. Al girar el tronco clasificador con el tamiz de separación, el grano se filtra por los orificios de este tamiz y el tamo resultante de la trilla es expulsado hacia fuera del tronco clasificador, ver figura 42.

Figura 42. Unidad de separación



Fuente. Propia

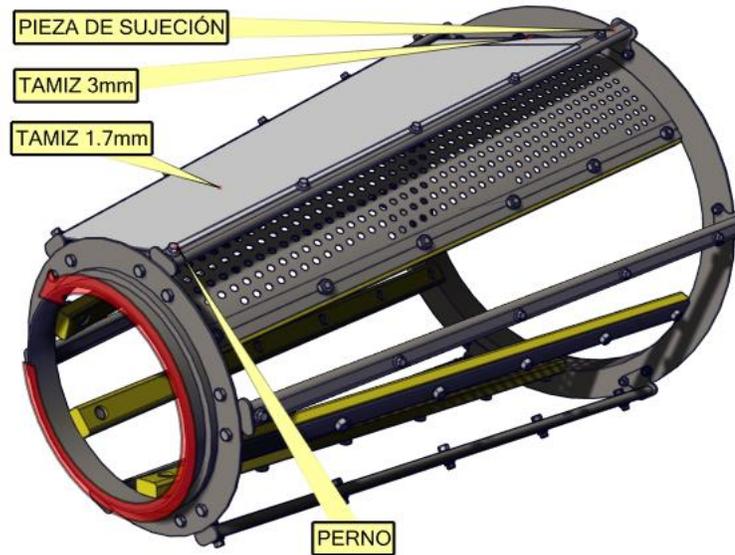
3.2.4. Unidad de Clasificación.

Esta unidad consta de un juego de tamices, un sistema de canales y una fuente de ventilación. El juego de dos tamices recubre el tronco clasificador y va sujeto a él con pernos y 6 piezas alargadas, ver figura 43. Se propone que el primer tamiz de adentro hacia afuera debe retener los residuos que se filtran desde la unidad de separación y deje pasar los granos hasta 2.66mm de diámetro, el segundo tamiz retiene los granos con un diámetro mayor de 1.5mm y deja pasar los granos con diámetros menores a 1.5mm. Entonces se propone que el primer tamiz posee un diámetro de orificio de 3mm, para clasificar granos extra grandes y grandes; el segundo tamiz posee un diámetro de orificio de 17mm, para clasificar granos medianos y pequeños, según la prueba de tamizado[15]. Sin embargo, la unidad permite cambiar el juego de tamices por otros con distintas características de forma de orificio o material, pero que sigan conservando las dimensiones de orificio antes mencionadas y las condiciones sanitarias seguras de la máquina.

Los tamices deben rotar lentamente, a una velocidad constante, de tal manera que logren clasificar grano de manera eficiente. Para establecer la velocidad de rotación de estos tamices, se debe tener en cuenta que las altas velocidades dificultan el paso del grano por los orificios de cada tamiz, por lo tanto los tamices deben rotar a velocidades relativamente bajas [16]. Teniendo en cuenta la velocidad lineal de los tamices de la trilladora "Perfecta No. 12"; se puede referenciar de esta para establecer la velocidad tangencial de los tamices de la unidad de clasificación. Partiendo de que: la velocidad lineal de los tamices de la trilladora "Perfecta No. 12", es de 0.5m/s, consignada en el anexo D; se hace equivalente a la velocidad tangencial de los tamices; el radio R, para establecer la velocidad angular,

es de 0.355m, según el modelo en 3D. Para poder obtener la velocidad angular de los tamices se utiliza la ecuación (5) y se evalúa.

Figura 43. Tronco Clasificador con un tamiz clasificador



Fuente. Propia

Velocidad angular unidad de clasificación:

$$\omega_c = \frac{0.5 \frac{m}{s} \cdot \frac{60s}{min}}{2\pi * 0.355m} = 13.45rpm$$

Como se mencionó anteriormente la potencia necesaria para esta unidad se comparte con la unidad de separación. Entonces se estima la potencia para el conjunto, descrito en la figura 44, el cual comprende: unidad de separación (tronco clasificador más tamiz de separación), unidad de clasificación (tamices de clasificación). La ecuación para hallar la potencia necesaria es (15), la cual se deduce del mismo modelo simplificado realizado para la unidad de trilla. El valor de la masa equivalente del tronco clasificador, según el modelo CAD del conjunto de la figura 44, es de 36.5Kg, el radio mayor del tronco clasificador es de $R_c=0.355m$ y la velocidad de giro de esta unidad se propone en 15rpm tomando como referencia la velocidad angular de la unidad de clasificación.

Potencia de tronco clasificador

$$P_{tc}[W] = P_{cc} + P_{cv} \quad (17)$$

Donde:

P_{cc} : es la potencia del tronco clasificador con carga [W]

P_{cv} : es la potencia del tronco clasificador sin carga [W]

Siguiendo el procedimiento realizado al tronco trillador, el par y la potencia en vacío y con carga, para el tronco clasificador, mostrado en el conjunto CAD de la figura 44 son:

Par tronco clasificador vacio

$$M_{cv} = 126.98Nm$$

Potencia tronco clasificador vacio

$$P_{cv} = 199.46W$$

El mismo análisis del tronco trillador para establecer la potencia con carga.

Par tronco clasificador cargado

$$M_{cc} = 98.64Nm$$

Potencia tronco clasificador argado

$$P_{cc} = 154.94W$$

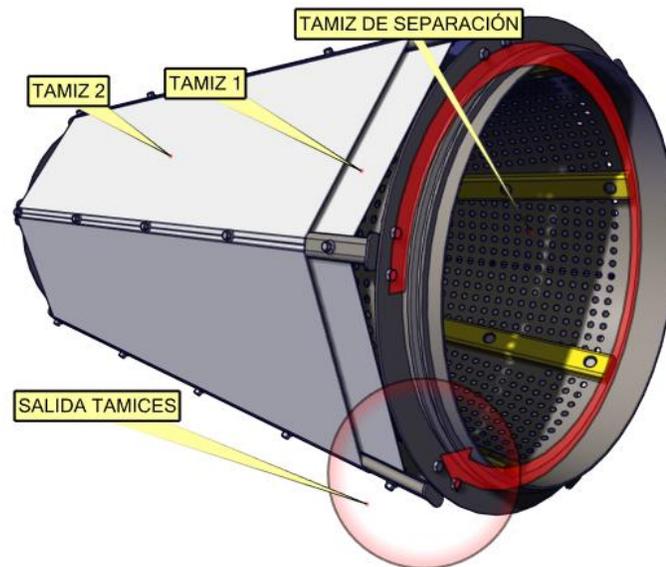
Finalmente, la potencia necesaria para el tronco clasificador, evaluando (17), es:

Potencia del tronco clasificador

$$P_{tc} = 354.4W$$

Al girar el tronco clasificador con el juego de tamices, clasifican el grano, de manera que los granos que superan el tamiz de separación y no superan el primer tamiz se conducen por la superficie del tamiz 1 hacia la "salida de tamices"; los granos que superan el tamiz de separación y el primer tamiz pero no superan el tamiz 2 se conducen por la superficie del tamiz 2 hacia la "salida de tamices"; los granos que superan los anteriores tamices se deben conducir por un canal hacia la "salida de tamices, ver figura 44.

Figura 44. Tronco clasificador

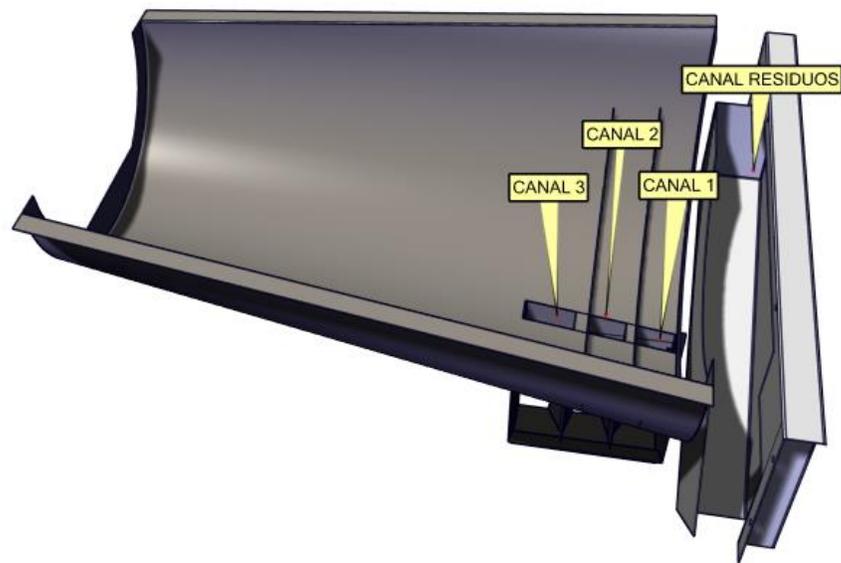


Fuente. Propia

El sistema de canales lo componen: la cubierta inferior, que recoge los resultados del tamizado y los conduce, hacia los canales; ambos elementos, canales y cubierta inferior, están sujetos por medio de pernos a la estructura. Debido a que estas partes tienen contacto permanente con el grano, se propone

que su materia de construcción sea acero inoxidable. Las dimensiones de la cubierta inferior se establecen de tal manera que recubra en 180 grados, sin presentar contacto con las piezas móviles de la máquina. Los canales separan los resultados en cuatro tipos; por el canal 1 conduce residuos que no atravesaron el primer tamiz, pero que pueden contener grano, por el canal 2 grano extra grande y grande, que no atravesaron el segundo tamiz, por el canal 3 grano mediano y pequeño y por el canal de residuos se conducen el tamo y desechos de trilla que no travesan el canal de separación, ver figura 45. Se propone unas dimensiones para los canales, de tal manera que no afecten el movimiento del tronco clasificador y los demás mecanismos, permitiendo una adecuada clasificación de grano, teniendo en cuenta otras máquinas con sistemas similares.

Figura 45. Sistema de canales unidad de clasificación

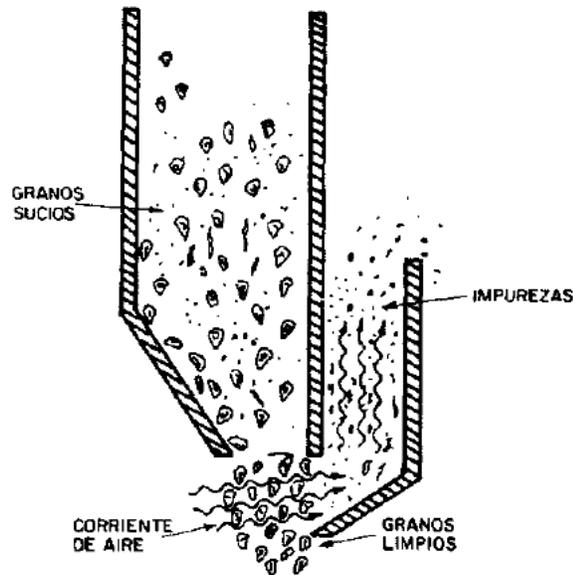


Fuente. Propia

Para implementar la ventilación, que permita la separación del grano de las impurezas más livianas como polvo, la figura 46 ilustra el método de separación de grano que se propone para la mejora. El método consiste en aplicar una corriente de aire a los granos sucios que caen por los canales; las impurezas más livianas que el grano son expulsadas con diferentes trayectorias, y de esta manera se puede clasificar grano de las suciedades. Las dimensiones de los canales están sujetas a cambios de medidas, para favorecer la separación del grano de las suciedades. También se propone que la fuente de ventilación sea un ventilador mecanizado, que permita su integración a la mejora.

Los parámetros de diseño del ventilador se obtienen analizando el comportamiento del grano en el proceso de ventilado; ya que, el comportamiento aerodinámico del grano permitirá establecer la cantidad necesaria de flujo de aire que debe proporcionar el ventilador, para separar el grano de la mejor manera posible. El propósito es establecer un flujo máximo de aire, para el cual el grano no sea expulsado junto con las impurezas, de tal manera que se proporcionen datos importantes para un posible control de dicho flujo.

Figura 46. Limpieza de granos con corriente de aire



Fuente. Artículo. Limpieza de granos

Primero se debe tener en cuenta los fenómenos que ocurren al someter un grano de quinua a una corriente de aire, al conocer el comportamiento de un grano, se extiende el comportamiento a un conjunto de granos, y así establecer las características del sistema de ventilación a proponer. Físicamente, si un objeto es sometido a corrientes de aire, este experimenta dos fuerzas principales: la fuerza de arrastre y la fuerza de flotación, ver figura 47. De [17] se conocen las ecuaciones que determinan el comportamiento de la fuerza de arrastre y la fuerza de flotación son:

$$\text{Fuerza de arrastre} \quad F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_f v^2 A \quad (18)$$

$$\text{Fuerza de flotación} \quad F_B = \rho_f V g \quad (19)$$

Donde:

C_D : coeficiente de arrastre

ρ_f : densidad del fluido

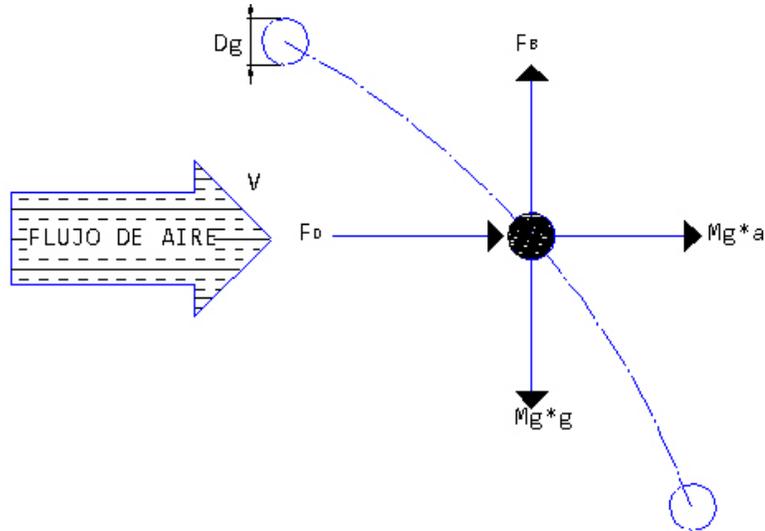
v : velocidad del fluido

A : es el área que se proyecta sobre un plano normal a la dirección del flujo

V : es el volumen del cuerpo

g : es la aceleración de la gravedad

Figura 47. Modelo de caída de un grano de quinua por una corriente perpendicular de aire.



Fuente. Propia.

Un análisis de la figura 47 permite establecer el modelo dinámico del comportamiento del grano, de la siguiente manera:

$$F_D = M_g \ddot{X} \quad (20)$$

$$F_B - M_g g = M_g \ddot{Y} \quad (21)$$

Donde:

F_D : fuerza de arrastre producida por el flujo de aire

M_g : es la masa de un grano de quinua

\ddot{X} : es la aceleración en X

F_B : es la fuerza de fricción del grano cuando cae por el aire

g : es la aceleración de la gravedad

\ddot{Y} : es la aceleración en Y

Remplazando (18) en (20) y la ecuación (19) en (21) se obtienen las siguientes expresiones.

$$\ddot{X} = \frac{C_D \rho_f v^2 A}{2M_g} \quad (22)$$

$$\ddot{Y} = \frac{\rho_f V g}{M_g} - g \quad (23)$$

Para poder evaluar las ecuaciones (22) y (23), el valor de sus coeficientes se eligen según lo expuesto en [1] y [17]. El valor de los coeficientes se muestra a continuación.

Coefficiente de arrastre para objetos esfericos

$$C_D = 0.47$$

Densidad del aire a 15°C

$$\rho_f = 1.225 \text{Kg/m}^3$$

Área que se proyecta de un grano de quinua

$$A = 1.767 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

Volumen de un grano de quinua

$$V = 1.767 \times 10^{-9} \text{m}^3$$

Masa de un grano de quinua

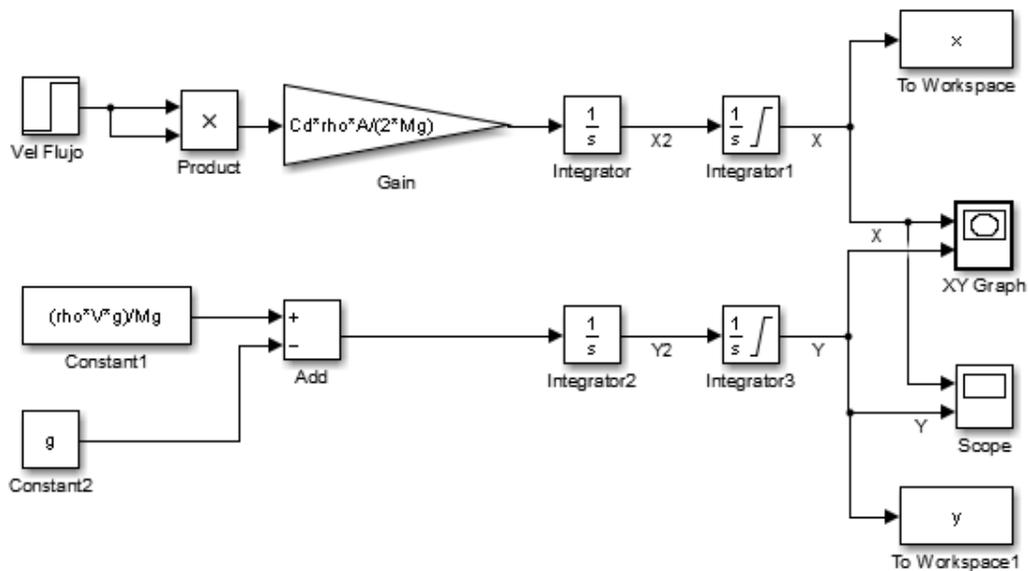
$$M_g = 6 \times 10^{-6} \text{Kg}$$

Aceleración de la gravedad

$$g = 9.8 \text{m/s}^2$$

De las ecuaciones (20) y (21) se puede observar que: en el eje horizontal, el flujo de aire hace que el grano se acelere en X; y en el eje vertical Y la gravedad acelera el grano, produciendo su caída, debido a que el componente de flotación es mucho menor que la gravedad. Debido a la ausencia de estudios sobre este proceso con el grano de quinua, se ve la necesidad de utilizar software como Matlab y Simulink, los cuales permiten estimar el comportamiento de sistemas físicos a través de sus modelos. Para tener una idea sobre el comportamiento del grano, al aplicarle un flujo de aire, y su trayectoria dentro de los canales, se simulan las ecuaciones (22) y (23) Para poder simular las el sistema en cuestión, se trasciben las ecuaciones en un diagrama de bloques de Simulink para realizar la simulación, teniendo en cuenta que la velocidad del flujo es la entrada al sistema, ver figura 48.

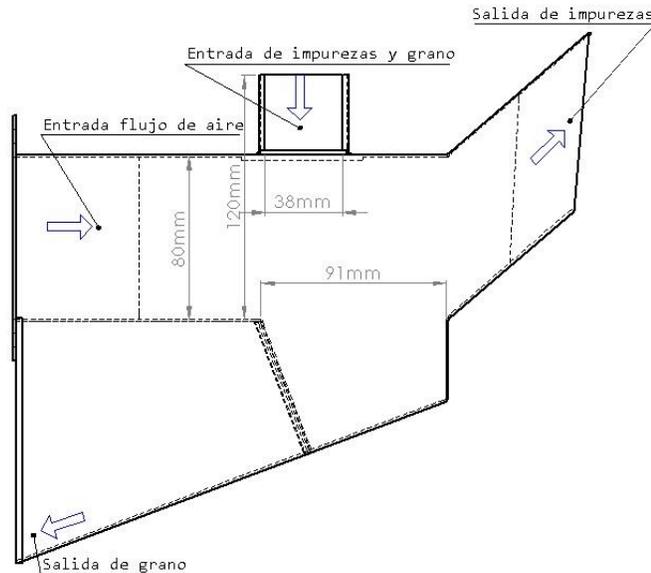
Figura 48. Diagrama de bloques en Simulink, ecuaciones del comportamiento del grano



Fuente. Propia.

La figura 49 muestra un esquema de la forma de los canales, la cual se configura para que pueda realizar la separación de grano, mediante la ventilación. Además de la forma, se presentan las dimensiones importantes para establecer las características de flujo de aire, con la ayuda de la simulación.

Figura 49. Vista lateral canales de clasificación



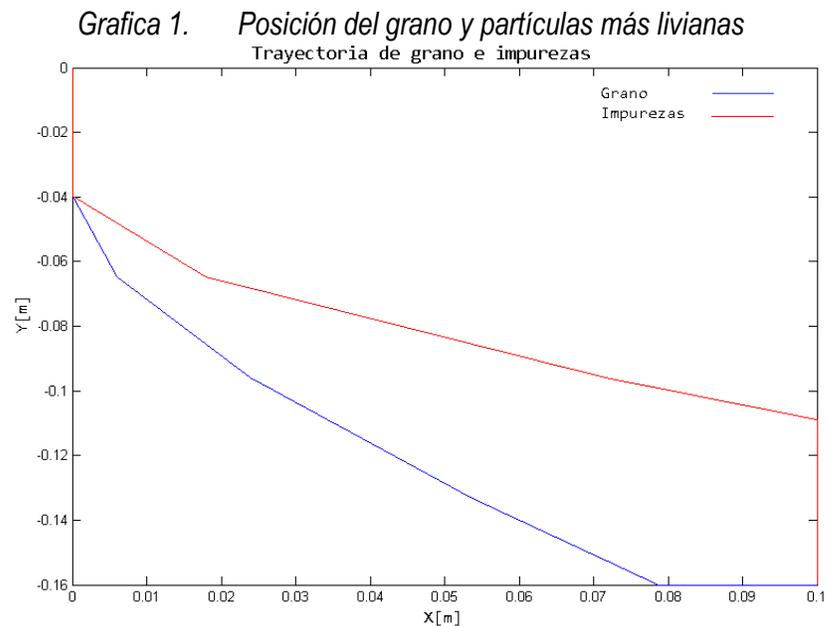
Fuente. Propia

Si se colocara un sistema de coordenadas, permitiendo observar la trayectoria del grano; se debe tener en cuenta que en el eje Y el grano tiene un límite de espacio de 120mm y en X de 90mm; además el grano recorre una distancia en Y de 40mm antes de tener contacto con el flujo de aire.

Después de una serie de simulaciones se observa que con una velocidad de flujo de 15m/s, el grano y las impurezas se comportan de la manera deseada. La grafica 1 representa el comportamiento del grano y las impurezas, al aplicarle un flujo de aire de 15m/s; se puede observar que el grano no sobrepasan los 90mm en X cuando ha recorrido 160mm en Y, es decir ha atravesado la zona de corriente de aire. De esta manera se establece que la velocidad máxima del flujo sea de 15m/s.

Con una velocidad de flujo de aire de 15m/s se prevé que un grano de quinua a este flujo, el grano será separado de las impurezas más livianas, con la ayuda de la forma establecida de los canales. Cabe resaltar que los granos varían en su tamaño y peso, debido a muchas condiciones climáticas y agroecológicas de la planta de quinua, aun así se supone que el comportamiento será similar para un flujo de grano. Sin embargo para disminuir la perdida de grano en este proceso, se propone controlar el flujo de aire mediante una la restricción del flujo de aire que entra a los canales.

Para aplicarle una corriente de aire se propone la integración de un ventilador centrífugo como fuente de flujo de aire, ya que nos proporciona ciertas ventajas para su acoplamiento. Este ventilador estará acoplado a los canales de manera que provean una corriente de aire a una velocidad de 15m/s.



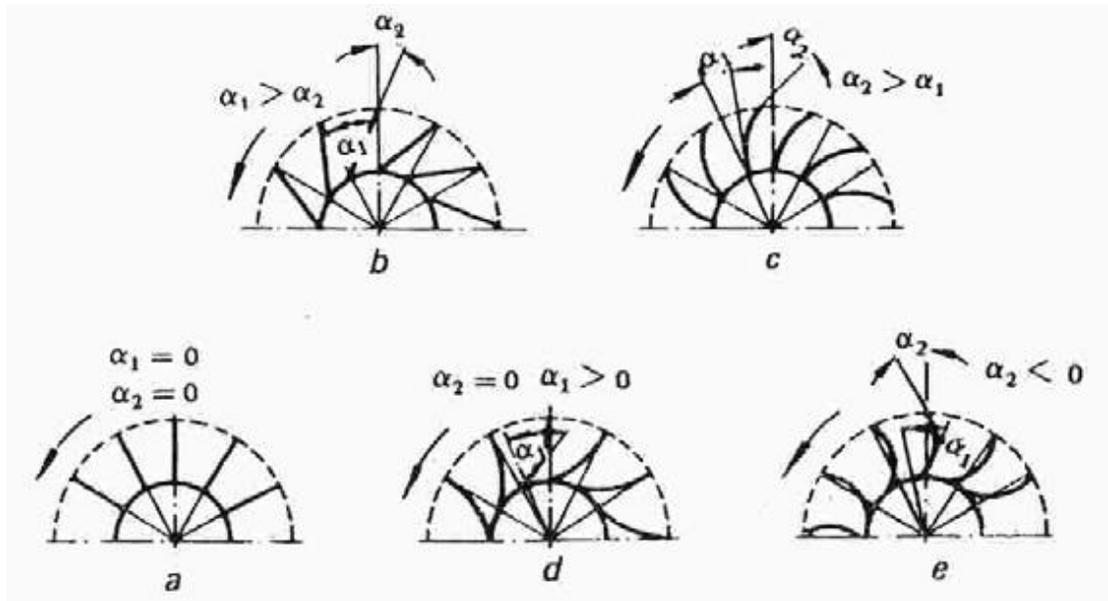
Fuente. Propia

Para establecer los parámetros detallados del ventilador se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones.

En general los ventiladores se clasifican en dos tipos. El ventilador axial, al cual el flujo de aire a través del rotor conservando la dirección del eje; los ventiladores de este tipo son más usados para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos, por lo que son utilizados principalmente en la ventilación general. El otro tipo de ventilador es el centrífugo, al cual el aire ingresa paralelamente al eje del rotor, por la boca de aspiración y la salida del aire se da tangencialmente al rotor; son especialmente utilizados en sistemas de ventilación localizada para procesos industriales. Por lo tanto se propone que el sistema de ventilación de la máquina, posea un ventilador centrífugo[17].

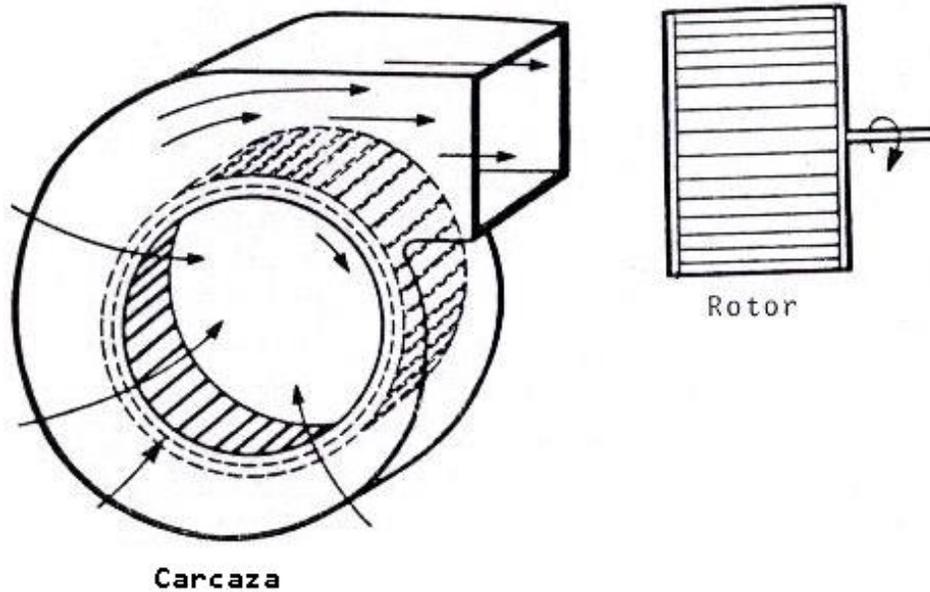
El elemento principal de los ventiladores es el rodete o rotor, el cual al rotar alrededor de un eje produce los cambios de velocidad del flujo de aire. Los rodetes son clasificados por el perfil de sus aspas; es así como existen rotores con aspas rectilíneas o curvilíneas. Los de alabes rectilíneas tienen dos variaciones; rectilíneos radiales (punto a figura 50) o rectilíneos inclinados hacia atrás (punto b figura 50). Los de alabes curvilíneas tienen tres variaciones; curvilíneos inclinados hacia atrás (punto c figura 50), curvilíneos que terminan en el radio (punto d figura 50) y curvilíneos inclinados hacia adelante (punto d figura 50). De la variación de perfiles de aspa, se debe decir que las aspas inclinadas hacia atrás, a diferencia de las inclinadas hacia adelante, producen cargas de presión más bajas, los de alabes hacia adelante producen velocidades de flujo mayores[18]. Otro elemento que compone el ventilador centrífugo es la voluta. Este elemento recubre el rodete y direcciona el aire según su forma. La forma general, en este tipo de ventiladores, por lo general, la forma de la carcasa se asemeja a un caracol ver figura 51.

Figura 50. Perfiles de aspas rodetes ventiladores



Fuente. Tesis, diseño y fabricación de una máquina limpiadora de trigo

Figura 51. Carcaza ventilador centrifugo



Fuente: http://www.geocities.ws/Athens/Troy/8084/Vent_exa.html

Para establecer los parámetros detallados del ventilador muchas fuentes como por ejemplo[17],[18] y [19] realizan diversos cálculos complejos, resultando en un proceso tedioso y dispendioso, lo cual no es objeto de estudio del este trabajo de grado. Entonces se propone que a partir de las condiciones de flujo de aire, que demanda la limpieza de grano; la definición detallada de este ventilador, se realice a partir de la elección de una referencia comercial, que se adapte a las condiciones de ventilación establecidas. Por otra parte la construcción a medida de este componente aumenta los costos de fabricación y reparación.

Dando cumplimiento al requerimientos de portabilidad y fabricación nacional; se evaluaron diversa información sobre referencias comerciales nacionales, en catálogos y páginas web de empresas como "SODECA" [20] y "S&P Colombia"[21]. Luego de comparar los datos obtenidos de dicha evaluación; la referencia que más se acomoda a las necesidades de ventilación de la máquina, la provee la empresa S&P Colombia, debido a que comercializa ventiladores centrífugos de simple aspiración con transmisión por polea, velocidades de rotación, flujo y tamaño adaptables a la máquina; además de accesorios que permiten el control de flujo de aire a los ventiladores.

Selección de un ventilador comercial: S&P Colombia S.A.S es una empresa que provee equipos para la ventilación para uso comercial o industrial. Dentro de sus diversos catálogos de productos de la línea industrial, ofrece ventiladores centrífugos para muchas aplicaciones y necesidades. En nuestro caso se propone que el ventilador para el proceso de ventilado de nuestra máquina sea uno de tipo centrífugo, de simple aspiración, ya que favorece realizar un control de flujo en la entrada de aire al ventilador.

Para la elección de una referencia exacta de un ventilador de S&P Colombia, se debe revisar el catálogo de ventiladores centrífugos[21], proporcionado por dicha empresa. En el catálogo[21] se describe la información general, características de construcción, forma de elección de las referencias y tablas de características de cada una de ellas. Según la nomenclatura utilizada para referenciar los productos, la línea de ventiladores apropiada para nuestra aplicación es la SA, ver figura 52. Los ventiladores de la línea SA son ventiladores centrífugos de simple aspiración, con rodets de alabes curvas adelantada, de bajo consumo energético y accionamiento por polea; existe una gama de 9 tamaños distintos, que además de la voluta y el rodete, posee una estructura rectangular construida con perfiles en "C" para reforzar la unidad, además de todos los accesorios de potencia como: ejes rodamientos y elementos de unión, ver figura 53.

Si la velocidad de flujo de aire es de 15m/s, equivalente a 5.4Km/hora y el área de entrada de aire de los canales es de 0.039m²; el caudal de aire que debe atravesar los canales, que es el mismo que debe proveer el ventilador, se halla con la ecuación (24) [17].

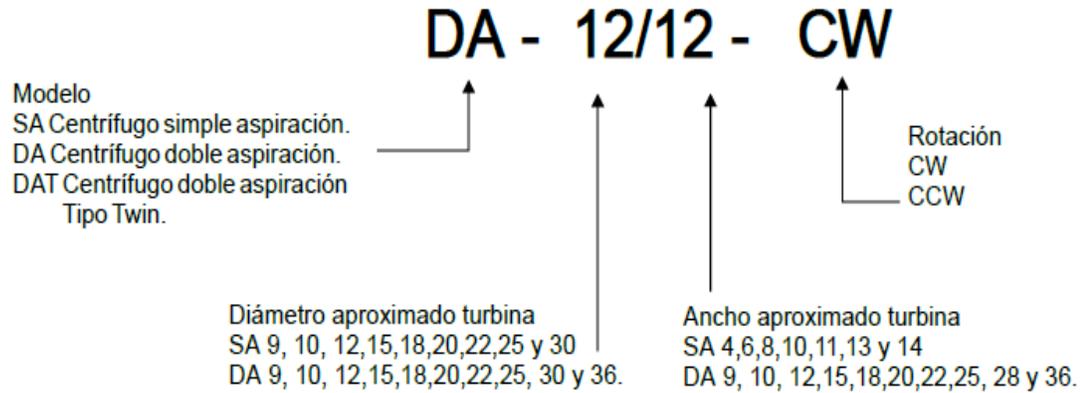
$$\text{Caudal de aire} \qquad Q_a = V_a A_s \qquad (24)$$

Donde:

V_a: es la velocidad del flujo de aire

A_s: es el área de salida

Figura 52. Nomenclatura de catálogo de ventiladores centrífugos S&P



Fuente. Cátalo de ventiladores centrífugos S&P[21]

Figura 53. Ventiladores centrífugos línea SA.



Fuente. Cátalo de ventiladores centrífugos S&P[21]

Evaluando los parámetros de la ecuación (24) el caudal de aire que debe atravesar los canales es Q_a :

$$Q_a = 2106 \frac{m^3}{h}$$

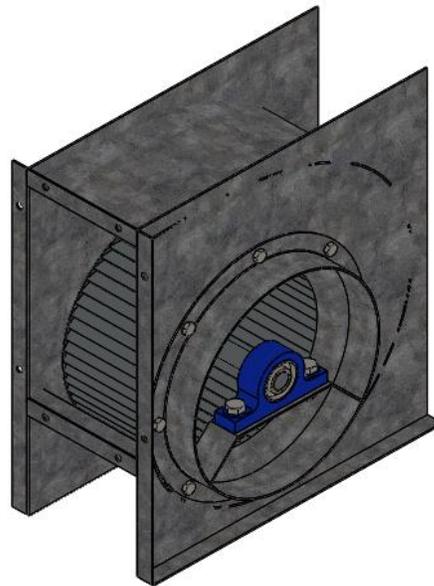
La referencia de ventiladores SA-9/4, correspondientes a un ventilador centrífugo de simple aspiración, el cual presenta el menor tamaño entre las demás referencias, provee el caudal necesario según lo presentado en su tabla de características[21]. Las principales características que presenta el ventilador SA-9/4, para proveer un caudal de 2107m³/h, son: ver tabla 4.

Tabla 4. Características principales del ventilador SA-9/4 a un caudal de 2107m³/h

Caudal	Velocidad del rotor	Potencia necesaria
2107m ³ /h	1500rpm	0.78HP
Fuente. Hoja de datos. Catálogo Ventiladores centrífugos S&P, Tabla 9/4		

Se propone acoplar a la máquina un ventilador centrífugo SA-9/4, como fuente de caudal de aire, para la ventilación del grano. Este ventilador tomará la potencia y movimiento, del sistema de potencia que alimenta las otras unidades, es decir, si se propone un motor de combustión para mover las unidades de trilla y clasificación, a este mismo motor se acoplará el ventilador, con una transmisión que permita proveer 1500rpm y 0.78hp. Según la referencia propuesta para el ventilador, se levanta el modelo CAD, estableciendo las medidas detalladas y accesorios del ventilador, para realizar la integración a la máquina, ver figura 54.

Figura 54. Ventilador centrífugo SA-9/4 S&P, vista isométrica



Fuente. Propia

Para regular el caudal de aire, que permita realizar un control en lazo abierto, para mejorar la limpieza de grano, que por diversas condiciones climáticas, cambien las características de este; se propone adicionar una compuerta de regulación manual de aire, ver figura 55. La compuerta se acopla a la

boca de aspiración del ventilador SA-9/4, permitiendo así la regulación de caudal, que entra al sistema. El caudal se regula por medio de una perilla que abre o cierra la compuerta. La ventaja de esta referencia de ventiladores es que: la compuerta la provee el mismo fabricante, por lo que esta compuerta está fabricada basada en las configuraciones de cada referencia de ventiladores. Además, para acoplar el ventilador con la compuerta a los canales, se propone la adición de un ducto de unión, construido en lámina; que permita acoplar el área de salida del ventilador con el área de entrada de aire de los canales.

Debido a que la compuerta de regulación manual de flujo, el ventilador y el ducto de acople no tiene contacto directo con el grano, estos pueden estar fabricados con lámina galvanizada. Por lo tanto el sistema de clasificación queda establecido, constando de un juego de tamices rotatorios, los cuales clasifican los granos de quinua; los separan de los residuos de trilla y los clasifican por tamaños, luego, los granos clasificados caen por gravedad a los canales, para que el ventilador centrífugo termine la clasificación de grano, realizando la ventilación de estos. Además de estos canales de clasificación existe un canal de salida de los desechos de la separación, el cual dirige el tamo resultante de la trilla, hacia fuera de la máquina.

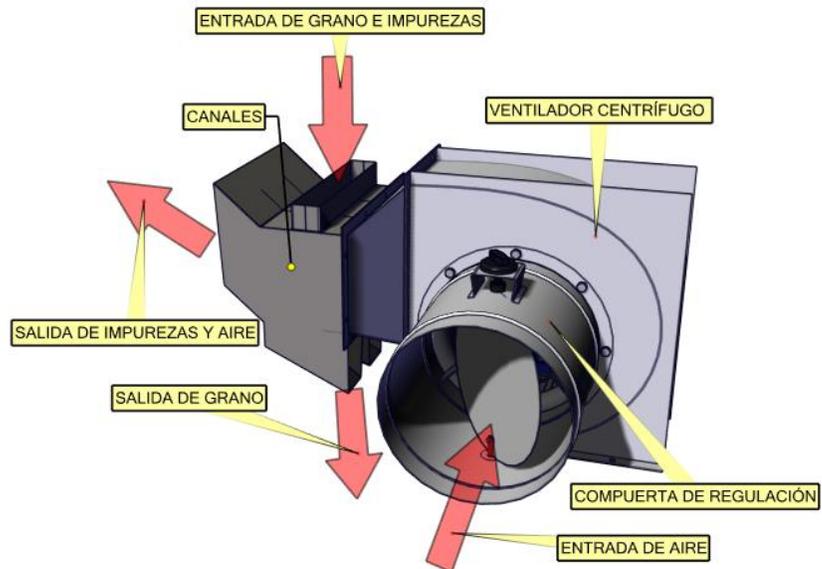
Figura 55. Compuerta manual de regulación de aire



Fuente. Página web. <http://www.mixflow.es>

Establecidas detalladamente las unidades de la mejora, se realiza el ensamblaje CAD del conjunto de estos sistemas de proceso, ver figura 57. Según la forma y medida de las unidades de la mejora, se configura la estructura, de manera que soporte estas unidades y permita su buen funcionamiento. Se propone que la estructura se construya en perfil cuadrado de 40x40mm, el cual es un perfil comercial y se utiliza habitualmente para este tipo de estructura [8].

Figura 56. Sistema de ventilación



Fuente. Propia

Figura 57. Sistemas de proceso de la mejora y estructura parcial



Fuente. Propia

3.3. PARÁMETROS FÍSICOS DETALLADOS DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE.

3.3.1. Sistemas de Potencia.

El sistema de potencia es una parte esencial para la máquina, pues es el encargado de suministrar la energía necesaria hacia las diferentes unidades que la componen; para que dichas unidades puedan cumplir con su labor. El sistema de potencia se compone por una fuente de potencia (motor) y los dispositivos de transmisión de potencia, los cuales pueden ser ejes, poleas, bandas, engranajes, chumaceras entre otros. Debido a que los motores proveen potencias y velocidades fijadas para su operación, y las unidades con sus mecanismos requieren de diferentes velocidades y potencias, los dispositivos de transmisión acoplan estas velocidades y potencias con las entregadas por el motor.

Para la escogencia de dichos elementos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones y requerimientos del proyecto “Consolidación de la Cadena Productiva de la quinua, mediante el fortalecimiento de la cadena productiva”, los cuales se indican en el ítem 2.2 de este trabajo de grado. El requerimiento de portabilidad del proyecto, el cual se encuentra especificado en el ítem 2.2.1 del presente trabajo de grado; indica que la máquina trilladora debe ser capaz de trabajar en las mismas parcelas o zonas donde se realiza el cultivo, por lo que la máquina trilladora no tendrá acceso a una fuente de corriente eléctrica de manera constante, lo que descarta el uso de un motor eléctrico para suministrar la potencia necesaria. El requerimiento de cultivo del proyecto el cual se indica en el ítem 2.2.6 del presente trabajo de grado, indica el uso de un motor cuya fuente energía sea combustible; preferiblemente a gasolina para evitar las altas emanaciones de los de DIESEL. Además teniendo en cuenta lo propuesto en el ítem 2.2.7 del diagrama P&ID, se requiere que el motor cuente con un encendido de arranque eléctrico. Ya definido el tipo de motor que se debe utilizar, se requiere conocer la potencia y velocidad que debe ser capaz de suministrar para poner en funcionamiento las unidades que componen la máquina trilladora de quinua, cuyos valores fueron previamente calculados.

Para la transmisión se propone implementar un sistema de correas, poleas y una caja reductora, debido a las ventajas que este sistema ofrece con respecto a otros sistemas, tales como: La absorción de manera óptima los efectos vibratorios y pulsatorios generados por el funcionamiento irregular ya sea de la máquina matriz o la máquina receptora. No requiere lubricación, por lo tanto no hay riesgo de que este tipo de líquidos contaminen el producto; además genera que el coste de mantenimiento sea mínimo. Permite la transmisión desde potencias bajas hasta potencias de gran consideración; es un sistema de fácil instalación y uno de los más utilizados en la maquinaria agrícola [8]. Se propone una caja reductora debido a que se requiere relaciones de velocidad demasiado altas.

Selección del motor de combustión interna: Las unidades que requieren suministro de potencia y el consumo estimado por cada uno de ellas es: la unidad de trilla consume en total 1.93HP, representada por el consumo de potencia del tronco trillador; debido a que la unidad de separación se ha integrado en la unidad de clasificación, se considera potencia de la unidad de clasificación; la unidad de clasificación demanda la potencia constituida por la del tronco clasificador (0.47HP) más la del ventilado (0.78HP). Además se debe tener en cuenta que el sistema de transmisión por correas o bandas, genera pérdidas de potencia, las cuales, según [8] se estiman de 3 a 5 por ciento de la potencia transmitida. También se propone, sobredimensionar la potencia total suministrada por el motor, con el fin de evitar sobrecarga en este. Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, el valor final de la potencia se halla con la fórmula.

$$P_m = (P_u + P_p)S \quad (25)$$

Donde:

P_m : es la potencia mecánica que debe suministrar el motor [HP] P_u : es la potencia que demandan las unidades [HP]

P_p : es la potencia en pérdidas [HP]

S : es el factor de sobredimensionamiento $S > 1$

Teniendo en cuenta que el factor de sobredimensionamiento se toma en 1.25 y que las pérdidas por transmisión estiman en 5% de la potencia transmitida a las unidades; se evalúa la fórmula 25, dando como resultado que la potencia que debe suministrar el motor es:

$$P_m = 4.17HP$$

Según información recolectada de catálogos y manuales como: [22], [23] y [24], la elección de una referencia específica de motor, se basa en la evaluación de características como: potencia, velocidad angular, número de pistones, sistemas de arranque, cilindraje, sistema de encendido, entre otros. Cada parámetro ofrece distintas prestaciones según los requerimientos del usuario. Las características generales necesarias que suplen las necesidades de la mejora tecnológica, se muestran en la tabla 5. Según lo visto en los catálogos y manuales, independientemente de la potencia, sistema de arranque, cilindraje, y otras, los motores ofrecen una velocidad generalizada de 3600rpm, por lo cual se selecciona esta velocidad para el motor. Además espacio disponible para el motor se establece según su ubicación en la máquina, de manera que no afecte el espacio de los sistemas de proceso.

Tabla 5. Requerimientos generales del motor

Características	Necesidad
Potencia	$\geq 4.17HP$
Velocidad	3600rpm
Sistema de arranque	Eléctrico
Dimensiones aproximadas	Alto $\leq 500mm$ Ancho $\leq 500mm$ Largo $\leq 500mm$
Disponibilidad	Geografía Nacional
Fuente. Propia	

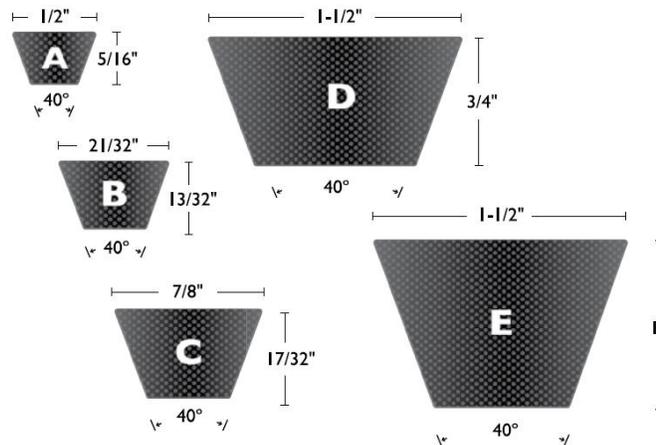
Realizando la evaluación de diversos productos y catálogos, el motor que mejor se acomoda a las necesidades de la mejora, es la referencia de motores GC160, la cual presenta las características generales y adicionales mostradas en la tabla 6.

Tabla 6. Características motor Honda GC160

Características generales	
Potencia	4.6HP
Velocidad	3600rpm
Sistema de arranque	Manual/Eléctrico
Dimensiones	Alto≤331mm Ancho≤369mm Largo≤337mm
Disponibilidad	Distribución Nacional
Características adicionales	
Tipo de motor	4 tiempos, refrigerado por aire
Cilindraje	160cm ³
Peso	11.5Kg
Torque neto	9.4Nm
Capacidad del tanque	1.8L
Fuente. Manual. Motor Honda GC160	

Selección de las correas y poleas: Para la elección de las correas del sistema de transmisión de la mejora se sigue las siguientes consideraciones. Las correas se clasifican según su sección, la disposición del montaje y sus materiales de fabricación [8]. Uno de los tipos de correa más utilizada en aplicaciones agrícolas de media capacidad son las correas en "V" clásicas, las cuales presentan las variaciones dimensionales tipo A, B, C, D, E en la figura [25].

Figura 58. Tamaño de sesión de correas en "V" clásicas



Fuente. Manual. Poleas en "V" Intermec.

La capacidad de trasmisión de potencia de cada perfil se muestra en la tabla 7. La longitud de cada polea depende del tipo de montaje que requiere la transmisión en la mejora y el diámetro externo de

las poleas, ya que se requiere hacer acoples de distintas velocidades para una salida en el eje del motor de 3600rpm.

Tabla 7. Potencia por seccion de bandas en "V"

Sección	Potencias par una o más correas
A	1-10HP
B	1-25HP
C	15-100HP
D	5-250HP
E	100HP o mas
Fuente. Libro. Elementos de diseño de maquinaria agrícola	

La siguiente tabla muestra las velocidades angulares correspondientes a cada mecanismo, su potencia de operación y la relación de velocidad que necesitan.

Tabla 8. Relaciones de velocidades de los mecanismos de la mejora.

Mecanismo	Velocidad angular (rpm)	Potencia (HP)	Relación de velocidad
Motor	3600	4.17	
Ventilador	1500	0.87	Reducción 1:2.4
Tronco trillador	150	1.93	Reducción 1:10
Tronco clasificador	15	0.47	Reducción 1:100
Fuente. Propia.			

Debido a que las relaciones requeridas por los mecanismos, demandan de partes inviábiles en el sistema de transmisión, ya que se debería contar con poleas de diámetros externos menores 7.62cm, sugeridos en [8]; se propone implementar un sistema de caja reductora de velocidad, con una capacidad de reducción de 1:20. Para escoger la caja reductora se hace referencia al catálogo[26], de donde la caja CRG-09, ver figura 59, con un sistema de piñones planos y ejes en paralelo, responde a las necesidades antes expuestas. Se propone que la polea conductora que va acoplada al motor de combustión, posea un diámetro exterior de 10cm, las relaciones y poleas de cada mecanismo se observan en la tabla 9; concluyendo así la configuración del sistema de transmisión propuesto para la mejora. Se debe tener en cuenta que la potencia de giro de cada mecanismo, está dada por el producto de la velocidad angular con el par, esto indica que las relaciones propuestas afectan la velocidad de giro y el par, más no la potencia.

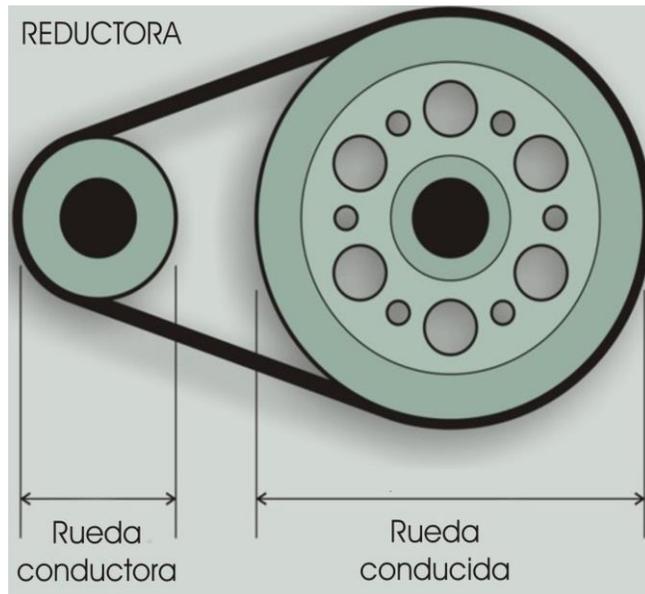
Figura 59. Caja reductora CRG-09



Fuente. Catálogo de reductores y moto reductores Cotransa

Los diámetros de las poleas se calculan, según [8], con la relación 1 a 26, teniendo en cuenta el diagrama de la figura 60.

Figura 60. Sistema reductor de poleas



Fuente. Página web. <https://tecnoapostol.files.wordpress.com/2011/12/reductora.jpg>

$$k = \frac{n}{N} = \frac{D}{d} \quad (26)$$

Donde:

- k*: es la relación de transmisión
- n*: es la velocidad de la conductora
- N*: es la velocidad de la conducida
- d*: es el diámetro de la conductora
- D*: es el diámetro de la conducida

Tabla 9. Diámetros de las poleas de los mecanismos y sus relaciones para la mejora

Mecanismo	Velocidad angular (rpm)	Diámetro poleas (cm)		Relación	Sentido de giro
		d	D		
Motor salida	3600	10			Anti horario
Ventilador entrada	1500		24	1:2.4	Anti horario
Caja reductora entrada	2000		18	1:1.8	Anti horario
Caja reductora salida	100	15,9			Anti horario
Tronco trillador entrada	150		10	1.5:1	Anti horario
Tronco clasificador entrada	15		60	1:1.5	Horario
Fuente. Propia					

Las poleas se diseñan de acuerdo al perfil de las correas, las mismas dimensiones que se aplican para cada perfil de correas, se aplican para las poleas. Por consiguiente y de acuerdo a los criterios anteriores de diseño de las correas; se propone que la mejora cuente con correas y poleas con un perfil A; las poleas serán construidas en aluminio, de acuerdo a las dimensiones del perfil elegido. Para poder invertir el giro, en el caso del tronco clasificador, se propone usar una banda de transmisión cruzada de 4mm de ancho; por consiguiente la polea para este acople será una de perfil liso o plano.

Los sistemas de potencia también cuentan con ejes, rodamientos y soportes; los cuales permiten que las poleas giren firmemente. Los ejes de transmisión de potencia, son elementos cilíndricos alargados, construidos en hierro o acero; para este sistema se propone que los ejes sean de acero, con las medidas estándar, según el catalogo [27].

Los rodamientos están compuestos por dos anillos, los elementos rodantes, y una jaula; se clasifican en rodamientos de bolas y de rodillos y se seleccionan según su aplicación, ver figura 61. Existen estándares en donde se reglamentan los parámetros de construcción de estos elementos; por ellos se debe tener en cuenta las dimensiones estándares, las cuales rigen el diseño de estos elementos. Muchos fabricantes proporcionan catálogos en donde especifican las normas de diseño de sus rodamientos; por ejemplo, el catalogo [28], basa sus diseños en normas desarrolladas por la organización ISO (Organización Internacional de Normalización). Además, de proveer los parámetros de diseño, cada fabricante proporciona el método de elección de sus rodamientos. Se propone que

las medidas de los rodamientos se elijan según las especificaciones ISO, de manera que los rodamientos operen adecuadamente.

Figura 61. Rodamientos de bolas



Fuente. Página web. www.nsk.com

Al igual que con los rodamientos, los soportes rigen su diseño basado en normas. Por lo general, cada fabricante proporciona soportes para cada referencia de rodamientos. Existen diversos tipos de rodamientos como: los tipo silla y tipo brida, diseñados para ofrecer distintas posibilidades de fijación, ver figura 62.

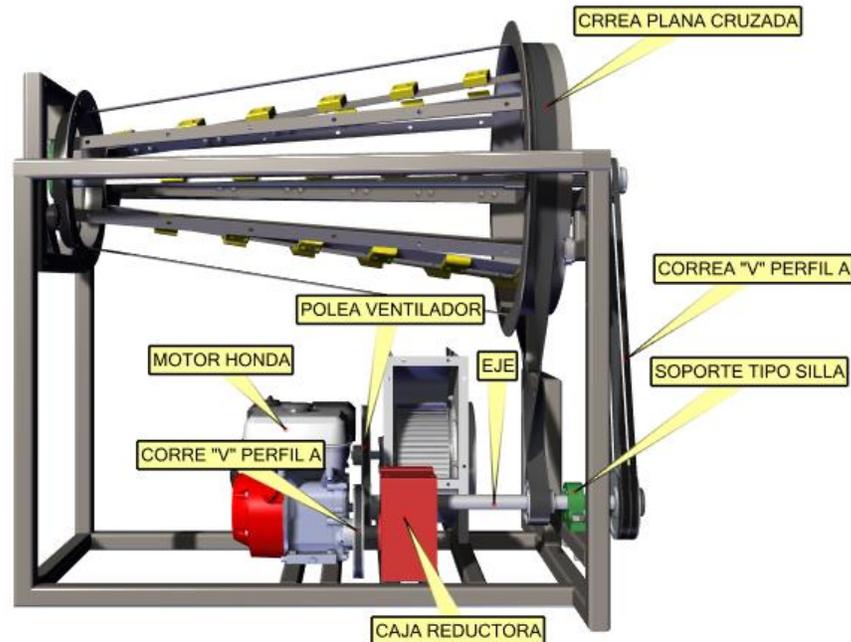
Figura 62. Soportes para rodamientos



Fuente. www.nsk.com

Finalmente se levanta el diseño CAD de los sistemas de potencia, ver figura 63, de acuerdo en lo establecido para este sistema.

Figura 63. Modelo CAD del sistema de potencia



Fuente. Propia.

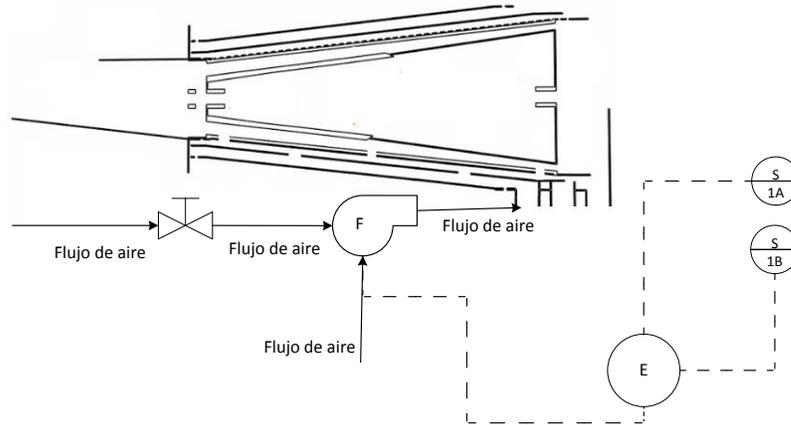
3.3.2. Sistemas de Control.

El sistema de control es el encargado, de proporcionar el control sobre las unidades que componen la máquina, estos controles pueden ser manuales o automáticos[8]. Debido que la implementación de la instrumentación, mencionada en el diagrama P&ID consignado en el ítem 2.7; aumenta la complejidad del funcionamiento de la máquina, los costos de fabricación y mantenimiento; además teniendo en cuenta que el entorno de trabajo de la máquina es en los lugares de cultivo, por lo que se dificulta el acceso de refracciones o personal capacitado necesario para el óptimo funcionamiento de los instrumentos. Por lo tanto se propone con el fin de controlar las variables de proceso y suplir las necesidades de automatización que se identifican en el ítem 2.4 un control en lazo abierto ilustrado en el diagrama P&ID de la figura 64; la cual sigue cumpliendo los requerimientos funcionales solicitados en el proyecto de regalías consignados en el ítem 2.2.

En la propuesta se tiene los elementos esenciales para el funcionamiento de la máquina, como el motor de combustión y el ventilador, además de los botones necesarios para encender y apagar el motor para iniciar o detener el funcionamiento de la máquina. Debido a que la válvula (compuerta de regulación de aire) no posee mayor complejidad en su funcionamiento y su costo no es elevado se presenta en la propuesta de lazo abierto; ya que no requiere de ningún instrumento adicional para cumplir su función como reguladora de flujo de aire hacia la máquina, esta puede ser manipulada por

el operario al observar la cantidad de polvillo o impurezas que contiene el producto final o si por el contrario, el flujo de aire es tal que provoca la expulsión de granos.

Figura 64. Diagrama P&ID del proceso de trilla de quinua



TAG	INSTRUMENTO	REVISIONES				UBICACIÓN	PROYECTO	PAGINA
		REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO			
S-1A	Botón de encendido					 Universidad del Cauca	Mejora tecnológica de máquina desgranadora de quinua	1 DE 1
S-1B	Botón de apagado						ESCALA	1: 1
FV	Válvula de flujo						TÍTULO	DIBUJADO POR CARLOS SANTIAGO VIDAL MARTINEZ DIDIER EDINSON NAÑEZ MACIAS
E	Motor de combustible						FECHA	14/09/2015
F	Ventilador							

Fuente: propia

El control sobre la *unidad de alimentación*, se realiza a través del operario, debido que este se encarga de definir la cantidad de panojas y la manera que van a ser ingresadas.

En la propuesta de control a lazo abierto, la *unidad de trilla y separación* no se presenta ninguna instrumentación, su control se limita a la intervención del operario, en caso que este prevea un posible atascamiento por simple inspección; el operario por lo tanto disminuirá o cesará el ingreso de panojas el tiempo necesario hasta que considere que no hay riesgo de atascamiento.

La propuesta de control a lazo abierto la *unidad de clasificación*, consiste en la implementación de una válvula (compuerta de regulación de aire), como reguladora del flujo de aire encargado de limpiar las impurezas del grano. La válvula será controlada manualmente por el operario durante la puesta en marcha de la máquina con el fin de calibrar el flujo de aire necesario para expulsar las impurezas sin desalojar los granos; el proceso de calibración se puede llevar a cabo durante el proceso de trillado si el operario observa que los granos expulsados de los canales de salida contienen impurezas o por el contrario en la salida de impurezas se observa granos, se procede a calibrar nuevamente la válvula hasta obtener el resultado deseado.

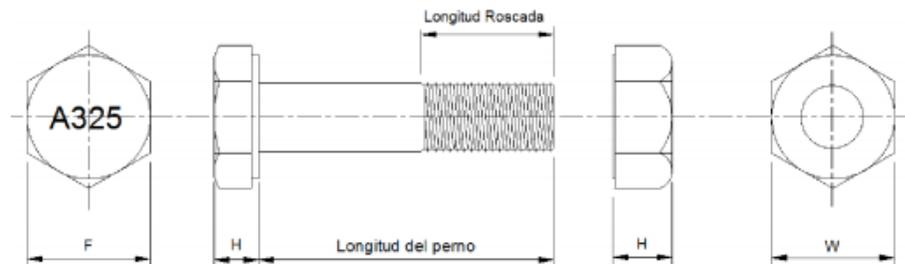
La propuesta de control del *sistema de potencia*, consiste en la implementación del encendido y apagado del motor, por medio de botones, permitiendo al operario un mejor manejo sobre este equipo, en caso de alguna eventualidad que así lo requiera. Por lo tanto la mejora debe contar una botonera, ubicada de tal manera que permita el control de la marcha y paro de la mejora, al evitándole al operario el desplazamiento de su lugar habitual de trabajo de la mejora.

3.3.3. Sistemas de Unión.

El sistema de unión es el encargado, de conectar los elementos que componen la máquina entre sí y con el sistema de estructura[8]. Teniendo en cuenta los requerimientos de fácil manejo y mantenimiento consignado en el ítem 2.2.3; se sugiere un sistema de unión con conexiones desmontables; se propone el uso de tornillos o pernos como medio de unión de los elementos, debido a que su implementación permite, el montaje y desmontaje de estos sin la necesidad de destruirlos; además ofrecen versatilidad, variabilidad, gran disponibilidad, estandarización, bajo costo y fácil manejo para montar o desmontar [29].

Las consideraciones a tener en cuenta al momento de escoger tornillos o pernos, son sus dimensiones y forma de cabeza; teniendo en cuenta que la mayoría de elementos que se deben unir entre sí son metálicos, se propone el uso de perno o tornillos de cabeza hexagonales. Las normas ISO estandarizan las dimensiones de los tornillos y pernos. En la figura 65 se observa las dimensiones que se deben tener en cuenta al momento de la selección de un perno; tales como el ancho a través de cara plana (F), altura (H), longitud roscada; las dimensiones de relevantes de la respectiva tuerca del perno, tales como el ancho a través de la cara (w) y su altura.

Figura 65. Dimensiones de un perno



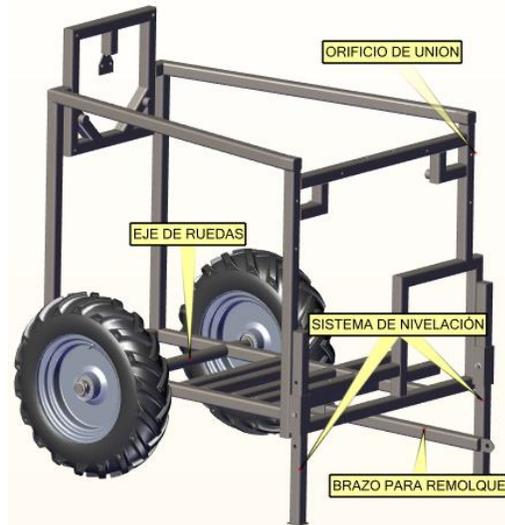
Fuente: Artículo. Pernos estructurales de alta resistencia.

3.3.4. Estructura.

La estructura debe soportar los sistemas de proceso de la máquina. Por lo general están construidas con diversos perfiles estructurales de materiales resistentes [8]. Comercialmente, existen perfiles generalizados como: tipo C, cuadrado, ángulo, "te", viga, entre otros. Se propone que la estructura se construya con perfil cuadrado de 4x4cm, en acero laminado en caliente, debido a que no tiene contacto con el grano. La forma y medidas de la estructura se configuran permitiendo que los sistemas de proceso, el control, unión y potencia, sean soportados debidamente. También, para favorecer la portabilidad de la mejora, se le adiciona un sistema de remolque, el cual con la ayuda de ruedas, permitan disminuir las dificultades, al momento del transporte de la máquina. El cultivo de quinua,

requiere que la maquina sea ubicada en terrenos irregulares y a veces inestables; debido a esto se propone implementar un sistema de nivelación, para que las dificultades del terreno no afecten la operación de la máquina. La estructura, los sistemas de remolque y nivelación se muestran en la figura 66.

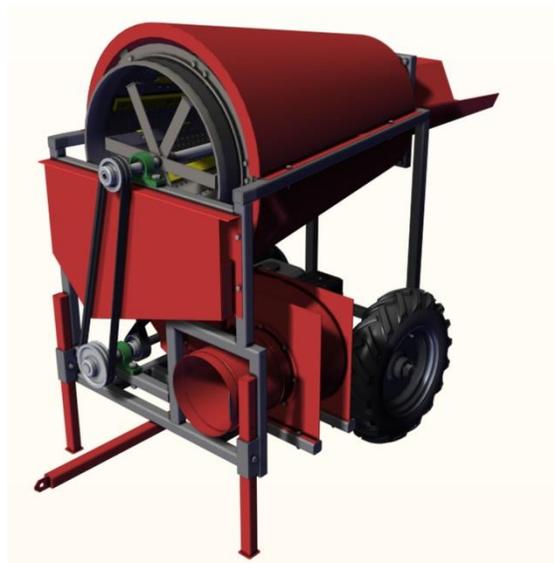
Figura 66. Estructura de la mejora



Fuente. Propia

El diseño final de la máquina con las respectivas mejoras tecnológica, ya mencionadas, se muestra en la figura 67.

Figura 67. Modelo CAD de la mejora



Fuente. Propia

3.4. MODELADO EN ISA 88.

Con el fin de exponer información de forma organizada y detallada del proceso de trilla de quinua, realizado por la máquina desgranadora de quinua, se propone el estándar técnico ISA S88. Debido a que otorga las pautas para organizar y clasificar los recursos y procedimientos de un proceso tipo Bath. Un proceso tipo Bath se define como un "proceso que transforma un conjunto finito de material sujeto a entradas finitas de material en un conjunto ordenado de etapas con una duración determinada usando uno o más equipos"[30]. Por lo tanto el procedimiento de quinua es un proceso tipo Bath al cual se le puede aplicar la terminología y modelos que expone el estándar. Se desarrollaron algunos modelos que expone el estándar ISA 88, lo cuales son un modelo de proceso, modelo físico y modelo de control procedimental.

El modelo de proceso del procesamiento de quinua, tabla 10, expone de forma organizada y detallada las diferentes etapas que conforman este proceso. Este modelo se realizó tomando en cuenta los métodos de procesamiento expuesto en el ítem 1.6 de este documento, escogiendo las etapas que se realizan en los pueblos del Cauca, suponiendo la adquisición de la máquina trilladora de quinua mejorada dentro de la cadena productiva.

Tabla 10. Tabla. Modelo de proceso del procedimiento de quinua

Proceso	Etapas	Operación	Acción
Procesamiento de quinua	Siega	Corte de planta	Cortar la panojas
			Extraer la panojas
	Emparvado	Secar las plantas	Agrupar las panojas
			Colgar las panojas
			Recoger las panojas
			Transportar las panojas
	Trillado de quinua	Puesta a punto de la máquina	Posicionar máquina
			Estabilizar máquina
			Encender motor
		Alimentación de máquina	Recoger panojas
			Ingresar panojas
		Trilla del grano	friccionar el grano
			Desplazar las panojas
		Separación del grano	Tamizar el grano
	Recoger bagazo		
	Clasificación	Ventilar el grano	
	Almacenamiento	Guardar granos	
Secado de quinua			
Almacenaje de quinua			

Fuente: propia

El modelo físico nos permite agrupar los activos físicos y observar la clasificación de los equipos y herramientas que se utilizan en la cadena productiva del procesamiento de quinua. Además de exponer la organización de la modulación que dispondrá la máquina desgranadora de quinua, con respecto a sus partes. En la tabla 11 se describe de forma detalla el modelo físico del proceso de trillado de quinua.

Tabla 11. Tabla. Modelo físico del sistema de procesamiento de quinua

Célula de proceso	Unidad	Módulo de equipo	Módulo de control		
Sistema de procesamiento de quinua	Unidad de corte	Herramientas de corte	Hoz		
			Machete		
			Navaja		
	Unidad de desgranado	Módulo de alimentación	Módulo de trilla	Bandeja de entrada	
				Tronco de trillado	
				Barras planas de fricción	
		Módulo de separación	Módulo de ventilación	Módulo de control	Tronco de clasificación
					Tronco de separación
		Módulo de soporte	Módulo de ventilación	Módulo de control	Válvula mariposa
					Ventilador
					Canales
					Botón de encendido
		Unidad de secado	Invernadero	Módulo de soporte	Botón de apagado
					Luz piloto de alarma
					Motor
					Cremalleras
	Cadenas				
	Unidad de almacenado	Silo	Módulo de soporte	Engranajes	
				soportes de nivelación	
				Rastrillo	
			Cepillo		
			Bultos		
			Costales		
			Estivas		
Fuente: propia					

A partir de los modelos de proceso y físico, se realiza el modelo de control procedimental el cual muestra las acciones que deben realizarse para procesar la quinua. El modelo de control

procedimental permite mostrar, organizar y clasificar las labores que se deben ejecutar. En la tabla 12 se muestra detalladamente el modelo de control procedimental del procesamiento de quinua.

Tabla 12. Tabla. Modelo de control procedimental de procesamiento de quinua

Procedimiento	Procedimiento de unidad	Operación	Fase
Procesamiento de quinua	Sesgar la planta	Cortar la planta a la altura de 10cm – 15 cm del suelo	
	Emparvar	Colgar panojas	Agrupar las panojas
			Colocar las panojas en ganchos o lazos
	Desgranar	Preparar máquina	Posicionar máquina
			Colocar soportes de nivelación
			Encender máquina pulsando el botón de encendido
		Ingresar panojas a la trilladora	Amasar las panojas
			Colocar las panojas en la bandeja de entrada
			Empujar levemente las panojas al interior de la máquina
		Trillar panojas	Trasladar las panojas a través del tronco de trillado
			Moler las panojas entre las barras planas de fricción del módulo de trilla
		Separar material	Trasladar panojas previamente trilladas
			Tamizar parcialmente los granos por medio del tronco de separación
	Ventilar los granos que pasan a través de los canales.		
		Trasladar el bagazo a través de los canales	

		Clasificar granos	Tamizar menudamente por medio del tronco de clasificación
			Desplazar los granos a través de los canales
	Secar	Calentar granos	Colocar el grano sobre el piso del invernadero
			Distribuir grano homogéneamente con ayuda de rastrillos y cepillos
			Esperar que el calor retenido en el invernadero seque el grano
	Almacenar	Depositar granos	Inspeccionar muestras para verificar nivel de humedad
			Recoger granos secos
			Empacar granos en costales

Fuente: propia

La implementación del estándar ISA 88, permite realizar una superposición del procesamiento de quinua con la implementación de la mejora, con las etapas que se utilizan habitualmente en el procesamiento de quinua, el cual esta explicado en el índice 1.5 de esta monografía. Realizando la transposición se muestra que los procesos que generalmente se realizan después de la trilla los cuales corresponden al harnado y venteado, se realizan en el procedimiento de unidad de desgranado, debido a que la máquina desgranadora mejorada contiene los módulos que le permiten cumplir con estas fases a cabalidad.

3.5. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS.

Este ítem se realiza con el fin de verificar el cumplimiento de los requerimientos que presenta el proyecto en el caso de la implementación de la mejora tecnológica de la trilladora N 12, por lo cual se le realiza el mismo análisis, del ítem 2.2.6 del presente trabajo de grado

Tabla 13. Cumplimiento de los requerimiento de la máquina con las mejoras tecnológicas

Requerimientos	Cumplimiento
Portabilidad	
Peso aproximado entre 100 y 400 kg con motor incluido.	CUMPLE
Sistemas que permitan el fácil traslado de la máquina	CUMPLE
Fácil manejo y mantenimiento	
Sistema de alimentación eficiente	CUMPLE

MEJORA TECNOLÓGICA DE UNA MAQUINA DESGRANADORA DE SEMILLA DE QUINUA EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALÍAS
 "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA"

Mecanismos de seguridad	CUMPLE PARCIALMENTE
Mecanismos de recolección de granos	CUMPLE
Mecanismos de recolección de subproductos	CUMPLE
Mecanismos de nivelación	CUMPLE
Requerimientos de la zona	
Estructura y material resistentes a las condiciones ambientales agroecológicas.	CUMPLE
Acero inoxidable en las partes de contacto con el grano.	CUMPLE
Requerimientos del cultivo	
Sistema de ventilación.	CUMPLE
Juego de tamices.	CUMPLE
Sistema de trillado eficiente.	CUMPLE
Resistencia de la máquina para trabajo en jornadas largas y continuas.	CUMPLE
Motor de combustible.	CUMPLE
Sistema de alimentación y desfogue del motor apartados de salida y entrada de grano.	CUMPLE
Estructura estable.	CUMPLE
Fuente. Propia	

Teniendo en cuenta que el cumplimiento parcial de un ítem se considera como el cumplimiento del 50% de este, por lo tanto el cumplimiento parcial de dos ítems, se supone como el cumplimiento de uno. Se puede concluir que la máquina con las mejoras tecnológicas propuestas cumple con un 97% de los requerimientos, lo que demuestra que se cumplió el objetivo propuesto.

4. CONCLUSIONES.

Se concluyó que según los requerimientos y las necesidades de los usuarios finales de la máquina no es necesaria la implementación de un alto nivel de instrumentación, disminuyendo costos de fabricación y mantenimiento.

A partir de los modelos ISA 88, el estándar ISA S5.1, y la correcta definición de los requerimientos de automatización del proyecto, se permite formalizar la documentación del sistema compuesta de las ingenierías básica, conceptual y detallada; componentes que se convierten en las directrices del proyecto, permitiendo el desarrollo de una solución óptima y funcional.

Se concluyó que las mejoras tecnológicas propuestas para la máquina trilladora perfecta N 12, reducen el gasto energético, disminuye su tamaño y aumenta su portabilidad; manteniendo el mismo rendimiento.

A pesar de que no se logró encontrar algunos datos necesarios para realizar las mejoras tecnológicas, Se logró realizar estimaciones por medio de experiencias y pruebas propias, obteniendo resultados razonables, que se encontraban dentro de las recomendaciones y requerimientos para este tipo de máquinas.

Las mejoras tecnológicas que requería la máquina trilladora perfecta N 12, para el cumplimiento óptimo de los requerimientos del proyecto "FORTALECIMIENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA", término en el diseño de una nueva máquina especializada en la trilla de quinua, utilizando medidas y dimensiones similares de algunos componentes de la máquina trilladora perfecta N 12.

A pesar de que existe, incluso a nivel local, fabricación de máquinas para el proceso de trilla y desgranado de quinua; todavía se sigue modificando mecanismos para otros granos para aplicarlos en la trilla o desgranado de quinua.

Se observa la importancia de conocer las características de materiales y diseños mecánico, para hacer viable una idea innovadora como la que se propone en el trabajo

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] D. BAZILE, Didier. et al. (Editores), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Santiago de Chile y Montpellier, 2014.
- [2] M. Tapia, "Historia, distribución geográfica, actual producción y usos de la quinua." .
- [3] L. H. Juvenal, "Cultivo de la Quinua en Puno-Perú Descripción , Manejo y Producción," 2003.
- [4] W. Rojas and M. Pinto, "La diversidad genética de quinua de Bolivia," p. 16, 2007.
- [5] L. T. E. FERNANDO and B. S. E. JAVIER, "CHIMBORAZO," 2012.
- [6] M. Meyhuay, "QUINUA, Operaciones de Poscosecha," *Organ. Nac. Unidas para la Agric. y la Aliment.*, p. 35, 1997.
- [7] F. Camacho Gaitan, "TRILLADORA DE GRANOS: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo," Universidad de los Andes.
- [8] F. Álvarez Mejía, "Elementos de Diseño de Maquinaria Agrícola," Medellín, 2007.
- [9] A. Iverson and I. Verhappen, *Instrumentation Symbols and Identification ANSI/ISA-5.1-2009*, no. September. 2009, p. 129.
- [10] R. De Colombia, *Decreto 3075 de 1997*, no. Ley 09 de 1979. 1997, p. 77.
- [11] V. Díaz López and B. López Boada, "Tornillo sin fin," Madrid, 2015.
- [12] A. Mujica, "Capitulo II Agronomía del Cultivo de la Quinua," in *Libro 3*, FAO, 2015, p. 27.
- [13] Universidad de Oviedo, "Modelado de un péndulo," no. 1, pp. 2–5, 2006.
- [14] R. a. Serway and L. D. Kirkpatrick, *Física Para Ciencias e Ingeniería*, vol. 26, no. 4. 2008.
- [15] N. S. Cervilla, "Propiedades Físicas de Semillas y Análisis proximal de harinas de Chenopodium Quinoa Willd Cosechadas en Distintos Años y Provenientes de la Provincia de Salta," p. 7, 2012.
- [16] Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), "Limpieza de granos."
- [17] J. M. Cimbala and Y. A. Cengel, *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*, vol. Primera Ed. Mexico, 2006.
- [18] H. A. V. BAZALAR, "Diseño y fabricación de Una máquina limpiadora de trigo," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2004.
- [19] Universidad de Buenos Aires, "Ventiladores," pp. 1–27.
- [20] SODECA, *Catálogo de Ventiladores Centrifugos SODECA*. pp. 102–110.
- [21] S&P Colombia, *Ventiladores Centrifugos*. 2011.
- [22] Honda Engines, *Motor Honda GC160*. 2009.

- [23] Honda Engines, *Motor Honda GX120, 160, 200*. .
- [24] Kohler Company, *Catálogo General de Motores Kohler*. 2013.
- [25] Intermec S.A., "Catalogo de Poleas en 'V,'" p. 80.
- [26] Cotransa, *Catálogo de Reductores y Motoreductores Cotransa*. .
- [27] INA Rodamientos, *Catálogo de ejes INA*. .
- [28] NSK, "Rodamientos NSK," 2014.
- [29] Universidad tecnológica de Pereira, "Capítulo 8 diseño de tornillos," in *Concepto básicos sobre diseño de máquinas*, pp. 1–63.
- [30] S. A. National, "Batch Control Part 1 : Models and Terminology," no. October, p. 98, 1995.