



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE QUINUA,
CEBADA, AVENA Y TRIGO, MEDIANTE EL REDISEÑO DE LA
MÁQUINA TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100 PARA
LOS PRODUCTORES VINCULADOS A LAS EXPORTADORAS DE
QUINUA NATIVA ORGÁNICA DE LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO”**

GUNSHA LLAMUCA DIEGO ARMANDO
MENDEZ SIGUENCIA ROBINSON ESTALIN

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA–ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-01

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

GUNSHA LLAMUCA DIEGO ARMANDO

Titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE QUINUA, CEBADA,
AVENA Y TRIGO, MEDIANTE EL REDISEÑO DE LA MÁQUINA
TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100 PARA LOS PRODUCTORES
VINCULADOS A LAS EXPORTADORAS DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA
DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Alcides Napoleón García Flores
**MIEMBRO DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-01

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

MENDEZ SIGUENCIA ROBINSON ESTALIN

Titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE QUINUA, CEBADA,
AVENA Y TRIGO, MEDIANTE EL REDISEÑO DE LA MÁQUINA
TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100 PARA LOS PRODUCTORES
VINCULADOS A LAS EXPORTADORAS DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA
DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECÁNO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Alcides Napoleón García Flores
**MIEMBRO DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

ESPOCH

Facultad de Mecánica




EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUNSHA LLAMUCA DIEGO ARMANDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE QUINUA, CEBADA, AVENA Y TRIGO, MEDIANTE EL REDISEÑO DE LA MÁQUINA TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100 PARA LOS PRODUCTORES VINCULADOS A LAS EXPORTADORAS DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2019-06-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jácome Valdez Marcelo Antonio PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas DIRECTOR	✓		
Ing. Alcides Napoleón García Flores MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Ing. Marcelo Antonio Jácome Valdez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica




EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MENDEZ SIGUENCIA ROBINSON ESTALIN

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE QUINUA, CEBADA, AVENA Y TRIGO, MEDIANTE EL REDISEÑO DE LA MÁQUINA TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100 PARA LOS PRODUCTORES VINCULADOS A LAS EXPORTADORAS DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2019-06-26

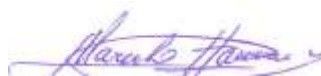
RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jácome Valdez Marcelo Antonio PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas DIRECTOR	✓		
Ing. Alcides Napoleón García Flores MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Ing. Marcelo Antonio Jácome Valdez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, GUNSHA LLAMUCA DIEGO ARMANDO y MENDEZ SIGUENCIA ROBINSON ESTALIN, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del proyecto de titulación denominado **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE QUINUA, CEBADA, AVENA Y TRIGO, MEDIANTE EL REDISEÑO DE LA MÁQUINA TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100 PARA LOS PRODUCTORES VINCULADOS A LAS EXPORTADORAS DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y nos sometemos a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Gunsha Llamuca Diego Armando

CI:160088731-7


Mendez Siguencia Robinson Estalin

CI:060494980-0

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, GUNSHA LLAMUCA DIEGO ARMANDO y MENDEZ SIGUENCIA ROBINSON ESTALIN, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.



Gunsha Llamuca Diego Armando
CI: 1600887317-7



Mendez Siguencia Robinson Estalin
CI:060494980-0

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios, mi Madre que estuvo siempre conmigo y alentarme a lo largo de esta travesía académica, a mi Padre que supo aconsejarme y darme el impulso para continuar, y demás familiares por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo se alcanza, lograr esta meta añorada es un ejemplo de ello.

Gunsha Llamuca Diego Armando

El presente trabajo de titulación lo dedico primeramente a Dios por permitirme la vida, a mi Madre Rosa Siguencia Sañay y a mi Padre Segundo Mendez Yunda por apoyarme moralmente y económicamente a lo largo de este camino para alcanzar una meta más en mi vida, y a toda mi familia que estuvo ahí en los momentos buenos y malos aconsejándome y guiándome en esta trayectoria y en especialmente a mi finadito tío Leonidas Mendez Yunda por enseñarme a ser una persona humilde, sencilla e impulsarme a cumplir este sueño en mi vida.

Mendez Siguencia Robinson Estalin

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Carrera de Ingeniería Industrial y a sus docentes, por permitirme formarme y obtener mi título profesional y ser una persona útil para la sociedad.

A la Ing. Eugenia Naranjo, director y al Ing. Alcides García miembro de trabajo de titulación; por su contribución a la ejecución y culminación del presente trabajo.

Y en especial a mis padres, y hermanos por ser los impulsores para culminar esta meta de manera exitosa.

Gunsha Llamuca Diego Armando

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Carrera de Ingeniería Industrial y a todos sus docentes, por compartir todos sus conocimientos y experiencias para formarme como un hombre de bien y obtener mi título profesional para ser una persona útil ante la sociedad.

A la Ing. Eugenia Naranjo, director y al Ing. Alcides García miembro de trabajo de titulación; por su contribución para la ejecución y culminación del presente trabajo.

Y en especial a mis padres, hermanos, abuelitos, tíos y primos por ser un ejemplo a seguir y ser los guías e impulsores para culminar esta meta de manera exitosa.

Mendez Siguenia Robinson Estalin

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

Pág.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema	2
1.3	Justificación.....	3
1.3.1	<i>Justificación Teórica</i>	3
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3	<i>Justificación práctica</i>	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	<i>Objetivo General.</i>	4
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1	Cereales	5
2.1.1	<i>Quinoa</i>	5
2.1.2	<i>Cebada</i>	5
2.1.3	<i>Avena</i>	6
2.1.4	<i>Trigo</i>	6
2.2	Proceso de trillado	7
2.3	Trilladora	7
2.4	Cilindro trillador	9
2.5	Cóncavo.....	9

2.6	Zaranda.....	10
2.7	Ventilador.....	11
2.8	Soporte de la máquina.....	11
2.9	Sistema de transmisión.....	12
2.10	Cálculos de diseño.....	12
2.10.1	<i>Capacidad de la máquina.....</i>	13
2.10.2	<i>Velocidad de ingreso.....</i>	13
2.10.3	<i>Cálculos necesarios para hallar el momento flector.....</i>	15
2.10.4	<i>Factor de seguridad.....</i>	18
2.11	Optimización.....	21
2.12	Productividad.....	21

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1	Máquina trilladora multigrano MADE T2100.....	22
3.1.1	<i>Diagrama de procesos de trillado de quinua.....</i>	22
3.1.2	<i>Evaluación Técnica de la situación de la máquina trilladora multigrano T2100 (ver Anexo G).....</i>	26
3.1.3	<i>Registro de equipo.....</i>	28
3.1.4	<i>Componentes de la máquina trilladora MADE T2100.....</i>	29
3.1.5	<i>Ficha de estado técnico.....</i>	30
3.2	Pruebas del proceso de trillado.....	35

CAPÍTULO IV

4. REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA TRILLADORA

4.1	Sistema de transmisión.....	38
4.1.1	<i>Transmisión de movimiento desde el motor al rodillo trillador.....</i>	39
4.1.2	<i>Transmisión de movimiento del rodillo trillador a la zaranda.....</i>	53
4.1.3	<i>Transmisión de movimiento del rodillo trillador al ventilador.....</i>	65
4.2	Diseño del rodillo trillador.....	76
4.2.1	<i>Capacidad de la máquina trilladora T2100.....</i>	76
4.2.2	<i>Velocidad de ingreso.....</i>	77

4.2.3	<i>Análisis de cargas en el eje del rodillo trillador</i>	78
4.2.4	<i>Cargas que actúan sobre el eje</i>	79
4.2.5	<i>Factor de seguridad estático</i>	86
4.2.6	<i>Factor de seguridad dinámico</i>	88
4.3	<i>Análisis de cargas en el eje del ventilador</i>	91
4.3.1	<i>Carga distribuida en función del peso:</i>	91
4.3.2	<i>Momento flector</i>	92
4.3.3	<i>Diseño estático</i>	92
4.3.4	<i>Diseño dinámico</i>	94
4.4	<i>Separación entre rodillo trillador y cóncavo</i>	96
4.5	<i>Diseño del sistema de tamizado de granos</i>	98
4.5.1	<i>Estructura de la zaranda</i>	99
4.5.2	<i>Zaranda de granos</i>	99
4.5.3	<i>Tamiz de quinua</i>	99
4.5.4	<i>Tamiz multigrano (cebada, avena y quinua)</i>	100
4.6	<i>Diseño del bastidor</i>	101
4.6.1	<i>Análisis estático</i>	101

CAPÍTULO V

5. MARCO DE RESULTADOS

5.1	<i>Materiales de la máquina trilladora multigrano T2100</i>	105
5.1.1	<i>Material de los ejes</i>	105
5.1.2	<i>Material de las zarandas</i>	105
5.1.3	<i>Material del bastidor</i>	105
5.1.4	<i>Material del ventilador</i>	106
5.1.5	<i>Material del rodillo trillador y cóncavo</i>	106
5.1.6	<i>Material de la carcasa de la máquina</i>	106
5.1.7	<i>Detalle de los elementos reconstruidos</i>	106
5.1.8	<i>Componentes de la máquina trilladora MADE T2100</i>	107
5.2	<i>Selección del sistema de transmisión</i>	109

5.3	Resultado análisis de carga en los ejes	112
5.3.1	<i>Eje del rodillo trillador</i>	112
5.3.2	<i>Eje del ventilador</i>	113
5.4	Resultado de análisis de cargas en el bastidor	113
5.5	Prueba de funcionamiento	115
5.6	Diagrama de proceso de trillado de quinua mediante la máquina trilladora multigrano T2100.....	116
5.7	Análisis de la productividad	117
5.8	Comparación proceso de trillado diseño anterior vs diseño mejorado	118

CAPÍTULO VI

6. ESTUDIO DE COSTOS

6.1	Análisis de costos	123
6.1.1	<i>Costos directos</i>	123
6.1.2	<i>Costos Indirectos</i>	125
6.1.3	<i>Costo total</i>	127

CAPÍTULO VII

7. PLAN DE MANTENIMIENTO Y DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO SEGURO TRILLADORA MADE T2100

7.1	Plan de mantenimiento	128
7.1.1	<i>Registro de equipo</i>	128
7.1.2	<i>Advertencias Generales</i>	129
7.1.3	<i>Advertencias Generales de seguridad</i>	130
7.1.4	<i>Mantenimiento de la máquina</i>	133
7.2	Procedimiento seguro al manejar la máquina trilladora multigrano t2100.....	143
7.2.1	<i>Objetivo</i>	143
7.2.2	<i>Alcance</i>	143
7.2.3	<i>Definiciones y abreviaturas</i>	144
7.2.4	<i>Responsabilidades</i>	145
7.2.5	<i>Procedimiento</i>	145

7.2.6	<i>Identificación de los riesgos en el proceso de mantenimiento de la máquina trilladora.....</i>	148
7.2.7	<i>Identificación de los riesgos en el proceso de trillado.....</i>	149
7.2.8	<i>Equipos de protección personal.....</i>	150
7.2.9	<i>Medidas preventivas.....</i>	151
7.2.10	<i>Registros.....</i>	154
7.2.11	<i>Otros.....</i>	154
	CONCLUSIONES.....	155
	RECOMENDACIONES.....	156
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3: Diagrama de proceso de trillado de 1 quintal de quinua.	22
Tabla 2-3: Resumen del diagrama de proceso de trillado de 1qq de quinua.....	25
Tabla 3-3: Comparación de grano trillado	25
Tabla 4-3: Evaluación Técnica de la situación de la maquina trilladora T2100.....	26
Tabla 5-3: Ficha técnica MADE T2100.....	28
Tabla 6-3: Lista de componentes.	29
Tabla 7-3: Clasificación según estado técnico.	30
Tabla 8-3: Evaluación técnica	31
Tabla 9-3: Pruebas de funcionamiento.....	36
Tabla 1-4: Datos de coeficientes y ángulos para encontrar las tensiones.....	50
Tabla 2-4: Iteración	58
Tabla 3-4: Datos para el cálculo de relación de tensiones	62
Tabla 4-4: Datos para el cálculo de la relación de tensiones.....	73
Tabla 5-4: Pruebas de funcionamiento cóncavo – rodillo trillador	97
Tabla 6-4: Pesos de los componentes de la máquina trilladora	102
Tabla 7-4: Cargas puntuales sobre el bastidor	102
Tabla 1-5: Elementos reconstruidos.....	107
Tabla 2-5: Lista de componentes	108
Tabla 3-5: Sistema de transmisión motor-rodillo trillador.....	109
Tabla 4-5: Sistema de transmisión rodillo trillador-zaranda.....	110
Tabla 5-5: Sistema de transmisión rodillo trillador-ventilador	111
Tabla 6-5: Factores de seguridad en el eje del rodillo trillador.....	112
Tabla 7-5: Factores de seguridad en el eje del ventilador.....	113
Tabla 8-5: Diagrama de procesos de trillado de 1 quintal de quinua.....	116
Tabla 9-5: Resumen del diagrama de proceso de trillado de quinua mejorado.....	117
Tabla 10-5: Resumen del proceso de trillado anterior.	118
Tabla 11-5: Resumen del diagrama de proceso de trillado de quinua mejorado.....	119
Tabla 12-5: Comparación de grano trillado	119
Tabla 13-5: Comparación situación inicial vs situación mejorada de la máquina trilladora T2100.....	120
Tabla 1-6: Costos directos.....	123
Tabla 2-6: Descripción de equipos utilizados	125

Tabla 3-6:	Tiempo de trabajo de las máquinas.....	126
Tabla 4-6:	Costos indirectos.....	127
Tabla 5-6:	Costo total.....	127
Tabla 1-7:	Ficha técnica MADE T2100.....	128
Tabla 2-7:	Advertencias generales.....	129
Tabla 3-7:	Advertencias generales de seguridad.....	130
Tabla 4-7:	Recomendaciones para el mantenimiento de la máquina.....	133
Tabla 5-7:	Revisión básica de mantenimiento de la Trilladora Made T2100.....	135
Tabla 6-7:	Designación de las variables del tiempo.....	136
Tabla 7-7:	Ficha auxiliar de mantenimiento.....	137
Tabla 8-7:	Ficha auxiliar de mantenimiento.....	140
Tabla 9-7:	Ficha auxiliar de mantenimiento.....	141
Tabla 10-7:	Matriz de equipos de protección personal.....	142
Tabla 11-7:	Identificación de cambios.....	143
Tabla 12-7:	Diagrama de procesos de mantenimiento de la maquina trilladora.....	152
Tabla 13-7:	Diagrama de procesos de trillado de la maquina trilladora.....	153

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-4: Selección de perfil de correa	40
Gráfico 2-4: Selección de perfil de correa	54
Gráfico 3-4: Selección de perfil de correa	66
Gráfico 4-4: Diagrama de corte y momentos en el plano xy	85
Gráfico 5-4: Diagrama de corte y momentos xz	85
Gráfico 6-4: Diagrama de corte y momentos xy	92
Gráfico 1-5: Análisis de la productividad	118

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Quinoa	5
Figura 2-2: Cebada	6
Figura 3-2: Avena	6
Figura 4-2: Trigo.....	7
Figura 5-2: Trillado mecanizado.....	8
Figura 6-2: Cilindro trillador	9
Figura 7-2: Separación cilindro – cóncavo	10
Figura 8-2: Zaranda	10
Figura 9-2: Ventilador	11
Figura 10-2: Soporte de la máquina.....	11
Figura 11-2: Multiplicación y reducción de la velocidad	12
Figura 12-2: Inversor del sentido de giro.....	12
Figura 1-3: Análisis causa-efecto del proceso de trillado	32
Figura 2-3: Rodillo trillador.....	32
Figura 3-3: Cóncavo	33
Figura 4-3: Ventilador	33
Figura 5-3: Zaranda de granos	34
Figura 6-3: Soporte de la máquina	34
Figura 7-3: Elevador de panoja mal trillada	34
Figura 8-3: Sistema de transmisión	35
Figura 9-3: Trillado de quinua.....	36
Figura 1-4: Rediseño para la optimización del proceso de trillado.....	38
Figura 2-4: Transmisión del movimiento desde el motor al rodillo trillador.....	39
Figura 3-4: Factor de servicio.....	40
Figura 4-4: Selección de polea del motor	41
Figura 5-4: Selección de polea del rodillo trillador lado derecho.....	42
Figura 6-4: Selección de soportes de pared	42
Figura 7-4: Longitud primitiva de la correa.....	44
Figura 8-4: Factor de corrección C2	46
Figura 9-4: Factor de corrección C3	47
Figura 10-4: Constante para encontrar la fuerza centrífuga.....	49

Figura 11-4:	Ángulos para relación de tensiones.....	50
Figura 12-4:	Transmisión de movimiento del rodillo trillador a la zaranda	53
Figura 13-4:	Selección de polea Rodillo trillador – Zaranda del catálogo SKF	55
Figura 14-4:	Longitud primitiva nominal	57
Figura 15-4:	Factor de corrección C2 en base a la longitud de la correa.....	58
Figura 16-4:	Factor de corrección C3 en base al ángulo de contacto de la polea c	59
Figura 17-4:	Coeficientes para determinar Fuerza centrífuga	62
Figura 18-4:	Transmisión del rodillo trillador al ventilador	65
Figura 19-4:	Selección de polea Rodillo trillador – Ventilador.....	67
Figura 20-4:	Selección de chumaceras para el eje del ventilador	68
Figura 21-4:	Longitud primitiva nominal	69
Figura 22-4:	Potencia que transmite una correa	71
Figura 23-4:	Factor de corrección.....	71
Figura 24-4:	Coeficientes para determinar Fuerza centrífuga	73
Figura 25-4:	CAD del rodillo trillador.....	79
Figura 26-4:	Componentes del rodillo trillador	80
Figura 27-4:	Diagrama de cuerpo del rodillo trillador.....	83
Figura 28-4:	Cilindro trillador	86
Figura 29-4:	Coeficientes del factor de superficie.....	89
Figura 30-4:	Coeficientes de factores de carga.....	89
Figura 31-4:	Factor de temperatura	90
Figura 32-4:	Factores de confiabilidad	90
Figura 33-4:	Cargas que actúan en el eje del ventilador	91
Figura 34-4:	Tapa del cóncavo	96
Figura 35-4:	Estructura del cóncavo.....	97
Figura 36-4:	Trillado de quinua.....	98
Figura 37-4:	Trillado de cebada.....	98
Figura 38-4:	Trillado de avena.....	98
Figura 39-4:	Trillado de trigo	98
Figura 40-4:	Estructura de la zaranda	99
Figura 41-4:	Zaranda de granos	99
Figura 42-4:	Tamiz de quinua.....	100
Figura 43-4:	Tamiz multigrano	100
Figura 44-4:	Dimensiones del chasis	101
Figura 45-4:	Modelado de la estructura.....	102
Figura 46-4:	Asignación de la carga	103
Figura 47-4:	Esfuerzo máximo del bastidor	103

Figura 48-4:	Valor máximo de la deformación.....	104
Figura 49-4:	Factor de seguridad.....	104
Figura 1-5:	Asignación de cargas	114
Figura 2-5:	Valor máximo de la deformación.....	114
Figura 3-5:	Factor de seguridad	114
Figura 4-5:	Cargas de panoja de quinua	115
Figura 5-5:	Ingreso de panoja	115
Figura 6-5:	Obtención del grano trillado	115
Figura 7-5:	Pesaje de quinua trillada en Kg.....	116
Figura 1-7:	Actividad segura de trillado	147

LISTA DE ABREVIACIONES

MOD	Mano de Obra directa
MP	Materia Prima
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
ANSYS	Análisis Estructural y Simulación de Sistemas
Dp	Diámetro de la polea
Tc	Fuerza centrífuga
Hp	Caballos de fuerza
Kw	Kilovatios
L	Longitud
Ln	Longitud normalizada
min	Minutos
mm	Milímetros
N	Newton
Nm	Newton metro
Neje	Número de revoluciones del eje transmitido
Pd	Potencia de diseño
Plg	Pulgada
rpm	Revoluciones por minuto
T1	Tensión en el lado tirante
T2	Tensión en lado flojo
Z	Número de correas

LISTA DE ANEXOS

- A** Datos técnicos del motor
- B** Selección de factor de servicio para la potencia de diseño
- C** Ángulo de garganta de la correa en grados
- D** Valores constantes para determinar la durabilidad de la banda
- E** Selección de eje
- F** Peso en kg de 1 quintal de quinua (COPROBICH)
- G** Planos de la máquina trilladora T2100

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue optimizar el proceso de trillado de quinua, cebada, avena y trigo, mediante el rediseño de la máquina trilladora multigrano MADE T2100 para los productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica de la provincia de Chimborazo. Mediante un estudio preliminar de campo se determinó que el proceso de trillado que realiza la máquina es deficiente ya que sólo procesa un quintal de grano por cada hora, además el producto contiene en su mayoría residuos de paja. Mediante un análisis técnico se determinaron las causas que impiden la obtención de los granos limpios y son: rodillo trillador y cóncavo mal diseñado, bajo flujo de aire del ventilador, sistema de cernido deficiente, inestabilidad en el chasis. Se realizó el rediseño y la construcción de la trilladora para lo cual se modificó los elementos antes descritos. Mediante el software de diseño mecánico ANSYS se realizó el análisis de la estructura del chasis, a fin de garantizar la resistencia que va a soportar la máquina haciendo énfasis en los puntos críticos, se obtuvo un factor de seguridad estático y dinámico F_s mayor que 1 lo cual garantiza su correcto funcionamiento, se concluye que la trilladora soporta la carga estática generada por el peso de sus componentes y la carga dinámica al momento de trillar, el análisis de cargas en los ejes se efectuó en el educational software for Mechanics of materials MD Solids . Los planos de la máquina fueron diseñados en el software SOLIDWORKS free student. Se evaluó la mejora alcanzada mediante el rediseño de la máquina trilladora y se elevó la productividad de 1 quintal/hora a 5 quintales/hora, es decir un incremento de 4 veces en comparación a lo anterior, adicionalmente se estableció un diagrama de procesos, un manual de mantenimiento, en las recomendaciones se añadió parámetros de seguridad, que garantiza un correcto funcionamiento de máquina y seguridad para los operarios en el proceso de trillado.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>
<REDISEÑO>, <CONSTRUCCIÓN>, <TRILLADORA>, <QUINUA
(CHENOPODIUM QUINOA) >, <PRODUCTIVIDAD>, <ANSYS>,
<SOLIDWORKS>



ABSTRACT

The objective of the present thesis project was to optimize the quinoa, barley, oats and wheat threshing process, through the redesign of the MADE T2100 multigrain threshing machine for the producers linked to the native organic quinoa exporting companies from Chimborazo Province. By means of a preliminary field study, it was determined that the threshing process performed by the machine is deficient, since it only processes one quintal of grain per hour, in addition the product contains mostly straw residues. Through a technical analysis, the causes that prevent obtaining clean grains were determined and they are: badly designed threshing and concave roller, low fan air flow, deficient sifting system, and chassis instability. The thresher redesign and construction was carried out, in which the elements described above were modified. Through the mechanical design software ANSYS the analysis of the structure of the chassis was carried out, in order to guarantee the resistance that the machine will support, emphasizing the critical points, a static and dynamic safety factor F_s greater than 1 was obtained. Which guarantees its correct operation, it is concluded that the thresher supports the static load generated by the weight of its components and the dynamic load at the time of threshing, the load analysis in the axes was carried out in the educational software for Mechanics of materials MD Solids. The drawings of the machine were designed in the SOLIDWORKS free student software. The improvement achieved was evaluated through the redesign of the threshing machine and the productivity was increased from 1 quintal / hour to 5 quintals / hour, that is to say an increase of 4 times in comparison to the previous thing, additionally a process diagram was established, a maintenance manual, in the recommendations, safety parameters were added, which guarantees a correct operation of the machine and safety for the operators in the threshing process.

KEY WORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>
<REDISIGNING>, <CONSTRUCTION>, <TRILLATOR>, <QUINUA
(CHENOPODIUM QUINOA)>, <PRODUCTIVITY>, <ANSYS>, <SOLIDWORKS>



INTRODUCCIÓN

El sembrado de la quinua en Ecuador se considera de poca importancia, debido a su limitada superficie cultivada y por su bajo consumo per cápita (menos de 1 kg/persona/año), existe bajo interés aparente de la población para incrementar su producción y consumo. Sin embargo, varias instituciones, investigadores y empresarios nacionales, apoyados por organismos internacionales y por el Gobierno Nacional, han realizado actividades de rescate y promoción de los cultivos nativos, entre ellos la quinua. (Peralta, 2015).

La quinua es conocida como uno de los cultivos con grandes ventajas para los seres humanos por sus múltiples usos. Se puede generar varios productos derivados de la quinua como, harinas, granolas, barras energéticas, cremas humectantes para la piel. Cada año aumentan las investigaciones para el desarrollo de productos combinados de manera de hacer atractivo el consumo de quinua. Sin embargo, no está por demás indicar que aquellos productos combinados requieren del uso de tecnologías avanzadas. (Valenzuela Chauca , 2016).

Actualmente las máquinas trilladoras empleadas en las exportadoras de Quinua Nativa Orgánica de la Provincia de Chimborazo no satisfacen las necesidades de los pequeños, medianos ni grandes agricultores debido a los inconvenientes que presentan para obtener granos limpios al cosechar los cereales. El rediseño de la máquina trilladora multigrano MADE T2100 se justifica plenamente en los beneficios que aporta a los productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica de la provincia de Chimborazo ya que incrementará la producción y reducirá los desperdicios obtenidos en el trillado, alcanzando así un ahorro económico y un mayor beneficio para los agricultores.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La línea base del conocimiento del presente trabajo de titulación mediante la recopilación, análisis de investigaciones relacionadas con la optimización del proceso de trillado de quinua, cebada, avena y trigo con el rediseño de la máquina trilladora multigrano. Los antecedentes investigativos relevantes se detallan a continuación.

- El cultivo de quinua tiene parámetros que permiten el manejo y cuidado, debe realizarse con precaución para que no haya pérdida de producto, ya sea por efectos de característica climática, plagas o animales. Un sistema de cosecha de quinua consiste en la utilización de trilladoras estacionarias, que constan de: un rotor picador, barras trilladoras, ventilador, ciclón el cual se encarga de separar la semilla de quinua del resto de material aumentando así la eficiencia tanto en el trillado como en la limpieza de la quinua (Llangari, y otros, 2012).
- Es posible diseñar, analizar y construir una máquina trilladora con la tecnología y materiales existentes a un costo menor que las alternativas existentes, en mercado internacional. Según análisis realizado, se comprueba que la alternativa importada es un 527 % más cara que la máquina diseñada en este proyecto (Mera Arana, 2009).
- La problemática surge en la actualidad debido a la necesidad de una gama de maquinarias ya que en los procesos productivos se está buscando reemplazar la mano de obra por sistemas mecanizados y automatizados. Por lo que para el actual ingeniero el diseño parte del siguiente concepto: Diseñar es formular un plan para la satisfacción de una necesidad específica o resolver un problema (Triviño Veliz, 2016).
- Los antecedentes citados son relevantes para la presente investigación porque demuestran que mediante la aplicación del rediseño de una máquina trilladora se pueden lograr resultados alcanzables como el incremento de la producción diaria, eficiencia de la maquinaria y una reducción del tiempo de producción (Hernández, 2009).

- En la provincia de Chimborazo el cultivo de quinua es considerado como una actividad impulsora de la economía nacional, un estudio realizado por MAG reveló que hoy en día en la provincia se radican alrededor de dos mil trescientos sesenta y seis productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica. Los productores señalan que la quinua es un producto estrella debido a la acogida internacional (Francia y Estados Unidos figuran como los principales consumidores), el costo de cada quintal en el exterior es de \$125,00 dólares y en el país se vende a \$80,00 dólares.

1.2 Planteamiento del problema

En primera instancia la máquina trilladora multigrano T2100 no cumple con las expectativas de los productores de Quinua Nativa Orgánica de la Provincia de Chimborazo. De acuerdo a evaluaciones de los técnicos del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería), así como de los propios productores, en campo se evidenciaron problemas en cuanto al rendimiento y calidad del trillado, debido principalmente al diseño de las trilladoras, el cual se evaluó como no conforme a las especificaciones de la Panoja-Grano de Quinua.

Mediante una investigación de campo se determinó que el proceso de trillado por medio de la máquina multigrano MADE T2100 es deficiente, porque produce un estimado de un quintal de grano por hora (1qq/h), se obtiene granos con impurezas (residuos de panoja), generando un desperdicio de grano de un 80%, por lo que tiene que volver a trillar. El ingeniero Alex Noriega, quien es el técnico del MAG, mediante la lista de chequeo de la máquina trilladora multigrano T2100, indica que existen fallas en ciertos elementos de la máquina, es necesario modificar las siguientes partes:

- Bastidor
- Rodillo trillador
- Cóncavo del rodillo trillador
- Ventilador
- Sistema de transmisión
- Zaranda de granos

Como solución al problema se desarrolla el presente trabajo de titulación denominado “Optimización del proceso de trillado de quinua, cebada, avena y trigo, mediante el

rediseño de la máquina trilladora multigrano MADE T2100 para los productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica de la provincia de Chimborazo”.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

La quinua, cebada, avena y trigo son alimentos que contienen excelentes aportes nutritivos, como proteínas, aceites saludables, vitaminas y minerales. La quinua sobresale con mayor cantidad de nutrientes en comparación a los demás cereales (Ecogroceries, 2017). El proceso de trillado en la máquina trilladora multigrano T2100 es deficiente debido a que varias partes están mal diseñadas; esto implica pérdida de tiempo y producción, alto porcentaje de desperdicios y residuos de panojas en los granos trillados.

1.3.2 Justificación metodológica

Se analiza la deficiencia de la máquina trilladora multigrano en el proceso de trillado, utilizando conocimientos generales referentes a Elementos de Máquinas, Resistencia de Materiales, Manuales de Mantenimiento, Equipos de Protección Personal, Diseño de máquinas en Solidwork, análisis de Cargas en Ansys. El trabajo de titulación por medio del método deductivo facilita cumplir con las actividades planteadas de manera secuencial sistemática y lógica, permitiendo mantener un orden en el desarrollo del proyecto.

1.3.3 Justificación práctica

La optimización del proceso de trillado mediante el rediseño de la máquina trilladora multigrano T2100, intenta mejorar la productividad y calidad de grano de la quinua, cebada, avena y trigo. Con el rediseño implementado los beneficios serán: granos limpios, menos tiempo de trillado, reducción de desperdicios, satisfacción del cliente y rentabilidad para los productores.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Optimizar el proceso de trillado de quinua, cebada, avena y trigo, mediante el rediseño de la máquina trilladora multigrano MADE T2100 para los productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica de la provincia de Chimborazo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual de la máquina trilladora utilizando una lista de chequeo y diagrama de proceso, para evaluar los elementos que generan inconvenientes en la productividad del proceso de trillado.
- Rediseñar y construir los componentes de la máquina trilladora guiándose en el diseño de las trilladoras guarandeñas para obtener granos limpios en el menor tiempo y sin desperdicios.
- Evaluar la productividad alcanzada en el proceso de trillado al implementar el rediseño de la máquina trilladora, utilizando diagramas de procesos para comparar la mejora en la producción y calidad de grano.
- Elaborar un plan de mantenimiento y el procedimiento seguro para operar la máquina trilladora multigrano MADE T2100.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Cereales

Los cereales son las semillas o granos comestibles de las gramíneas de cultivo como quinua, cebada, avena y trigo.

2.1.1 *Quinua*

La quinua es una semilla identificada por ser una excelente proteína vegetal y por tener otras propiedades saludables. El cultivo de la quinua es emparentado genéticamente con plantas hortícolas convencionales como espinaca y acelga, con las que comparte su pertenencia a las quenopodiáceas. Pero a efectos de composición química y nutricional y de su tratamiento gastronómico, está íntimamente asociada a los cereales (Ecogroceries, 2017).



Figura 1-2. Quinua
Fuente: <https://bit.ly/2KQygef>

2.1.2 *Cebada*

La cebada es un ingrediente muy conocido desde tiempos antiguos ya que forma parte de bebidas como la cerveza, chichas, coladas entre otras. Sus espigas son largas y flexibles, junto al trigo, maíz y arroz, forma un grupo de cereales “destacados” en todo el mundo. Es de fácil adaptabilidad y no es complicado su proceso de cultivo (Pintor, 2018).



Figura 2-2. Cebada

Fuente: <https://bit.ly/2zCfG5c>

2.1.3 *Avena*

La avena al igual que los otros granos detallados pertenece a la familia gramínea, tiene grandes fuentes de vitaminas, es utilizado en coladas de dulce y de sal, posee un alto valor nutricional es utilizado para equilibrar dietas, además presenta características que favorecen a la salud humana (ULPGC, 2016).



Figura 3-2. Avena

Fuente: <https://bit.ly/2QuorYQ>

2.1.4 *Trigo*

El trigo es conocido a nivel mundial desde hace muchos siglos atrás. El grano es utilizado para hacer pan, harina integral, cerveza y diferentes alimentos (Grupo Copesa, 2017).



Figura 4-2: Trigo
Fuente: <https://bit.ly/2AIHrJ8>

2.2 Proceso de trillado

El proceso de trillar consiste en extraer granos limpios, libres de residuos de panoja de las plantas, aplicando los diferentes métodos existentes: fricción, golpeteo o apisonado, siempre y cuando las plantas estén adecuadas para el trillado (LLumipanta, 2016).

Se entiende por trillado al proceso de separación de granos de las plantas gramíneas, es realizado mediante el método de fricción, consiste en ingresar la panoja por medio de un cilindro y un cóncavo, si el espacio entre ellos es reducido, la fricción es mayor y viceversa, sin embargo, no todos los granos son resistentes a grandes impactos y a la fricción, para esto se debe calibrar la velocidad del cilindro trillador y el espacio entre el cilindro y el cóncavo, de acuerdo con el tipo de semilla. (Alvarado, 2004)

Para obtener eficiencia en el trillado se debe implementar en las trilladoras motores de combustión interna o motores eléctricos, todo el sistema debe estar bien diseñado, las zarandas, el ventilador, el bastidor, el rodillo, el cóncavo son piezas fundamentales que componen la trilladora (Smith, 1994).

2.3 Trilladora

La trilladora ayuda de manera eficaz a realizar el proceso de trillado de las plantas gramíneas, obteniendo granos de excelente calidad en menor tiempo en comparación al proceso manual.

Está conformada por un bastidor que soporta los demás elementos, un mecanismo de cernido de granos, un ventilador, motor, poleas y brazos de transmisión de movimientos. La máquina cuenta motor propio de combustión interna, eléctrica o accionada mediante un cardán acoplado a la toma de fuerza del tractor. Una polea acciona el rodillo de trilla, otra mueve las zarandas y una polea pequeña el ventilador. El sistema de trilla está compuesto por un tambor denominado rodillo trillador para el traslado del grano, al girar el tambor éste hace pasar las panojas a una pequeña distancia entre el tambor y el cóncavo, donde los granos se separan de la panoja y pasan a través del espacio entre el rodillo y el cóncavo para enviarla a la zaranda de granos (Ríos, 2006).

Las ventajas del trillado mecanizado son:

- Realiza en menor tiempo.
- Efectúa la pre limpieza del grano a través de las zarandas.
- Disminuye el costo de producción.
- Se logra grano de buena calidad.

Las desventajas del trillado mecanizado son:

- La regulación inadecuada de la trilladora especialmente del cilindro y del cóncavo, puede producir daños irreversibles en el grano.
- Se requiere de vehículo para su traslado.
- Requiere personal entrenado en la operación de la trilladora.



Figura 5-2: Trillado mecanizado

Fuente: <https://bit.ly/2RtUZPL>

2.4 Cilindro trillador

El cilindro trillador realiza el rasgado de los granos junto con el cóncavo, se constituye por barras metálicas denominadas cuchillas, que están montados alrededor de la circunferencia exterior, el diseño depende del tipo de granos que se va a trillar, por lo general los cilindros trilladores en forma de dedos son para granos grandes como el maíz, frejol, chochos. El cilindro en forma de cuchillas es específicamente para plantas gramíneas como la quinua, cebada, avena, trigo (González, 1995).

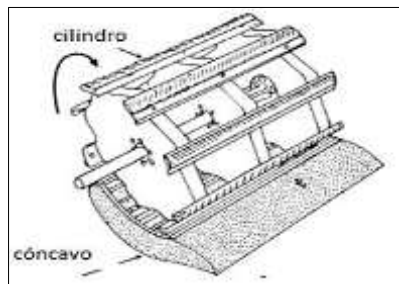


Figura 6-2: Cilindro trillador
Fuente: (González, 1995)

2.5 Cóncavo

Es el elemento fundamental que ayuda a rasgar los granos que se encuentran en las ramas de los cereales, es importante realizar la regulación entre el cilindro y el cóncavo de acuerdo con el grano que se vaya a trillar. Se considera este parámetro cuando se presenta una dificultad de desprendimiento: los granos no se desprenden con facilidad por el contacto en la zona inicial del cóncavo, sino que requiere ser friccionado contra sí mismo, para lograr su total liberación.

Se debe considerar que cuanto mayor es el efecto de fricción, mayor es el efecto de triturado de la paja, produciendo dificultad en la separación y limpieza posterior.

Además de la separación del cilindro – cóncavo, se debe considerar la velocidad de giro del cilindro para la obtención de un buen trillado. Este factor influye en dos aspectos:

- Eficacia de la trilla
- Daños a la semilla

Si las revoluciones del cilindro desgranador son altas, trae consigo una trilla más eficaz por la combinación de los efectos: energía de los impactos sobre los granos y disminución del grosor de la maleza que pasa entre el cilindro y el cóncavo (lo que facilita el paso de los granos hacia los tamices). Sin embargo, trae consigo efectos negativos, el grano seco, que trilla se daña principalmente por impacto, al estar separado de sus cubiertas desde la primera zona del cóncavo, puede golpearse contra las barras del mismo: si la velocidad del cilindro es alta, se parte mucho grano. En otro aspecto, si la proporción de paja es demasiado baja, aumenta la posibilidad de impactos por lo tanto generará daños a las cuchillas del rodillo trillador (Cosechadoras de granos, 2007).

	r.p.m. cilindro desgranador	Separación cilindro-cóncavo (mm)	Zarandón (mm)	Criba (mm)
Trigo	750-1.200	3-13	16-19	3-7
Cebada	750-1.300	3-16	12-19	6-12
Soja	450- 850	9-25	13-19	9-13
Judías (grano)	250- 700	13-25	13-19	9-13
Guisantes (secos)	300- 550	7-16	16-19	9-13
Maíz	400- 900	25-38	11-16	13-16
Trébol	950- 1.200	1,6- 5	7-9	3-7
Alfalfa	700-1.300	3-9	9-13	1,6-3
Pratenses	900-1.300	3-9	13-16	3-7
Arroz	700- 1.050	2-12	16-19	6-9
Girasol	375- 600	13-38	13-19	13-16

Figura 7-2: Separación cilindro – cóncavo

Fuente: (Cosechadoras de granos, 2007)

2.6 Zaranda

Es el instrumento utilizado para seleccionar los granos de la panoja triturada, sobre la misma quedan las impurezas como tallos, raíces, hojas. (Llangari, y otros, 2012).



Figura 8-2: Zaranda

Fuente: <https://bit.ly/2s2mq8o>

2.7 Ventilador

Su función es aportar el flujo de aire suficiente para empujar la panoja hacia la parte posterior de la máquina, también cumple con la tarea de transportar el grano hacia la zaranda para la limpieza final (Mera Arana, 2009).

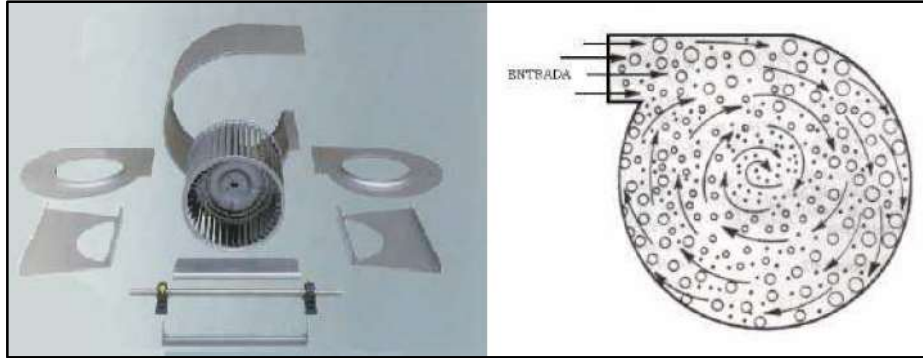


Figura 9-2: Ventilador
Fuente: (Llangari, y otros, 2012)

2.8 Soporte de la máquina

También conocido como chasis o bastidor, es la base que acoge todos los elementos de la maquina trilladora con la suficiente resistencia para no romperse durante las jornadas laborales en el campo (LLumipanta, 2016).



Figura 10-2: Soporte de la máquina
Fuente: Autores

2.9 Sistema de transmisión

Se compone de poleas, bandas, ejes, motor de combustión. Mediante estos elementos es posible transmitir la velocidad angular, fuerza y potencia. La fuerza es transmitida por efecto del rozamiento que se genera entre la correa y la polea (Llangari, y otros, 2012).

En función de los tamaños de las ruedas se puede multiplicar o reducir la velocidad, como se muestra en la siguiente figura.

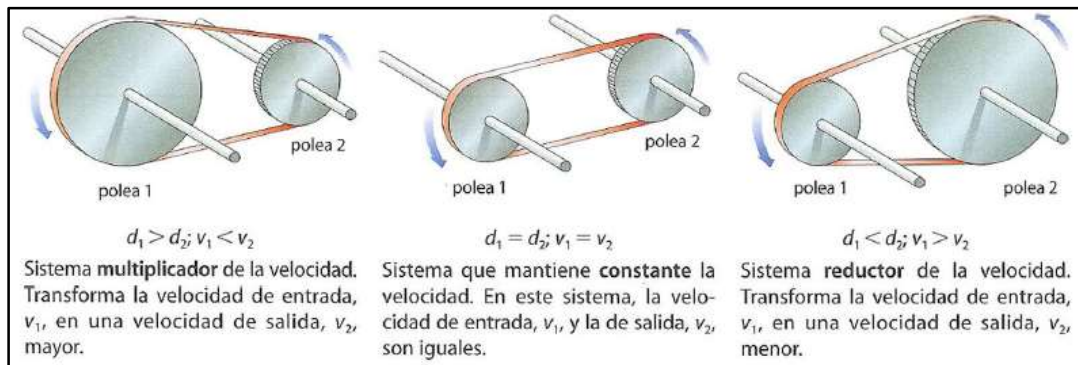


Figura 11-2: Multiplicación y reducción de la velocidad

Fuente: <https://bit.ly/2RkPZjO>

Para invertir el sentido de giro se debe cruzar la correa.

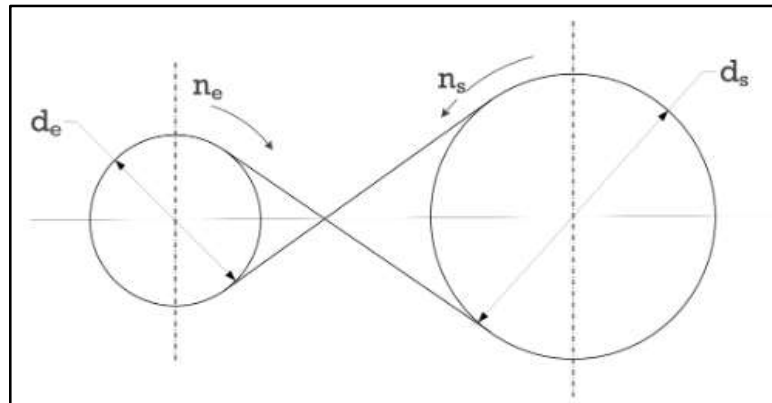


Figura 12-2: Inversor del sentido de giro

Fuente: <https://bit.ly/2s11U82>

2.10 Cálculos de diseño

Para los cálculos de diseño se establece como base teórica las ecuaciones utilizadas por (Llangari, y otros, 2012) autores de la obra “Diseño y construcción de una trilladora y

limpiadora de quinua” y (LLumipanta, 2016) autor de la obra “Diseño y simulación de una trilladora para el proceso de pos cosecha del sector agrícola”

2.10.1 Capacidad de la máquina

Según (Escalona, 2015) la capacidad de una máquina o proceso, se puede interpretar como su aptitud para producir artículos de acuerdo con las especificaciones. En el presente trabajo se interpreta como la aptitud de la trilladora para trillar el cereal, cuantos kilogramos procesa en determinado tiempo.

Para el cálculo se requieren los siguientes datos:

- NH: Número de hectáreas de sembrío (Cada año)
- CP: Capacidad de producción por hectárea (Kg/Ha)

$$\text{Capacidad} = CP \times NH \quad (1)$$

El porcentaje de grano en la planta es del 42% (Llangari, y otros, 2012).

$$\text{Capacidad total} = \text{Capacidad} \times 0,42 \quad (2)$$

Para determinar cuántos kilogramos se produce al día se requiere los siguientes datos:

- Cuántas horas al año se opera la máquina
- Cuántas horas diarias se opera la máquina

$$\text{Producción diaria} = \frac{\frac{Kg}{año}}{\frac{Horas}{año}} \times \frac{Horas}{Día} \quad (3)$$

2.10.2 Velocidad de ingreso

“La quinua debe ser ingresada a la trilladora a determinada velocidad con el fin de cumplir la cantidad de quinua que debe procesar el operario diariamente para cumplir con la demanda. Por lo tanto, la velocidad de ingreso en la quinua debe calcularse en función de la capacidad requerida en la máquina.

Para calcular la velocidad de ingreso se requiere una serie de datos, los cuales, se detallan a continuación” (Llangari, y otros, 2012).

2.10.2.1 Volumen de quinua a picarse

El volumen de quinua a picarse diario se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{C}{\delta} \quad (4)$$

Donde:

V=Volumen de quinua a picarse

C= Peso del bagazo en función del tiempo (Capacidad)

δ = Densidad del tallo. Un estudio realizado por (Llangari, y otros, 2012) determinó que la densidad del tallo de la quinua aproximadamente es igual $0,4925 \text{ gr/cm}^3$

2.10.2.2 Volumen de una rama de quinua

El volumen de una rama de quinua se asimila a un cilindro delgado, se calcula con la ecuación del volumen de un cilindro.

$$V_c = \frac{3}{4}(\pi r^2)h \quad (5)$$

Donde:

r= radio de la quinua

h= altura de cada rama

Una vez calculado el volumen total de la rama se encuentra el volumen de la quinua, considerando que el 42% de la rama corresponde al grano. Se procede a determinar el valor de la variable con la siguiente ecuación:

$$V_q = V_c \times 0,42 \quad (6)$$

2.10.2.3 Número de ramas

El número de ramas que corresponde a la cantidad de quinua a picarse por cada hora es:

$$Quinua = \frac{V}{V_q} \quad (7)$$

2.10.2.4 Velocidad de ingreso

La velocidad de ingreso está en función de la altura promedio de cada rama.

$$v_i = \left(\frac{ramas}{h}\right) \times h \quad (8)$$

2.10.3 Cálculos necesarios para hallar el momento flector

- **Peso de los elementos**

El cilindro trillador está conformado por los siguientes componentes: tapas y barras de corte. La masa de los elementos se calcula con la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$m = \rho V \quad (9)$$

Donde:

m = Masa de los elementos de trillado (Kg)

ρ = Densidad del material (Kg/m³) La densidad del acero negro es 7850 (Kg/m³)

V = Volumen (m³)

- **Volumen del cilindro trillador**

Para el cálculo se utiliza la ecuación del volumen de un cilindro hueco (Llangari, y otros, 2012).

$$V_{ac} = \frac{\pi}{4} h (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \quad (10)$$

Donde:

V_{ac} = Volumen del anillo cilíndrico (m^3)

h = Altura del cilindro (m)

D_{ext} = Diámetro exterior (m)

d_{int} = Diámetro interior (m)

m_c = Masa del cilindro (Kg)

- **Volumen de la cuchilla**

Para el cálculo del volumen de la barra de corte se utiliza la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$V_c = lxaxe \quad (11)$$

Donde:

V_c = Volumen de la cuchilla (m^3)

a = ancho (m)

l = Longitud del cilindro (m)

e =espesor (m)

- **Volumen de la tapa del cilindro**

Para el cálculo del volumen de la tapa del cilindro se utiliza la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$V_t = \frac{\pi}{4} D_t^2 e \quad (12)$$

Donde:

V_t = Volumen de las tapas (m^3)

D_t = Diámetro de las tapas (m)

e = Espesor de la tapa (m)

- **Peso del cilindro trillador**

El peso del cilindro trillador se calcula con la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$P_c = (m_{ac} + m_c + m_t)g \quad (13)$$

Donde:

P_c = Peso del cilindro trillador (N)

m_c = Masa del cilindro (Kg)

N_b = Número de barras de corte

m_b = Masa de las barras de corte (Kg)

N_t = Número de tapas del cilindro

m_t = Masa de las tapas del cilindro (Kg)

$g = 9,8$ (m/s²)

- **Carga distribuida en función del peso**

Para el cálculo de la carga distribuida del cilindro trillador se aplica la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$Q_p = \frac{P}{L} \quad (14)$$

Q_p = Carga distribuida del peso (N/m)

P = Peso del cilindro (N)

L = Longitud del cilindro

- **Carga distribuida en función de la fuerza de corte**

Para calcular la carga distribuida en función de la fuerza de corte se aplica la siguiente ecuación (LLumipanta, 2016):

$$Q_c = \frac{N_b F_c}{L} \quad (15)$$

Q_c = Carga distribuida (N/m)

N_b = Número de barras

F_c = Fuerza de corte (N)

L = Longitud de la barra (m)

2.10.4 Factor de seguridad

Es indispensable trabajar con factores de seguridad en la construcción de máquinas, puentes, estructuras, de esa forma se puede resguardar pérdidas económicas y pérdidas de vidas humanas ocasionadas por la falla de materiales. Por lo tanto las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a las que se va a someter cuando este en servicio (Canano, 2018).

Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar falla. Dependiendo de las circunstancias, los factores de seguridad varían desde un poco más que 1.0 hasta 10. Es difícil implementar los factores de seguridad en el diseño mecánico, porque tanto la resistencia como la falla tienen significados distintos. La resistencia se puede medir con la capacidad portante de una estructura o bien se puede medir por el esfuerzo en el material. La falla puede equivaler a la fractura y el completo colapso de la estructura o puede significar que las deformaciones se han vuelto tan grandes que la estructura ya no puede realizar sus funciones (Canano, 2018).

2.10.4.1 Factor de seguridad estático

El cilindro de trillado debe soportar cargas estáticas como el peso, para lo cual es necesario calcular el factor de seguridad estático con la siguiente ecuación:

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (16)$$

Donde:

S_y = Esfuerzo a la tracción

σ' = Esfuerzo de Von Mises

- **Esfuerzo máximo de flexión**

Para calcular el esfuerzo máximo de flexión se aplica la siguiente ecuación (Budynas, y otros, 2008):

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (17)$$

Donde:

M = Momento flector máximo (Nm)

d = Diámetro del eje (m)

- **Esfuerzo cortante máximo**

Está dado por la ecuación siguiente (Budynas, y otros, 2008):

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (18)$$

d = Diámetro del eje (m)

T=Torque ejercido por la fuerza en el eje (Nm)

- **Esfuerzo de Von Mises**

Para determinar el factor de seguridad se plantea la ecuación reducida de Von Mises mediante la teoría de la energía de distorsión (Budynas & Nisbett, 2012). Para ejes giratorios se considera esfuerzo uniaxial con cortante $\sigma_y = 0$, por lo que se obtiene la siguiente ecuación.

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x)^2 + 3(\tau_{xy})^2} \quad (19)$$

Donde:

σ_x = Esfuerzo máximo de flexión (MPa)

τ_{xy} = Esfuerzo cortante máximo

2.10.4.2 Factor de seguridad dinámico

El coeficiente de seguridad dinámico mediante el método de Goodman se calcula con la siguiente ecuación (Joseph Edward Shigley, 1995).

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_x}{S_e}} \quad (20)$$

S_e = Límite de resistencia a la fatiga

S_{ut} = Resistencia a la tracción del acero

σ_x = Esfuerzo máximo de flexión

σ_m = Esfuerzo medio

- **Límite de resistencia a la fatiga**

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (21)$$

Donde:

k_a = Factor de superficie

k_b = Factor de tamaño

k_c = Factor de confiabilidad

k_d = Factor de temperatura

k_e = Factor de modificación de esfuerzos

k_f = Factor de efectos diversos

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de la viga rotativa o eje (MPa)

- **Límite de resistencia a la fatiga de la viga rotativa o eje**

El límite de resistencia a la fatiga de la viga rotativa se calcula con la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$S_e' = 0.5 S_{ut} \quad (22)$$

- **Esfuerzo medio**

El esfuerzo medio se calcula con la siguiente ecuación (Llangari, y otros, 2012):

$$\sigma_m = \sqrt{3(\tau_{xy})^2} \quad (23)$$

2.11 Optimización

Es común que para todos los tipos de problemas exista algo por mejorar. Un problema de optimización podrá ser de ajuste de la media para conseguir un valor más deseable de la misma o reducir la variabilidad alrededor de esta media (Figuera, 2006).

2.12 Productividad

Consiste en mejorar el proceso productivo, la mejora se debe hacer comparando entre la cantidad de recursos utilizados (entradas) y la cantidad de recursos obtenidos (salidas), Por tanto la productividad es un indicador que relaciona lo que fue producido y los recursos necesarios para generarlo (Richard B. Chase, 2009).

$$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas} \quad (24)$$

CAPÍTULO III





3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Máquina trilladora multigrano MADE T2100

El ingeniero Alex Noriega quien es el técnico del Cantón Colta, en el Ministerio de agricultura y Ganadería (MAG), realizó un análisis técnico de la situación real en la que se encuentra la máquina trilladora multigrano T2100. Determinó que el proceso de trillado de la máquina T2100 es deficiente porque trilla únicamente 1 quintal cada hora (1qq/h), se obtiene granos con impurezas (residuos de panoja), además existe un desperdicio de grano de un 80%, por lo que tienen que volver trillar para que no se desperdicie los granos.



3.1.1 Diagrama de procesos de trillado de quinua.

Tabla 1-3: Diagrama de proceso de trillado de 1 quintal de quinua.

<i>DIAGRAMA DE PROCESOS DE TRILLADO DE 1QQ DE QUINUA</i>				
Tipo de diagrama	Diagrama de procesos tipo material		Empresa	Productores vinculados a las exportadoras de quinua
Método	Técnico		Elaborado por:	Autores
Operación	Trillado de quinua		Fecha:	2019-05-20
N° Actividad	Distancia(m)	Tiempo (min)	Símbolo	Descripción
1	0	1		La panoja se almacena en la tolva
2	0	1		El operador ingresa la panoja al rodillo trillador
3	0	2		El cóncavo (golpeador trillador) sacude los granos
4	0	2		Las ramas trilladas se dirigen a la zaranda saca tallos

Fuente: Autores

Tabla 1-3 (Continúa): Diagrama de proceso de trillado de 1 quintal de quinua.

5	1	2		Los granos son venteados por el ventilador
6	0	1		Luego del venteado se dirigen a la zaranda de granos para obtener un grano limpio
7	1	1		Los granos limpios salen por el canal de producto terminado
8	0	2		El operador recoge la panoja mal trillada
9	0	1		La panoja se almacena en la tolva
10	0	1		El operador ingresa la panoja al rodillo trillador
11	0	2		El cóncavo (golpeador trillador) sacude los granos
12	0	2		Las ramas trilladas se dirigen a la zaranda saca tallos
13	1	2		Los granos son venteados por el ventilador
14	0	1		Luego del venteado se dirigen a la zaranda de granos para obtener un grano limpio
15	1	1		Los granos limpios salen por el canal de producto terminado
16	0	2		El operador recoge la panoja mal trillada
17	0	1		La panoja se almacena en la tolva
18	0	1		El operador ingresa la panoja al rodillo trillador
19	0	2		El cóncavo (golpeador trillador) sacude los granos
20	0	2		Las ramas trilladas se dirigen a la zaranda saca tallos
21	1	2		Los granos son venteados por el ventilador



Fuente: Autores

Tabla 1-3 (Continúa): Diagrama de proceso de trillado de 1 quintal de quinua.

22	0	1		Luego del venteado se dirigen a la zaranda de granos para obtener un grano limpio
23	1	1		Los granos limpios salen por el canal de producto terminado
24	0	2		El operador recoge la panoja mal trillada
25	0	1		La panoja se almacena en la tolva
26	0	1		El operador ingresa la panoja al rodillo trillador
27	0	2		El cóncavo (golpeador trillador) sacude los granos
28	0	2		Las ramas trilladas se dirigen a la zaranda saca tallos
29	1	2		Los granos son venteados por el ventilador
30	0	1		Luego del venteado se dirigen a la zaranda de granos para obtener un grano limpio
31	1	1		Los granos limpios salen por el canal de producto terminado
32	0	2		El operador recoge la panoja mal trillada
33	0	1		La panoja se almacena en la tolva
34	0	1		El operador ingresa la panoja al rodillo trillador
35	0	2		El cóncavo (golpeador trillador) sacude los granos
36	0	2		Las ramas trilladas se dirigen a la zaranda saca tallos
37	1	2		Los granos son venteados por el ventilador
38	0	1		Luego del venteado se dirigen a la zaranda de granos para obtener un grano limpio





Fuente: Autores

Tabla 1-3 (Continúa): Diagrama de proceso de trillado de 1 quintal de quinua.

39	1	1		Los granos limpios salen por el canal de producto terminado
40	0	2		El operador recoge la panoja mal trillada

Fuente: Autores

Tabla 2-3: Resumen del diagrama de proceso de trillado de 1qq de quinua.

SIMBOLO	NUMERO	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
	25	0	40
	0	0	0
	10	10	15
	5	0	5
TOTAL	40	10	60min

Fuente: Autores

Según normas establecidas por la empresa procesadora de quinua “COPROBICH”, 1 quintal de quinua posee 46,4Kg (Anexo F). El MAG afirma bajo estudio técnico, que de cada planta de quinua, cebada, avena y trigo el 42% pertenece al grano. Es decir para obtener 46,4Kg de grano, deben trillar 110 Kg de panoja.

Al realizar las pruebas con la máquina se obtuvo, de 110 Kg de panoja apenas 9,28Kg de grano trillado. Debido a ese inconveniente se debe seguir trillando hasta obtener los 46,4Kg de grano trillado.

Tabla 3-3: Comparación de grano trillado

Panoja (Kg)	Grano trillado (Kg)	Porcentaje	
110	46,4	100%	Datos MAG (trilladora normal)
110	9,28	X	Datos reales (trilladora T2100)

Fuente: Autores

Para obtener el porcentaje de extracción de grano del trillado de la máquina hacemos regla de tres.

$$46,4Kg \rightarrow 100\%$$


$$9,28Kg \rightarrow X \% = \frac{9,28Kg * 100\%}{46,4Kg} = 20\%$$

En la primera trillada de la máquina se consigue el 20% de aprovechamiento de grano y un 80% de desperdicio. Por tanto se debe volver a ingresar la panoja mal trillada hasta obtener los 46,4Kg que equivale a 1 quintal de grano.

Se concluye que el proceso de trillado de la máquina T2100 de quinua, cebada, avena y trigo; es deficiente debido a que trilla 1 quintal en 60min. El grano trillado sale con residuos de panoja, además un 80% de grano se queda dentro de las panojas, generándose cantidades elevadas de desperdicio.

3.1.2 Evaluación Técnica de la situación de la máquina trilladora multigrano T2100 (ver Anexo G).

Tabla 4-3: Evaluación Técnica de la situación de la maquina trilladora T2100

LISTA DE CHEQUEO DE LA MÁQUINA TRILLADORA T2100				
		Código:	MA-TRI-T2100-CA	
		Versión:	1.00	
		Fecha:	2018/10/08	
		Página 1 de 1		
Realizado por: Ing. Alex Noriega		Firma del responsable del chequeo:		
Cargo: Técnica MAG del Cantón Colta				
Fecha: 2018/10/08	Sección: Técnica	Parroquia: San Martin		
Marque con X el estado	C= conforme	NC= No conforme	NA= No aplica	
DESCRIPCIÓN	C	NC	N/A	Observaciones
Protección completa del equipo en buenas condiciones	X			
Ruedas en buen estado	X			
Facilidad para transportar		X		La parte delantera donde se ubica el motor es rígida, no permite girar con suavidad en las curvas.
Equilibrio de la máquina en el funcionamiento	X			

Fuente: Autores

Tabla 4-3 (Continúa): Evaluación Técnica de la situación de la maquina trilladora T2100

Tamiz en buen estado *		X		No se obtiene el grano deseado.
Cuerpo de la zaranda en buen estado *		X		La madera tiene grietas
Grado de inclinación adecuada para que fluya los granos *		X		Mínimo debe tener una inclinación de 30°
Carcasa de la trilladora en buen estado	X			
Buen estado de los brazos de madera que transmiten movimiento *	X			
Base de la zaranda saca tallos en buen estado *	X			
Zaranda saca tallos en buen estado *	X			
Rodillo saca tallos en buen estado *	X			
Contenedor de gasolina en buen estado *	X			
Cóncavo en buen estado *		X		El cóncavo no es el adecuado para trillar quinua, cebada, avena y trigo.
Rodillo trillador en buen estado *		X		El rodillo trillador no es el adecuado para trillar quinua, cebada, avena y trigo.
Carcasa del cóncavo en buen estado		X		Se debe cambiar el diseño de acuerdo al nuevo cóncavo.
Tolva de ingreso de la panoja en buen estado	X			
Ventilador en buen estado *		X		Durante las pruebas el eje se rompió, las hélices rozan con la carcasa del ventilador.
Recolector de panoja en buen estado		X		Se debe eliminar porque se atranca la panoja internamente.
Poleas en buen estado *		X		La polea del ventilador debe reducir de tamaño.
Bandas en buen estado *		X		Estaban deterioradas, se recomienda cambiarlas.
Motor en buen estado *	X			

Fuente: Autores

*Puntos mandatorios, son indispensables para iniciar el trabajo.

La lista de chequeo de la trilladora T2100 indica que existen fallas en ciertos elementos de la máquina, es necesario modificar las siguientes partes:

- Bastidor
- Rodillo trillador
- Cóncavo del rodillo trillador
- Eje del ventilador
- Sistema de transmisión
- Zaranda de granos

3.1.3 Registro de equipo

La ficha técnica de la trilladora MADE T2100 contiene los datos técnicos de la máquina, es relevante cuando se desea obtener información sobre el diseño del equipo, capacidad, consumo energético, entre otros. Esta información es importante a la hora de evaluar el estado de la máquina y su funcionamiento, además se establece las condiciones bajo las que opera la máquina.

Tabla 5-3: Ficha técnica MADE T2100

	PRODUCTORES DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA		Código	MÁQ-TRI-T2100
	REGISTRO DE EQUIPO		Versión	1
NOMBRE DEL EQUIPO	Trilladora de granos	DIMENSIONES Y PESO		
MARCA	MADE	ALTURA	1,65 m	
MODELO	T2100	ÁREA OCUPADA	1,5 m x 4 m	
AÑO DE FABRICACIÓN	2015	PESO NETO	365 Kg	
FABRICANTE	Maquinarias Agrícola del Ecuador	MOTOR		
ORIGEN	Quevedo-Ecuador	TIPO	Motor de combustión	
DIRECCIÓN	Cdla. San Rafael, calle principal a 300m del terminal terrestre.	POTENCIA	20HP	
		RPM	3600	

Fuente: Autores

Tabla 5-3 (Continúa): Ficha técnica MADE T2100


Capacidad	1 qq/h	COMBUSTIBLE	Gasolina (extra)
			

Fuente: Autores

3.1.4 Componentes de la máquina trilladora MADE T2100

La lista de componentes de la máquina trilladora se lo realizó mediante inspección visual y con la colaboración de los pequeños productores ya que la máquina no posee un manual donde se indique los mismos. La identificación de los componentes se realiza a fin de evaluar el estado técnico de cada uno y determinar posibles fallas para establecer las medidas de mejora que se plantearan en el rediseño de la máquina. Los componentes de la máquina trilladora son:

Tabla 6-3: Lista de componentes.

 PRODUCTORES DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA			
COMPONENTES DE LA MÁQUINA TRILLADORA T2100			
Número	Cantidad	Denominación	Material
1	1	Bastidor	Perfil rectangular en U ASTM A-36
2	1	Zaranda de granos	Madera Ceique
3	1	Carcasa de la trilladora	Tol negro 1,5 mm ASTM A-569, perfil rectangular ASTM A-36
4	2	Brazos de transmisión de movimiento	Madera Ceique
5	1	Base zaranda saca tallos	Tol galvanizado de 1,5mm ASTM A-653

Fuente: Autores

Tabla 6-3 (Continúa): Lista de componentes.

6	1	Zaranda saca tallos	Tol galvanizado 1,5mm ASTM A-653
7	1	Rodillo Sacar tallos	Tol negro 2mm ASTM-569
8	1	Contenedor de gasolina	Tol negro 1,5mm ASTM-569
9	1	Cóncavo	Ángulo ASTM A-36
10	1	Rodillo trillador	Pletina ASTM A-36
11	1	Carcasa del cóncavo	Pletina ASTM A-36
12	1	Tolva de ingreso de la panoja	Ángulo ASTM A-36, Tol negro 1,5mm ASTM-569
13	1	Ventilador	Pletina ASTM A-36, Tol negro 1,5mm ASTM-569
14	1	Recolector de paja	Tol negro 1,5mm ASTM-569
15	5	Poleas	Aluminio
16	3	Bandas	Caucho
17	1	Motor	Hierro Fundido

Fuente: Autores

3.1.5 Ficha de estado técnico

Una vez identificados los componentes de la máquina trilladora T2100, se realiza una evaluación cualitativa del estado técnico de cada componente mediante una escala de calificación de porcentajes. Mediante la evaluación se determinará aquellos componentes de la máquina cuyo estado no es óptimo, lo que puede afectar en el proceso de trillado de granos. Batista (2005) en su libro “Diagnóstico técnico de máquinas rotativas” establece la siguiente tabla de calificación para la evaluación del estado técnico de una máquina.

Tabla 7-3: Clasificación según estado técnico.

PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
94-100	Bueno
61-93	Regular
27-60	Malo
Menos de 27	Muy malo

Fuente: (Batista, 2005)

En base a la tabla anterior se evaluó el estado de cada componente, el resultado se muestra a continuación.

Tabla 8-3: Evaluación técnica

	PRODUCTORES DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA		
	EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO DE LA MÁQUINA TRILLADORA T2100		
Número	Denominación	PORCENTAJE	CLASIFICACIÓN
1	Bastidor (Soporte de la máquina)	60%	MALO
2	Zaranda de granos	60%	MALO
3	Carcasa de la trilladora	95%	REGULAR
4	Brazos de transmisión de movimiento	80%	REGULAR
5	Base Zaranda saca tallos	80%	REGULAR
6	Zaranda saca tallos	60%	MALO
7	Rodillo Saca tallos	80%	REGULAR
8	Contenedor de gasolina	95%	REGULAR
9	Cóncavo	60%	MALO
10	Rodillo trillador	60%	MALO
11	Carcasa del cóncavo	80%	REGULAR
12	Tolva de ingreso de la panoja	90%	REGULAR
13	Ventilador	60%	MALO
14	Recolector de paja	60%	MALO
15	Poleas	80%	REGULAR
16	Bandas	60%	MALO
17	Motor	90%	REGULAR

Fuente: Autores

El estado técnico de la máquina trilladora es MALO-REGULAR.

3.1.5.1 Análisis del estado técnico

A continuación se detalla los motivos por los cuales se consideró “MALO” el estado técnico de algunos componentes de la máquina trilladora. Los motivos aquí mencionados constituirán la base para el establecimiento de parámetros de rediseño de la trilladora.

En resumen, en el siguiente diagrama causa-efecto se detalla las causas del proceso deficiente de trillado.

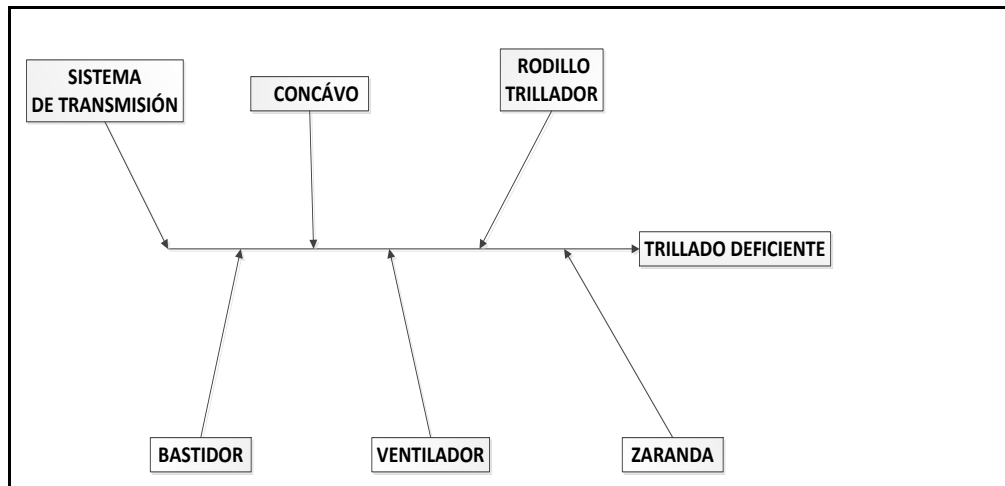


Figura 1-3: Análisis causa-efecto del proceso de trillado

Fuente: Autores

- **Rodillo trillador:** el rodillo trillador de peines es adecuado para trillar granos grandes como, maíz, chochos, frejol. Por tanto no es el cilindro correcto para quinua, avena, cebada, trigo, ya que la distancia entre los dedos del rodillo es muy amplia, el cual provoca que la paja no se triture eficientemente al momento de extraer el grano de la panoja. Esto produce un problema en la máquina al no obtener un grano limpio libre de impurezas.



Figura 2-3: Rodillo trillador

Fuente: Autores

- **Cóncono:** el cóncono es el complemento del cilindro trillador para realizar la fricción de la panoja obteniendo el desgrane, por tanto la separación entre los dedos es inadecuada, este inconveniente ocasiona que el grano se quede dentro de la panoja, produciendo desperdicios.



Figura 3-3: Cóncono
Fuente: Autores

- **Ventilador:** Su ubicación no es acertada, porque no genera el flujo de aire suficiente para empujar la paja hacia la parte posterior de la máquina, donde se recoge las ramas desechadas, al no ocurrir esta acción produce que lo que se va trillando se vaya acumulando en la zaranda obstruyendo el ingreso del grano al tamiz.

El eje de transmisión del ventilador se rompió durante las pruebas que se realizaba con la máquina debido al esfuerzo de torsión, se debe cambiar de eje por otro de iguales características como las que se detallan a continuación: Acero SAE 1018, diámetro 27mm, y largo 985mm.



Figura 4-3: Ventilador
Fuente: Autores

- **Sistema de cernido:** la zaranda de granos no tiene la inclinación apropiada para el trabajo que debe cumplir, por tanto produce dificultad a los granos para transportarse al tamiz donde se obtiene el producto final. La madera está deteriorada y la malla oxidada. A causa de este problema es necesario diseñar un modelo idóneo de la zaranda.



Figura 5-3: Zaranda de granos

Fuente: Autores

- **Bastidor:** cuando se transporta la máquina, los neumáticos delanteros dificultan el giro en las curvas, debido a que el sistema diseñado no permite girar con suavidad, comodidad, precisión y estabilidad, provocando que siga una trayectoria no deseada o el volcamiento de la máquina.



Figura 6-3. Soporte de la máquina

Fuente: Autores

- **Elevador de panoja mal trillada:** su función es retornar la panoja mal trillada, a la tolva de ingreso del rodillo trillador; por el mal diseño en el elevador se genera internamente una obstrucción, este problema disminuye la eficiencia de la máquina al trillar, debido a ese inconveniente se ha decidido suprimir al componente.



Figura 7-3: Elevador de panoja mal trillada

Fuente: Autores

- **Sistema de transmisión de movimiento:** el sistema está compuesto por las siguientes relaciones de transmisión:
 - Motor – Ventilador
 - Ventilador – Rodillo trillador
 - Rodillo trillador – Ventilador superior (rodillo trillador)
 - Rodillo trillador – Zarandas
 - Zarandas – Recolector de panoja

Al observar el sistema actual se concluyó que el elevador de panoja mal trillada no cumple con su función de retornar de las panojas a la tolva de ingreso, los brazos de la zaranda no genera el movimiento longitudinal para expulsar los tallos triturados, el ventilador no produce el flujo de aire necesario para limpiar los granos, y el ventilador del rodillo trillador no expulsa los tallos hacia afuera de la máquina.



Figura 8-3: Sistema de transmisión
Fuente: Autores

3.2 Pruebas del proceso de trillado

La situación actual del proceso de trillado es deficiente debido al estado técnico (MALO) de algunos componentes, por lo tanto se obtiene granos con residuos de panoja.



Figura 9-3: Trillado de quinua
Fuente: Autores

Se comprobó que el proceso es deficiente realizando diversas pruebas de funcionamiento, el resultado obtenido es el siguiente:

Tabla 9-3: Pruebas de funcionamiento

	PRODUCTORES DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA	
	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	MÁQUINA TRILLADORA T2100
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	GRANO	PROCESO
Prueba 1	Mal trillado	DEFICIENTE
Prueba 2	Mal trillado	DEFICIENTE
Prueba 3	Mal trillado	DEFICIENTE
Prueba 4	Mal trillado	DEFICIENTE
Prueba 5	Mal trillado	DEFICIENTE

Fuente: Autores

3.4 Análisis de la productividad

La productividad es la relación entre el número de quintales producidos y el tiempo de producción. El análisis se realiza en una hora y se determina el número de quintales de grano trillado que se produce. La productividad se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Tiempo}}$$

En promedio se trilla un quintal de grano por cada hora, la productividad máxima es de 1qq/h. Mediante el rediseño de la máquina trilladora se pretende elevar la productividad.

$$\text{Productividad} = \frac{1\text{quintal}}{1\text{ hora}} = 1 \frac{\text{quintal}}{\text{hora}}$$

CAPÍTULO IV

4. REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA TRILLADORA

El rediseño de la máquina trilladora tiene como objetivo primordial optimizar el proceso de trillado de quinua y otros cereales como avena, trigo y cebada. La trilladora es multiuso pero debido a que el estudio va dirigido a los productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica de la provincia de Chimborazo, se hará mención especialmente a la quinua, tomando en cuenta que toda mejora alcanzada también tendrá el mismo impacto en el trillado de los demás cereales.

En resumen en el análisis de situación actual se determinó que la productividad en el proceso de trillado es deficiente, debido a que diversos componentes de la trilladora se encuentran en mal estado técnico. El rediseño se centra en mejorar estos elementos por lo tanto se plantea las siguientes situaciones de mejora.

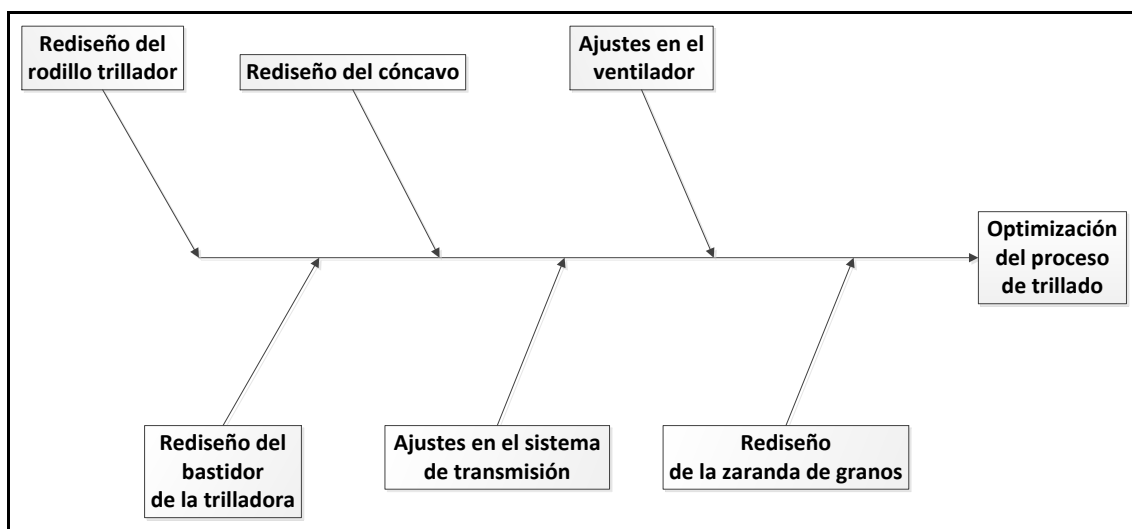


Figura 1-4: Rediseño para la optimización del proceso de trillado

Fuente: Autores

4.1 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión está conformado por:

- Transmisión de movimiento al rodillo trillador.
- Transmisión de movimiento a la zaranda.

- Transmisión de movimiento al ventilador.

4.1.1 Transmisión de movimiento desde el motor al rodillo trillador.

DATOS DEL MOTOR (Anexo A)

- **Vmotor**=3600rpm
- **Potencia del motor de combustión**= 20HP
- **Polea motriz:** El diámetro de la polea motriz es de $d_p = 10$ cm.
- **Polea conducida:** El diámetro de la polea conducida es de $D_p = 22,5$ cm.

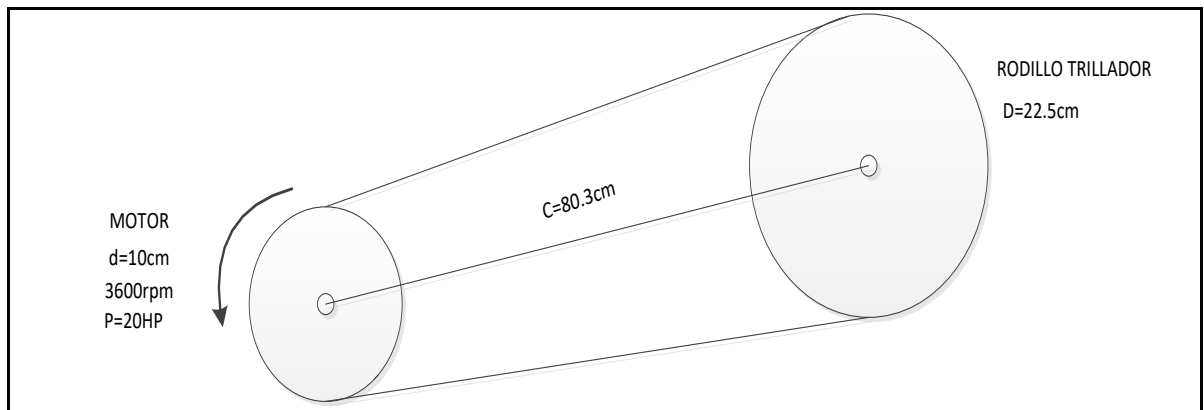


Figura 2-4: Transmisión del movimiento desde el motor al rodillo trillador

Fuente: Autores

- **Potencia de diseño y rpm:** El motor serie JF 620 de la máquina trilladora tiene una potencia de 20 HP y velocidad angular 3 600rpm.

$$P_D = P * C_1 \quad (25)$$

$$P = 20Hp$$

P: potencia del motor de combustión

C1: Factor de servicio

Máquina Movida	Máquina Motriz					
	Motor eléctrico sincrónico. Motor de combustión interna multicilindro. Turbinas.			Motor eléctrico de alto par. Motor de combustión interna monocilindro.		
	8 h/día	16 h/día	24 h/día	8 h/día	16 h/día	24 h/día
Carga ligera Agitadores de líquidos. Bombas y compresores centrífugos. Transportadores de banda. Ventiladores. Máquinas herramientas de corte continuo.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Carga normal Bombas y compresores de 3 y más cilindros. Transportadores de cadena. Fresadoras.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Carga pesada Bombas y compresores de uno y dos cilindros. Elevadores de cangilones. Cepilladoras y mortajadoras.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Carga muy pesada Mecanismos de elevación de grúas. Prensas. Cizallas.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Figura 3-4: Factor de servicio
Fuente: (Faires, 2011)

$$P_D = 20Hp * 1,3$$

$$P_D = 26Hp$$

- **Sección de la correa:** Con los datos de la potencia y las revoluciones por minuto a las que trabaja el motor se selecciona el perfil de la correa con la siguiente tabla.

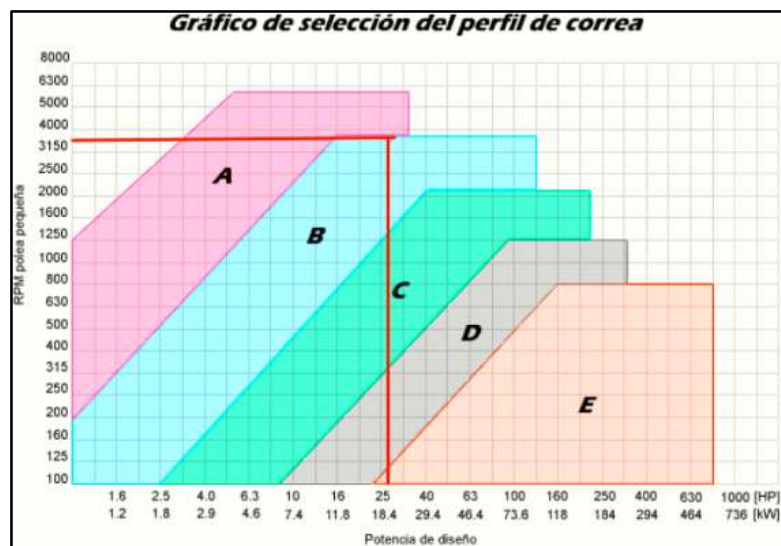



Gráfico 1-4: Selección de perfil de correa
Fuente: (Faires, 2011)


De acuerdo a la potencia de diseño 26 HP y 3600 rpm, el tipo de perfil en la correa es B.

- **Selección de las poleas:** La banda es de perfil B, la polea del motor tiene un diámetro de 10cm, bajo estos datos acudimos al catálogo de poleas SKF en la página 10 para seleccionar la serie de polea del motor.



Poleas trapeciales clásicas QD

Perfil A/B

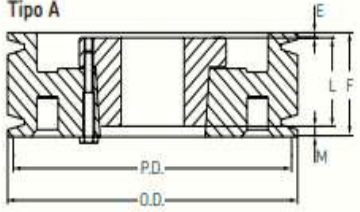


1 Canal

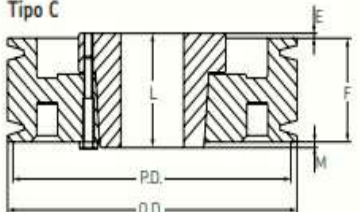
Diámetro Primitivo (PD)		Diámetro Externo (OD)	Tipo de Polea	Buje	Drifício		E	L	M	Peso lbs	Peso kg	Designación
Correas B	Correas A				min	max						
3,4	3,0	3,75	E-1	SH	1/2	1 3/8	7/32	1 1/8	21/32	4,4	2,0	PHP 1-B34-SH
3,6	3,2	3,95	D-1	SH	1/2	1 1/8	19/32	1 1/8	5/32	4,9	2,2	PHP 1-B36-SH
3,8	3,4	4,15	D-1	SH	1/2	1 1/8	19/32	1 1/8	5/32	5,3	2,4	PHP 1-B38-SH
4,0	3,6	4,35	C-1	SH	1/2	1 1/8	19/32	1 1/8	1/32	6,0	2,7	PHP 1-B40-SH
4,2	3,8	4,55	C-1	SH	1/2	1 1/8	19/32	1 1/8	1/32	6,4	2,9	PHP 1-B42-SH
4,4	4,0	4,75	C-1	SH	1/2	1 1/8	19/32	1 1/8	1/32	7,5	3,4	PHP 1-B44-SH
4,6	4,2	4,95	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	8,8	4,0	PHP 1-B46-SDS
4,8	4,4	5,15	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	9,5	4,3	PHP 1-B48-SDS
5,0	4,6	5,35	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	10,4	4,7	PHP 1-B50-SDS
5,2	4,8	5,55	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	11,0	5,0	PHP 1-B52-SDS
5,4	5,0	5,75	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	11,7	5,3	PHP 1-B54-SDS
5,6	5,2	5,95	C-1	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	12,3	5,6	PHP 1-B56-SDS
5,8	5,4	6,15	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	13,0	5,9	PHP 1-B58-SDS
6,0	5,6	6,35	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	13,7	6,2	PHP 1-B60-SDS
6,2	5,8	6,55	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	14,3	6,5	PHP 1-B62-SDS
6,4	6,0	6,75	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	15,0	6,8	PHP 1-B64-SDS
6,6	6,2	6,95	C-2	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	15,9	7,2	PHP 1-B66-SDS
6,8	6,4	7,15	C-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	16,5	7,5	PHP 1-B68-SDS
7,0	6,6	7,35	C-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	17,2	7,8	PHP 1-B70-SDS
7,4	7,0	7,75	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	19,4	8,8	PHP 1-B74-SDS
8,0	7,6	8,35	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	21,2	9,6	PHP 1-B80-SDS
8,6	8,2	8,95	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	22,0	10,0	PHP 1-B86-SDS
9,4	9,0	9,75	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	23,1	10,5	PHP 1-B94-SDS
11,0	10,6	11,35	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	24,3	11,0	PHP 1-B110-SDS
12,4	12,0	12,75	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	26,5	12,0	PHP 1-B124-SDS
13,6	13,2	13,95	D-3	SDS	1/2	2	11/32	1 1/8	1/32	30,9	14,0	PHP 1-B136-SDS
15,4	15,0	15,75	C-3	SK	1/2	2 3/8	11/32	1 15/16	1/32	35,3	16,0	PHP 1-B154-SK
16,0	15,6	16,35	C-3	SK	1/2	2 3/8	11/32	1 15/16	1/32	36,6	16,6	PHP 1-B160-SK
18,4	18,0	18,75	C-3	SK	1/2	2 3/8	11/32	1 15/16	1/32	39,7	18,0	PHP 1-B184-SK
20,0	19,6	20,35	C-3	SK	1/2	2 3/8	11/32	1 15/16	1/32	44,1	20,0	PHP 1-B200-SK

F = 7/8" (1-B34-SH - 1-B70-SDS) F = 1" (1-B74-SDS - 1-B200-SK)

Tipo A



Tipo C



Tipo D

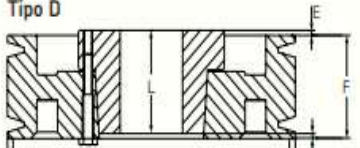


Figura 4-4: Selección de polea del motor

Fuente: Catálogo de poleas SKF

La polea del motor es de serie, **PHP 1-B110-SDS**.

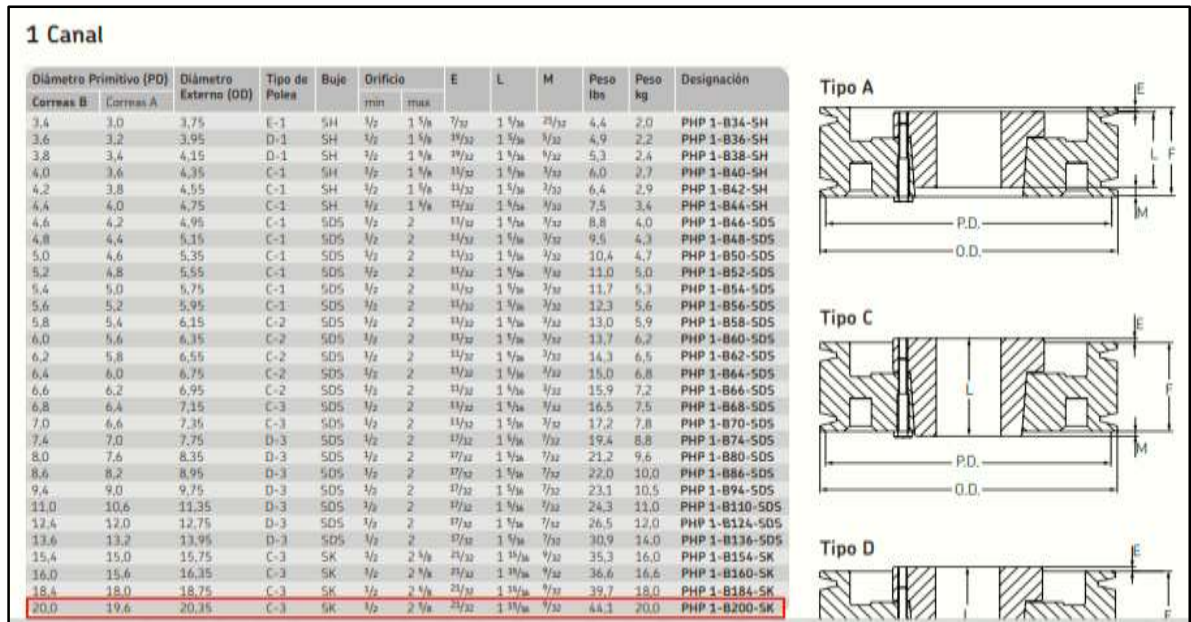


Figura 5-4: Selección de polea del rodillo trillador lado derecho
Fuente: Catálogo de poleas SKF

El diámetro de la polea es de 22,5cm. Seleccionamos la polea que más se aproxime, por lo tanto según el catálogo se escoge la polea de serie, **PHP 1-B200-SK**.

- **Selección de chumaceras:** El diámetro del eje es 1 1/4", son necesarias dos soportes de pared con rodamientos Y, bajo los siguientes parámetros; **Designación: FY 1.1/4 TM; Rodamiento: YAR 207.104**



Figura 6-4: Selección de soportes de pared
Fuente: Catálogo de chumaceras SKF

- **Relación de transmisión:** Se calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{n_2}{n_1} \quad (26)$$

$$i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{22,5cm}{10cm} = 2,25$$

D_p : Diámetro primitivo de la polea conducida

d_p : Diámetro primitivo de la polea motriz

n_1 : Velocidad angular de la polea conducida

n_2 : Velocidad angular de la polea motriz

Una vez calculada la relación de transmisión se puede encontrar el número de revoluciones por minuto a las que gira el rodillo trillador como se detalla a continuación.

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

$$n_1 = n_2/i$$

$$n_1 = \frac{3600rpm}{2,25} = 1600rpm$$

$$n_1 \cong 1600rpm$$

- **Distancia entre ejes:** Para una relación de transmisión entre 1 a 3 la distancia entre ejes debe ser:

$$C \geq \frac{(i+1)d_p}{2} + d_p \quad (27)$$

$$C \geq \frac{(2,25 + 1)(10cm)}{2} + 10cm$$

$$C \geq 26,25 cm$$

La distancia entre ejes debe ser mayor a 26,25cm, la distancia entre ejes real es $C = 80,3 cm$, por tanto cumple con la condición.

- **Longitud de la correa:** Se calcula con la siguiente ecuación:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \quad (28)$$

$$L = 2(80,3cm) + \frac{\pi}{2}(22,5cm + 10cm) + \frac{(22,5cm - 10cm)^2}{4(80,3cm)}$$

$$L = 212,14 \text{ cm}$$

$$L \cong 2\,121,4 \text{ mm}$$

Una vez calculada la longitud L de la correa, se selecciona Ln (longitud normalizada) de la siguiente tabla.

Tabla N° 6						
Longitud primitiva nominal						
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
74	-	1913	1924	1953	-	-
75	-	1937	1947	1979	-	-
76	-	1963	1973	1989	-	-
77	-	1989	1999	2015	-	-
78	-	2013	2024	2042	-	-
79	-	2033	2043	2068	-	-
80	-	2065	2075	2094	-	-
81	-	2093	2103	2119	-	-
82	-	2116	2126	2145	-	-
83	-	2133	2151	2170	-	-
84	-	2167	2177	2196	-	-

Figura 7-4: Longitud primitiva de la correa

Fuente: Catálogo de selección de bandas Dunlop

$$L_n = 2\,103mm$$

La longitud normalizada es igual a 2 103 mm y el número de correa B 81. Posteriormente se debe recalcular definitivamente la distancia entre centros de poleas con la siguiente fórmula:

$$C_c = C \pm \left| \frac{L - L_n}{2} \right| \quad (29)$$

Signo (+) cuando $L < L_n$

Signo (-) cuando $L > L_n$

Cumple con la primera condición por tanto

$$C_c = C + \left| \frac{L - L_n}{2} \right|$$

$$C_c = 803 + \left| \frac{2\,121,11 - 2\,103}{2} \right|$$

$$C_c = 793,94 \text{ mm}$$

$$C_c = 79,39 \text{ cm}$$

La distancia entre centros definitiva es 79,39cm, seleccionamos la **Correa B N° 81** con una longitud primitiva de **2 103mm**.

- **Arco de contacto menor:** Para una transmisión con correa abierta se determina con:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57 \left(\frac{D_p - d_p}{C_c} \right) \quad (30)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57 \left(\frac{22,5\text{cm} - 10\text{cm}}{79,39\text{cm}} \right)$$

$$\alpha_1 = 170,97^\circ < 180^\circ$$

Por lo tanto cumple con la condición.

- **Potencia que transmite una correa (P₁) y el factor de corrección C₂:** Conociendo la velocidad del eje rápido $n_2 = 3\,600 \text{ rpm}$. El factor de corrección se calcula con la longitud de la correa normalizada $L_n = 2\,103 \text{ mm}$, según el catálogo Dunlop la **Correa es tipo B N°81**.

Tabla N° 4		Sección de la correa				
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-
80	-	1.04	0.98	0.89	-	-
81	-	1.04	0.98	0.89	-	-
85	-	1.05	0.99	0.90	-	-
90	-	1.06	1.00	0.91	-	-

Figura 8-4: Factor de corrección C2

Fuente: Catálogo de selección de bandas Dunlop

El factor de corrección es $C_2 = 0,98$ se calcula la potencia que transmite la correa con la siguiente ecuación:

$$P_1 = FC \times P_d \quad (31)$$

$$P_1 = 0,98 \times (26Hp)$$

$$P_1 = 25,48Hp$$

P_1 : Potencia que transmite la correa

- **Cálculo de la cantidad de correas necesarias:** El último factor de corrección C3 considera el arco de contacto entre la correa y las poleas que en definitiva limita la capacidad de transmisión ya que este es un sistema que trabaja por roce. Factor de corrección para el número de correas.

Para un ángulo de $170,97^\circ$ el valor del factor de corrección es el siguiente:

Tabla N° 5		Factor de corrección	
Árcos de contacto sobre poleas menor	Poleas arrolladas	Poleas acortadas/plana	
180°	1.00	0.75	
175°	0.99	0.76	
170°	0.98	0.77	
167°	0.97	0.78	
164°	0.96	0.79	
160°	0.95	0.80	
157°	0.94	0.81	
154°	0.93	0.81	

Figura 9-4: Factor de corrección C3
Fuente: Catálogo de selección de bandas Dunlop

El factor de corrección $C_3 = 0,98$

El número de correas necesarias se calcula con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{P_d}{C_2 C_3 P_1} \quad (32)$$

$$Z = \frac{26Hp}{(0,98)(0,98)(25,48Hp)}$$

$$Z = 1,06 \cong 1 \text{ correa}$$

El número de correas necesarias es 1 correa.

- **Velocidad tangencial de la banda:** Se calcula con la siguiente ecuación.

$$v = \frac{n_1 \times \pi \times d_p}{60000} \quad (33)$$

La velocidad en la polea conductora es igual a:

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

$$v = \frac{3\,600 \times \pi \times 100}{60000}$$

$$v = 18,85 \frac{m}{s}$$

- **Verificación de los ciclos de flexión por segundo y duración:** La experiencia ha confirmado que las flexiones sufridas por la correa al doblarse sobre las poleas pueden tener una influencia significativa en el calentamiento de la correa y también en la vida útil. Por lo tanto es aconsejable que las correas no superen ciertos valores admisibles de flexiones por segundo.

$$i_f = 1\,000 * n_p * \frac{v}{L_n} \quad (34)$$

Siendo:

i_f : Flexiones por segundo de un segmento de correa (seg^{-1}).

n_p : Cantidad de poleas en contacto con la correa.

v : Velocidad tangencial de la correa (m/s).

L_n : Longitud normalizada de la correa (mm).

Donde:

$$[i_f] = 30seg^{-1} \text{ perfil normal}$$

$$[i_f] = 60seg^{-1} \text{ perfil estrecho}$$

$$[i_f] = 100seg^{-1} \text{ perfil estrecho de flancos abiertos}$$

$$i_f = 1\,000 * 2 * \frac{18,85m/s}{2\,103mm}$$

$$i_f = 17,92seg^{-1}$$

Como $17,92\text{seg}^{-1} < 30\text{seg}^{-1}$, se concluye que la correa es de perfil normal y es adecuada para que no se recaliente.

- **Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje:** El cálculo de B se realiza con la siguiente ecuación:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 2B \quad (35)$$

$$B = \frac{180^\circ - \alpha_1}{2}$$

$$B = \frac{180^\circ - 170,97^\circ}{2}$$

$$B = 4,52^\circ$$

La relación de tensiones para bandas trapezoidales está dada por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{T_1 - T_c}{T_2 - T_c} = e^{\frac{f \times \theta}{\sin(\frac{\alpha}{2})}} \quad (36)$$

Donde $T_c = \rho v^2$, el valor de ρ para una correa de sección B es $\rho = 0,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$, cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla.

Perfil de la correa	ρ [kg/m]
SPZ	0.07
SPA	0.12
SPB	0.19
SPC	0.36
A	0.11
B	0.20
C	0.33
D	0.68

Figura 10-4: Constante para encontrar la fuerza centrífuga
Fuente: (Joseph Edward Shigley, 1995)

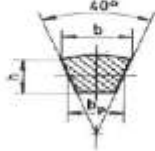
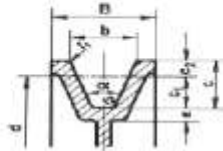
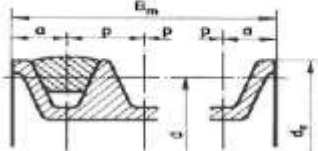
La velocidad tangencial es $v = 18,85 \frac{m}{s}$, con los datos calculados se halla el valor de T_c : fuerza centrífuga.

$$T_c = \rho v^2 \quad (37)$$

$$T_c = 0,20Kg/m(18,85m/s)^2$$

$$T_c = 71,06N$$

Además para el cálculo de la relación de tensiones se requieren los siguientes datos.

Órganos de tracción y de sustentación		POLEAS ACANALADAS PARA CORREAS TRAPECIALES										TABLA 12 . 9	
													
Correa		Polea de una garganta					Polea de varios gargantas						
TIPO DE CORREA	γ	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC		
Ancho de referencia	b	5,3	8,5	11	14	19	27	32	8,5	11	14	19	
Altura mínima	c_1	1,6	2	2,75	3,5	4,8	8,1	9,5	2	2,75	3,5	4,6	
Fondo mínimo	c_2	4,7	7	8,7	10,8	14,3	19,9	23,4	9	11	14	19	
Radio	r_1	0,5	0,5	1	1	1,5	2	2	0,5	1	1	1,5	
Radio	r_2	1	1	1	1,5	2	3	4	1	1	1,5	2	
Espesor	e	5	5	6	8	9	10	14	5	6	8	9	
Paso	p	8	12	15	19	25,5	37	44,5	12	15	19	25,5	
Tolerancia	t_p	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	
Distancia al borde,	a	7	8	10	12,5	17	24	29	8	10	12,5	17	
Tolerancia	t_a	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$+2 -1$	$+2 -1$	$+2 -1$	$+2 -1$	$+2 -1$	± 1	$+2 -1$	$+2 -1$	$+3 -1$	
Diámetro para 32°,	d	≤ 60											
Diámetro para 34°,	d		≤ 80	≤ 118	≤ 190	≤ 315			≤ 80	≤ 118	≤ 190	≤ 315	
Diámetro para 35°,	d	> 60					≤ 475	≤ 600					
Diámetro para 38°,	d		> 80	> 118	> 190	> 315	> 475	> 600	> 80	> 118	> 190	> 315	
Diámetro mínimo,	d_{m1}	20	50	75	125	200	355	500	63	90	140	224	

Dimensiones en milímetros.

Figura 11-4: Ángulos para relación de tensiones

Fuente: (Larburu, 2001)

Tabla 1-4: Datos de coeficientes y ángulos para encontrar las tensiones.

$\theta = \alpha_1(\text{rad})$	$170,97^\circ = 2,98 \text{ rad}$
f : coeficiente de rozamiento	0,35
α : ángulo de la garganta de la correa	34°

Fuente: Autores

Con los datos detallados se obtiene:

$$\frac{T_1 - 71,06}{T_2 - 71,06} = e^{\frac{0,35 \times 2,98}{\sin(\frac{34}{2})}} \quad (38)$$

$$\frac{T_1 - 71,06}{T_2 - 71,06} = 35,59$$

$$T_1 - 71,06 = 35,59T_2 - 2529,03$$

$$T_1 = 35,59T_2 - 2457,97$$

De la fórmula de la potencia:

$$P = (T_1 - T_2)V \quad (39)$$

Donde la potencia (20 HP = 14914Watts) y la velocidad tangencial $v = 18,85 \frac{m}{s}$

$$14914 = (T_1 - T_2)18,85$$

$$791,19 = (35,59T_2 - 2457,97 - T_2)$$

$$791,19 = 34,59T_2 - 2457,97$$

$$3249,16 = 34,59T_2$$

$$T_2 = 93,93N \text{ (Fuerza en el lado flojo)}$$

El valor calculado se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$T_1 = 35,59T_2 - 2457,97$$

$$T_1 = 35,59(93,93) - 2457,97$$

$$T_1 = 884,99 N \text{ (Fuerza en el lado tirante)}$$

La tensión resultante sobre el eje es igual a:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} \quad (40)$$

$$T_y = (T_1 + T_2) \cos B$$

$$T_y = (884,99 + 93,93) \cos 4,52^\circ$$

$$T_y = -191,92 \text{ N}$$

$$T_x = (T_1 - T_2) \sin B$$

$$T_x = (884,99 - 93,93) \sin 4,52^\circ$$

$$T_x = -775,70 \text{ N}$$

$$T = \sqrt{(-775,70)^2 + (-191,92)^2}$$

$$T = 799,09 \text{ N}$$

Torque

$$M = (T_1 - T_2) * \frac{D_p}{2} \quad (41)$$

$$M = (791,06) * \left(\frac{0,225}{2}\right)$$

$$M = 88,99 \text{ Nm}$$

- **Durabilidad de la banda**

$$H = 1477 \frac{L^{1,25}}{v} \left(\frac{T_F^m}{T_1^m + T_2^m} \right) (\text{horas}) \quad (42)$$

Donde:

$$T_F: \text{ Fuerza limite por fatiga (N)} \quad T_F = 727 \text{ N}$$

$$T_1, T_2: \text{ Fuerzas en la correa (N)} \quad T_1 = 884,99 \text{ N} \quad T_2 = 93,93 \text{ N}$$

V= velocidad tangencial (m/s) V=18,85m/s

m: Exponente de la curva de fatiga.

m = 56 Correas planas

m = 611 Correas trapeciales

$$H = 1477 \frac{2103^{1,25}}{18,85} \left(\frac{727^{11}}{884,99^{11} + 93,93^{11}} \right) (\text{horas})$$

$$H = 22\,878,86 \text{ horas}$$

La máquina es ocupada desde junio hasta septiembre en los procesos de trillado de quinua, cebada, avena y trigo; por condiciones de seguridad se tomará en cuenta que trabaja todo el año, es decir se labora 8 horas diarias, 30 días al mes. En el año se trabajaría 2880 horas.

La banda tiene una durabilidad de 22 878,86 horas, dividimos para el número de horas que trabaja la trilladora anualmente 2880 horas, se obtiene que la banda tendrá 7,94 años de tiempo de vida útil, bajo las condiciones antes descritas.

4.1.2 Transmisión de movimiento del rodillo trillador a la zaranda.

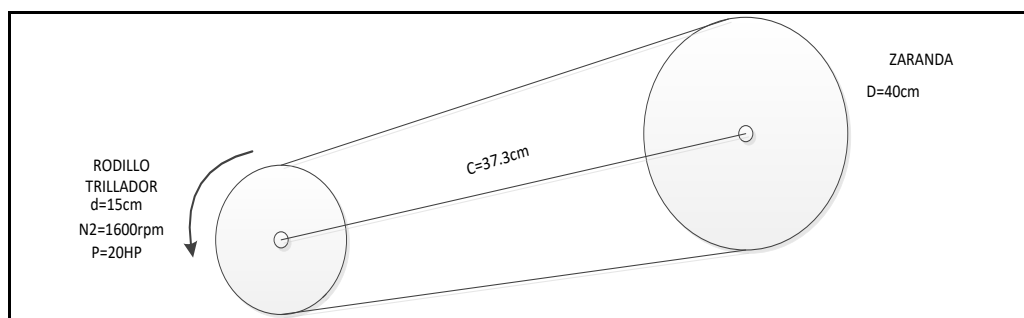


Figura 12-4: Transmisión de movimiento del rodillo trillador a la zaranda

Fuente: Autores

- **Potencia de diseño y rpm:** la polea de d=15cm de la máquina trilladora tiene una potencia de 20 HP y velocidad angular 1 600rpm.

$$P_D = P * C_1$$

$P = 20HP$

P: potencia del motor de combustión

C1: Factor de servicio (**Anexo B**)

$$P_D = 20 * 1,3$$

$$P_D = 26HP$$

- **Sección de la correa:** Con los datos de la potencia y las revoluciones por minuto a las que trabaja el motor se selecciona la sección de la correa con la siguiente gráfica.

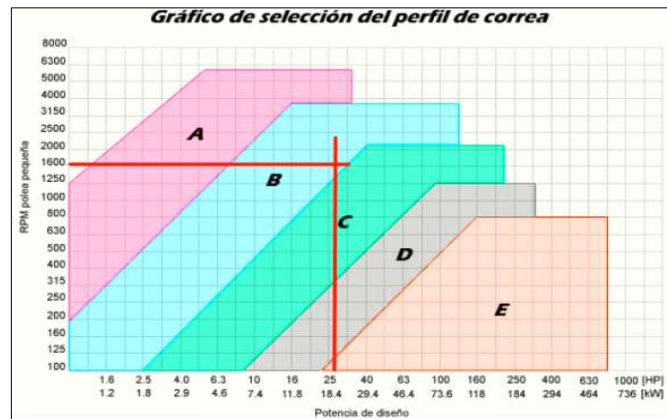


Gráfico 2-4: Selección de perfil de correa
Fuente: (Faires, 2011)

La sección B corresponde a una potencia de 26 HP y 1600 rpm.

- **Polea motriz:** El diámetro de la polea motriz es de $d_p = 15$ cm.
- **Polea conducida:** El diámetro de la polea conducida es de $D_p = 40$ cm.
- **Selección de poleas:** La banda del rodillo trillador es de perfil B, la polea al lado izquierdo de la máquina tiene un diámetro $d=15$ cm, con este dato acudimos al catálogo de poleas SKF página 10, para seleccionar la serie de polea del rodillo trillador, cabe recordar que la polea tiene 2 canales.

2 Canales

Diámetro Primitivo (PD)		Diámetro Externo (OD)	Tipo de Polea	Buje	Orificio		E	L	M	Peso lbs	Peso kg	Designación
Correas B	Correas A				min	max						
3,4	3,0	3,75	E-1	SH	3/2	1 1/8	1 1/22	1 1/26	21/32	7,1	3,2	PHP 2-B34-SH
3,6	3,2	3,95	D-1	SH	3/2	1 1/8	21/32	1 1/26	21/32	7,5	3,4	PHP 2-B36-SH
3,8	3,4	4,15	D-1	SH	3/2	1 1/8	21/32	1 1/26	21/32	8,6	3,9	PHP 2-B38-SH
4,0	3,6	4,35	A-1	SH	3/2	1 1/8	3/32	1 1/26	21/32	9,0	4,1	PHP 2-B40-SH
4,2	3,8	4,55	A-1	SH	3/2	1 1/8	3/32	1 1/26	21/32	9,7	4,4	PHP 2-B42-SH
4,4	4,0	4,75	A-1	SH	3/2	1 1/8	3/32	1 1/26	21/32	10,1	4,6	PHP 2-B44-SH
4,6	4,2	4,95	A-1	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	11,0	5,0	PHP 2-B46-SDS
4,8	4,4	5,15	A-1	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	11,9	5,4	PHP 2-B48-SDS
5,0	4,6	5,35	A-1	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	13,2	6,0	PHP 2-B50-SDS
5,2	4,8	5,55	A-1	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	13,9	6,3	PHP 2-B52-SDS
5,4	5,0	5,75	A-1	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	14,6	6,6	PHP 2-B54-SDS
5,6	5,2	5,95	A-2	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	15,2	6,9	PHP 2-B56-SDS
5,8	5,4	6,15	A-2	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	15,9	7,2	PHP 2-B58-SDS
6,0	5,6	6,35	A-2	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	16,5	7,5	PHP 2-B60-SDS
6,2	5,8	6,55	A-2	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	17,2	7,8	PHP 2-B62-SDS
6,4	6,0	6,75	A-2	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	18,1	8,2	PHP 2-B64-SDS
6,6	6,2	6,95	A-2	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	19,0	8,6	PHP 2-B66-SDS
6,8	6,4	7,15	A-3	SDS	3/2	2	3/32	1 1/26	21/32	19,8	9,0	PHP 2-B68-SDS
7,0	6,6	7,35	D-1	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	20,5	9,3	PHP 2-B70-SK
7,4	7,0	7,75	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	23,4	10,6	PHP 2-B74-SK
8,0	7,6	8,35	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	24,3	11,0	PHP 2-B80-SK
8,6	8,2	8,95	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	25,6	11,6	PHP 2-B86-SK
9,4	9,0	9,75	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	28,7	13,0	PHP 2-B94-SK
11,0	10,6	11,35	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	30,9	14,0	PHP 2-B110-SK
12,4	12,0	12,75	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	39,7	18,0	PHP 2-B124-SK
13,6	13,2	13,95	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	44,1	20,0	PHP 2-B136-SK
15,4	15,0	15,75	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	50,7	23,0	PHP 2-B154-SK
16,0	15,6	16,35	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	52,9	24,0	PHP 2-B160-SK
18,4	18,0	18,75	D-3	SK	3/2	2 1/8	21/32	1 1/26	1/32	63,9	29,0	PHP 2-B184-SK
20,0	19,6	20,35	D-3	SF	3/2	2 1/8	21/32	2 1/26	1/32	72,8	33,0	PHP 2-B200-SF
25,0	24,6	25,35	D-3	SF	3/2	2 1/8	21/32	2 1/26	1/32	90,4	41,0	PHP 2-B250-SF
30,0	29,6	30,35	D-3	SF	3/2	2 1/8	21/32	2 1/26	1/32	112,4	51,0	PHP 2-B300-SF
38,0	37,6	38,35	D-3	SF	3/2	2 1/8	21/32	2 1/26	1/32	141,1	64,0	PHP 2-B380-SF

Figura 13-4: Selección de polea Rodillo trillador – Zaranda del catálogo SKF

Fuente: Catálogo de poleas SKF

La polea del rodillo trillador del lado izquierdo es de $d=15\text{cm}$, por tanto tiene una serie, **PHP 2-B154-5K**.

La banda rodillo trillador hacia la zaranda es de perfil B, la polea de la zaranda tiene un diámetro $d=40\text{cm}$, este diámetro de polea no se encuentra en el catálogo SKF, debido a este inconveniente es necesario construir una polea con ese diámetro y que sea de aluminio.

- **Relación de transmisión:** Se calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{40}{15} = 2,67$$

Una vez calculada la relación de transmisión se puede determinar el número de revoluciones por minuto a las que gira el eje de la zaranda como se detalla a continuación.

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

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

$$n_1 = \frac{1600rpm}{2,67}$$

$$n_1 = 600 rpm$$

- **Distancia entre ejes:** Para una relación de transmisión de 1 a 3, la distancia entre ejes debe ser:

$$C \geq \frac{(i + 1)d_p}{2} + d_p$$

$$C \geq \frac{(2,67+1)(15cm)}{2} + 15cm$$

$$C \geq 42,53 cm$$

La distancia entre ejes real es $C = 37,3 cm$. No cumple con la condición.

- **Longitud de la correa:** Se calcula con la siguiente ecuación:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$

$$L = 2(37.3) + \frac{\pi}{2}(40 + 15) + \frac{(40 - 15)^2}{4(37.3)}$$

$$L = 165,139 cm$$

$$L = 1 651,39 mm$$

Una vez encontrada la longitud L de la correa, se selecciona Ln (longitud normalizada) de la siguiente tabla.

Tabla N° 6		Longitud primitiva nominal				
Correa (n)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
50	1295	1306	1318	1344	-	-
51	1320	1330	1328	1357	-	-
52	1346	1354	1367	1394	-	-
53	1371	1381	1392	1429	-	-
54	1397	1405	1410	1442	-	-
55	1422	1429	1443	1460	-	-
56	1447	1459	1460	1497	-	-
57	1473	1492	1491	1527	-	-
58	1498	1507	1512	1550	-	-
59	1524	1532	1541	1576	-	-
60	1549	1556	1556	1598	-	-
61	-	1584	1601	1623	-	-
62	-	1605	1626	1648	-	-
63	-	1633	1641	1674	-	-
64	-	1658	1674	1699	-	-
65	-	1683	1695	1725	-	-
66	-	1714	1724	1745	-	-
67	-	1742	1743	1775	-	-
68	-	1767	1770	1788	-	-
69	-	1785	1794	1826	-	-
70	-	1813	1816	1847	-	-

Figura 14-4: Longitud primitiva nominal

Fuente: Catálogo de bandas de transmisión Dunlop

La longitud normalizada es igual a **1641 mm** y el tipo de correa **B63**. Posteriormente se debe recalcular definitivamente la distancia entre centros de poleas con la siguiente fórmula:

$$C_c = C \pm \left| \frac{L - L_n}{2} \right|$$

Signo (+) cuando $L < L_n$

Signo (-) cuando $L > L_n$

$$C_c = 373 - \left| \frac{1651,39mm - 1641mm}{2} \right|$$

$$C_c = 371,3mm$$

$$C_c = 37,13 cm$$

- **Arco de contacto menor:** Para una transmisión con correa abierta se determina con:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57 \left(\frac{D_p - d_p}{C_c} \right)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57 \left(\frac{40cm - 15cm}{37,13cm} \right)$$

$$\alpha_1 = 140,65^\circ < 180^\circ$$

α_1 Cumple con la condición de ser inferior a 180° .

- **Potencia que transmite una correa (P_1) y el factor de corrección C_2 :** Conociendo la velocidad del eje rápido $n_2 = 1\ 600rpm$.

El factor de corrección se determina con la longitud de correa normalizada $L_n = 1\ 641\ mm$ se obtiene un factor de corrección C_2 mediante la siguiente tabla.

Longitud correa	Z	A	B	C
51	0.99	0.94	0.89	0.80
55	1.00	0.96	0.90	0.81
60	*	0.98	0.92	0.82
68	*	1.00	0.95	0.85
75	*	1.02	0.97	0.87

Figura 15-4: Factor de corrección C_2 en base a la longitud de la correa
Fuente: Catálogo de bandas de transmisión Dunlop

Tabla 2-4: Iteración

Longitud correa (mm)	Factor de corrección
$X_0=60$	$Y_0=0.92$
$X=62$	$Y=?$
$X_1=68$	$Y_1=0.95$

Fuente: Autores

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

$$y = 0,92 + \frac{0,95 - 0,92}{68 - 60}(63 - 60)$$

$$y = C_2 = 0,93$$

Una vez calculado el factor de corrección $C_2 = 0,93$ se calcula la potencia que transmite la correa con la siguiente ecuación:

$$P_1 = FC \times P_d$$

$$P_1 = 0,93 \times (26Hp)$$

$$P_1 = 24,18 \text{ Hp}$$

P_1 : Potencia que transmite la correa

- **Cálculo de la cantidad de correas necesarias:** El último factor de corrección C_3 considera el arco de contacto entre la correa y las poleas que en definitiva limita la capacidad de transmisión ya que este es un sistema que trabaja por roce.

Tabla N° 5	Factor de corrección	
	Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82
147°	0.91	0.83
144°	0.90	0.83
140°	0.89	0.84

Figura 16-4: Factor de corrección C_3 en base al ángulo de contacto de la polea con la correa
Fuente: Catálogo de bandas de transmisión Dunlop

Para un ángulo de $140,65^\circ$ el factor de corrección $C_3 = 0,89$

El número de correas necesarias se calcula con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{P_d}{C_2 C_3 P_1}$$

$$Z = \frac{26 \text{ Hp}}{(0,93)(0,89)(24,18 \text{ Hp})}$$

$$Z = 1,3 \cong 1$$

El número de correas necesarias es: 1 correa.

- **Velocidad tangencial de la banda:**

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

$$v = \frac{1\,600\text{rpm} \times \pi \times 150\text{mm}}{60\,000}$$

$$v = 12,57 \frac{m}{s}$$

- **Verificación de los ciclos de flexión por segundo y duración**

La experiencia ha confirmado que las flexiones sufridas por la correa al doblarse sobre las poleas pueden tener una influencia significativa en el calentamiento de la correa y por ende en la vida útil. Es aconsejable que las correas no superen ciertos valores admisibles de flexiones por segundo.

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{L_n}$$

Siendo:

i_f : Flexiones por segundo de un segmento de correa (seg^{-1}).

n_p : Cantidad de poleas en contacto con la correa.

v : Velocidad de la correa (m/s).

L_n : Longitud normalizada de la correa (mm).

Donde:

$[i_f] = 30seg^{-1}$ perfil normal

$[i_f] = 60seg^{-1}$ perfil estrecho

$[i_f] = 100\text{seg}^{-1}$ perfil estrecho de flancos abiertos

$$i_f = 1\,000 * 2 * \frac{12,57\text{m/s}}{1\,641\text{mm}}$$

$$i_f = 15,31\text{seg}^{-1}$$

Como $15,31\text{seg}^{-1} < 30\text{seg}^{-1}$, por tanto la correa es de perfil normal, es adecuada para que no se recaliente.

- **Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje:**

El cálculo de B se realiza con la siguiente ecuación:

$$\alpha_1 = 180 - 2B$$

$$B = \frac{180^\circ - \alpha_1}{2}$$

$$B = \frac{180^\circ - 140,26}{2}$$

$$B = 19,86^\circ$$

La relación de tensiones para bandas trapezoidales está dada por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{T_1 - T_c}{T_2 - T_c} = e^{\frac{f \times \theta}{\sin(\frac{\alpha}{2})}}$$

Donde $T_c = \rho v^2$, el valor de ρ para una correa de sección B es $\rho = 0,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$, cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla.

Perfil de la correa	Coeficientes			
	ρ [kg/m]	C_B	C_A	T_F [N]
		Flexión normal	Flexión inversa	
SPZ	0.07	563	732	474
SPA	0.12	2105	4320	858
SPB	0.19	4659	8926	1242
SPC	0.36	6304	12077	1680
A	0.11	399	479	418
B	0.20	1701	1943	727
C	0.33	5069	8926	1288
D	0.68	21561	25873	2664

Figura 17-4: Coeficientes para determinar Fuerza centrífuga
Fuente: (Joseph Edward Shigley, 1995)

El valor de v corresponde a la velocidad tangencial $v = 12,57 \frac{m}{s}$, con los datos calculados se halla el valor de T_c .

$$T_c = \rho v^2$$

$$T_c = 0,20Kg/m(12,57m/s)^2$$

$$T_c = 31,58N$$

Además para el cálculo de la relación de tensiones se requieren los siguientes datos:

Tabla 3-4: Datos para el cálculo de relación de tensiones

$\theta = \alpha_1(\text{rad})$	$140,26^\circ = 2,45 \text{ rad}$
f : coeficiente de rozamiento	0,35
α : ángulo de la garganta de la correa	34°

Fuente: Autores

Con los datos detallados se obtiene:

$$\frac{T_1 - 31,58}{T_2 - 31,58} = e^{\frac{0,35 \times 2,44}{\sin(\frac{34}{2})}}$$

$$\frac{T_1 - 31,58}{T_2 - 31,58} = 18,74$$

$$T_1 - 31,58 = -591,81 + 18,74T_2$$

$$T_1 = 18,74T_2 - 560,23$$

De la fórmula de la potencia:

$$P = (T_1 - T_2)V$$

Donde la potencia está en Watts (20HP = Watts) y la velocidad tangencial es $v = 12,57 \frac{m}{s}$

$$14\,914 = (T_1 - T_2)(12,57)$$

$$1\,186,48 = (T_1 - T_2)$$

$$1\,186,48 = 18,74T_2 - 560,23 - T_2$$

$$1\,746,71 = 17,47T_2$$

$$T_2 = 99,98N$$

El valor calculado se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$T_1 = 18,74(99,98) - 560,23$$

$$T_1 = 1\,313,39N$$

La tensión resultante sobre el eje es igual a:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}$$

$$T_y = (T_1 + T_2) \cos B$$

$$T_y = (1\,313,39 + 99,98) \cos 19,87^\circ$$

$$T_y = 741,61 N$$

$$T_x = (T_1 - T_2) \sin B$$

$$T_x = (1\,313,39 - 99,98) \sin 19,87^\circ$$

$$T_x = 1\,032,96 \text{ N}$$

$$T = \sqrt{(1\,032,96)^2 + (741,61)^2}$$

$$T = 1\,271,60 \text{ N}$$

Torque

$$M = (T_1 - T_2) * \frac{d_p}{2}$$

$$M = (1\,213,41) * \left(\frac{0,15}{2}\right)$$

$$M = 91 \text{ Nm}$$

- **Durabilidad de la banda**

$$H = 1477 \frac{L^{1,25}}{v} \left(\frac{T_F^m}{T_1^m + T_2^m} \right) (\text{horas})$$

Donde:

T_F : Fuerza limite por fatiga (N) $T_F = 727 \text{ N}$

T_1, T_2 : Fuerzas en la correa (N) $T_1 = 1313,39 \text{ N}$ $T_2 = 99,98 \text{ N}$

V = velocidad tangencial (m/s) $V = 12,57 \text{ m/s}$

m : Exponente de la curva de fatiga.

$m = 5 \dots 6$ Correas planas

$m = 6 \dots 11$ Correas trapeciales

$$H = 1477 \frac{2329^{1,25}}{12,57} \left(\frac{727^7}{1313,39^7 + 99,98^7} \right) (\text{horas})$$

$$H = 19\,545,25 \text{ horas}$$

La banda tiene una durabilidad de 19 545,25 horas, dividimos para el número de horas que trabaja la trilladora anualmente 2880 horas, se obtiene que la banda tendrá 6,79 años de tiempo de vida útil, bajo las condiciones antes descritas.

4.1.3 Transmisión de movimiento del rodillo trillador al ventilador.

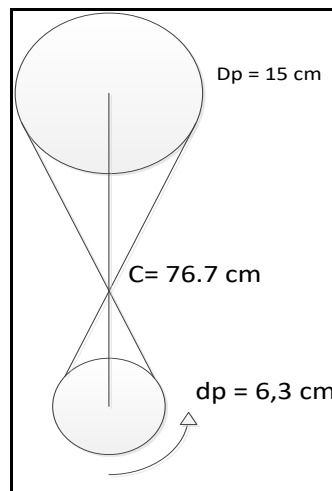


Figura 18-4: Transmisión del rodillo trillador al ventilador
Fuente: Autores

- **Potencia de diseño y rpm:** la polea con $d=15\text{cm}$ del eje del rodillo trillador, tiene una potencia de 20 HP y velocidad angular 1 600rpm.

$$P_D = P * C_1$$

$$P = 20\text{Hp}$$

P: potencia del motor de combustión

C1: Factor de servicio (**Anexo B**)

$$P_D = 20\text{Hp} * 1,3$$

$$P_D = 26\text{HP}$$

- **Selección del perfil de correa:** Con los datos de la potencia y las revoluciones por minuto a las que trabaja el motor se selecciona el perfil de la correa en base a la siguiente tabla.

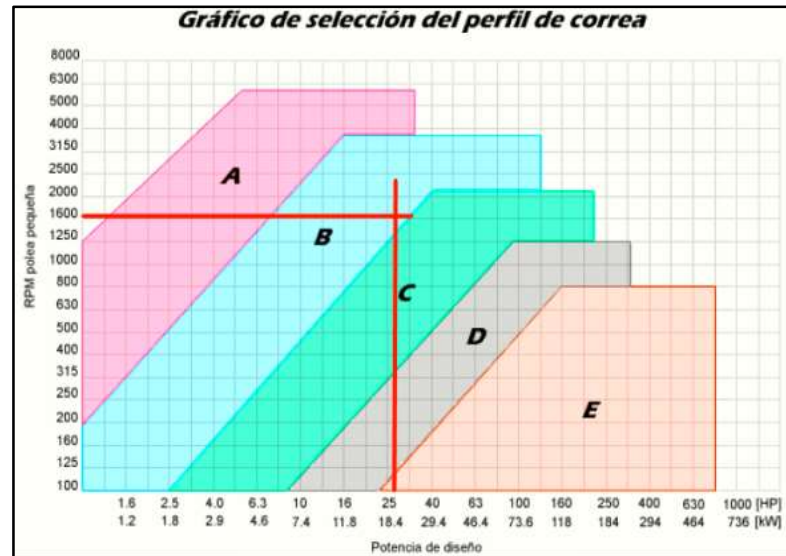


Gráfico 3-4: Selección de perfil de correa

Fuente: (Faires, 2011)

En función a las características antes mencionadas, potencia de diseño 26 HP y 1 600 rpm del eje, se determina que el **tipo de perfil de la correa es B.**

- **Polea motriz:** El diámetro de la polea motriz es de $d_p = 15$ cm.
- **Polea conducida:** El diámetro de la polea conducida es de $D_p = 6,3$ cm.
- **Selección de polea:** La correa del sistema rodillo trillador – ventilador es de perfil B, la polea del rodillo trillador ya la seleccionamos anteriormente, por lo tanto falta encontrar la serie de polea del ventilador según el catálogo SKF.



Poleas trapeciales clásicas QD



Perfil A/B

1 Canal

Diámetro Primitivo (PD)		Diámetro Externo (OD)	Tipo de Polea	Buje	Orificio		E	L	M	Peso lbs	Peso kg	Designación
Correas B	Correas A				min	max						
3,4	3,0	3,75	E-1	SH	1/2	1 5/8	7/32	1 5/16	21/32	4,4	2,0	PHP 1-B34-SH
3,6	3,2	3,95	D-1	SH	1/2	1 5/8	21/32	1 5/16	5/32	4,9	2,2	PHP 1-B36-SH
3,8	3,4	4,15	D-1	SH	1/2	1 5/8	21/32	1 5/16	5/32	5,3	2,4	PHP 1-B38-SH
4,0	3,6	4,35	C-1	SH	1/2	1 5/8	21/32	1 5/16	7/32	6,0	2,7	PHP 1-B40-SH
4,2	3,8	4,55	C-1	SH	1/2	1 5/8	21/32	1 5/16	7/32	6,4	2,9	PHP 1-B42-SH
4,4	4,0	4,75	C-1	SH	1/2	1 5/8	21/32	1 5/16	7/32	7,5	3,4	PHP 1-B44-SH
4,6	4,2	4,95	C-1	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	8,8	4,0	PHP 1-B46-SDS
4,8	4,4	5,15	C-1	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	9,5	4,3	PHP 1-B48-SDS
5,0	4,6	5,35	C-1	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	10,4	4,7	PHP 1-B50-SDS
5,2	4,8	5,55	C-1	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	11,0	5,0	PHP 1-B52-SDS
5,4	5,0	5,75	C-1	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	11,7	5,3	PHP 1-B54-SDS
5,6	5,2	5,95	C-1	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	12,3	5,6	PHP 1-B56-SDS
5,8	5,4	6,15	C-2	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	13,0	5,9	PHP 1-B58-SDS
6,0	5,6	6,35	C-2	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	13,7	6,2	PHP 1-B60-SDS
6,2	5,8	6,55	C-2	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	14,3	6,5	PHP 1-B62-SDS
6,4	6,0	6,75	C-2	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	15,0	6,8	PHP 1-B64-SDS
6,6	6,2	6,95	C-2	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	15,9	7,2	PHP 1-B66-SDS
6,8	6,4	7,15	C-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	16,5	7,5	PHP 1-B68-SDS
7,0	6,6	7,35	C-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	17,2	7,8	PHP 1-B70-SDS
7,4	7,0	7,75	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	19,4	8,8	PHP 1-B74-SDS
8,0	7,6	8,35	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	21,2	9,6	PHP 1-B80-SDS
8,6	8,2	8,95	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	22,0	10,0	PHP 1-B86-SDS
9,4	9,0	9,75	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	23,1	10,5	PHP 1-B94-SDS
11,0	10,6	11,25	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	24,3	11,0	PHP 1-B110-SDS
12,4	12,0	12,75	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	26,5	12,0	PHP 1-B124-SDS
13,6	13,2	13,95	D-3	SDS	1/2	2	21/32	1 5/16	7/32	30,9	14,0	PHP 1-B136-SDS
15,4	15,0	15,75	C-3	SK	1/2	2 5/8	21/32	1 11/16	7/32	35,3	16,0	PHP 1-B154-SK
16,0	15,6	16,35	C-3	SK	1/2	2 5/8	21/32	1 11/16	7/32	36,6	16,6	PHP 1-B160-SK
18,4	18,0	18,75	C-3	SK	1/2	2 5/8	21/32	1 11/16	7/32	39,7	18,0	PHP 1-B184-SK
20,0	19,6	20,35	C-3	SK	1/2	2 5/8	21/32	1 11/16	7/32	44,1	20,0	PHP 1-B200-SK

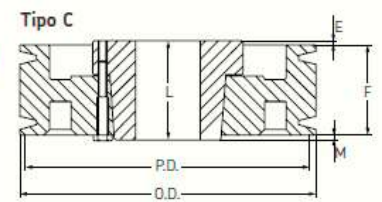
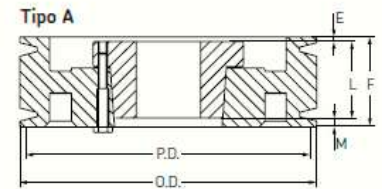


Figura 19-4: Selección de polea Rodillo trillador – Ventilador

Fuente: Catálogo de poleas SKF

La polea del ventilador es de $d=6,3\text{cm}$, por tanto tiene una serie, **PHP 1-B62-SDS**, según el catálogo SKF.

- **Selección de chumaceras**

El diámetro del eje es $1\text{ in }1/16''$, son necesarias dos soportes de pared con rodamientos Y, bajo los siguientes parámetros; **Designación: 5Y 1.1/16 TM; Rodamiento: YAR 206.101**



Figura 20-4: Selección de chumaceras para el eje del ventilador

Fuente: Catálogo de chumaceras SKF

- **Relación de transmisión:** Se calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{d_p}{D_p} = \frac{6,3}{15} = 0,42$$

Una vez calculada la relación de transmisión se puede calcular el número de revoluciones por minuto a las que gira el eje de la zaranda como se detalla a continuación.

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

$$n_2 = 1600/0,42$$

$$n_2 = 3\ 810\ rpm$$

- **Distancia entre ejes:** Para una relación de transmisión entre 1 a 3 la distancia entre ejes debe ser:

$$C \geq \frac{(i + 1)d_p}{2} + d_p$$

$$C \geq \frac{(0,42 + 1)(15\text{cm})}{2} + 15\text{cm}$$

$$C \geq 25,65 \text{ cm}$$

La distancia entre ejes es 76,7cm, por tanto cumple con la condición de que debe ser >25,65cm.

- **Longitud de la correa:** Para correa cruzada se calcula con la siguiente ecuación:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p + d_p)^2}{4C}$$

$$L = 2(76,7\text{cm}) + \frac{\pi}{2}(15\text{cm} + 6,3\text{cm}) + \frac{(6,3\text{cm} + 15\text{cm})^2}{4(76,7\text{cm})}$$

$$L = 188,32 \text{ cm}$$

$$L = 1883,20 \text{ mm}$$

Una vez calculada la longitud L de la correa, se selecciona Ln (longitud normalizada) de la siguiente tabla.

Tabla N° 6		Longitud primitiva nominal				
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
50	1295	1306	1318	1344	-	-
51	1320	1330	1328	1357	-	-
52	1346	1354	1367	1394	-	-
53	1371	1381	1392	1429	-	-
54	1397	1405	1410	1442	-	-
55	1422	1429	1443	1460	-	-
56	1447	1459	1460	1497	-	-
57	1473	1492	1491	1527	-	-
58	1498	1507	1512	1550	-	-
59	1524	1532	1541	1576	-	-
60	1549	1556	1556	1598	-	-
61	-	1584	1601	1623	-	-
62	-	1605	1626	1648	-	-
63	-	1633	1641	1674	-	-
64	-	1658	1674	1699	-	-
65	-	1683	1695	1725	-	-
66	-	1714	1724	1745	-	-
67	-	1742	1743	1775	-	-
68	-	1767	1770	1788	-	-
69	-	1785	1794	1826	-	-
70	-	1813	1818	1847	-	-
71	-	1841	1846	1877	-	-
72	-	1862	1878	1897	-	-
73	-	1887	1900	1928	-	-

Figura 21-4: Longitud primitiva nominal

Fuente: Catálogo de bandas de transmisión Dunlop

La longitud normalizada es igual a **1 846 mm** y el número de correa **B71**. Posteriormente se debe recalcular definitivamente la distancia entre centros de poleas con la siguiente fórmula:

$$C_c = C - \left| \frac{L - L_n}{2} \right|$$

$$C_c = 767 - \left| \frac{1\,883,20\text{mm} - 1\,846\text{mm}}{2} \right|$$

$$C_c = 748,40 \text{ mm}$$

$$C_c = 74,84 \text{ 1846cm}$$

- **Arco de contacto menor:** Para una transmisión con correa cruzada se determina con:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 2 \left(\frac{D_p + d_p}{C_c} \right)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 2 \left(\frac{6,3\text{cm} + 15\text{cm}}{74,84\text{cm}} \right)$$

$$\alpha_1 = 179,43^\circ$$

- **Potencia que transmite una correa (P₁) y el factor de corrección C₂:** Conociendo la velocidad del eje rápido $n_1 = 1\,600 \text{ rpm}$. El factor de corrección se determina con la longitud de correa normalizada $L_n = 1\,846 \text{ mm}$ se obtiene un factor de corrección C_2 mediante la siguiente tabla.

Tabla N° 4		Sección de la correa				
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-
80	-	1.04	0.98	0.89	-	-
81	-	1.04	0.98	0.89	-	-

Figura 22-4: Potencia que transmite una correa

Fuente: Catálogo de bandas de transmisión Dunlop

Una vez calculado el factor de corrección $C_2 = 0,95$ se calcula la potencia que transmite la correa con la siguiente ecuación:

$$P_1 = FC \times P_d$$

$$P_1 = 0,95 \times (26Hp)$$

$$P_1 = 24,7Hp$$

P_1 : Potencia que transmite la correa

- **Cálculo de la cantidad de correas necesarias:** El último factor de corrección C_3 considera el arco de contacto entre la correa y las poleas que en definitiva limita la capacidad de transmisión ya que este es un sistema que trabaja por roce.

Tabla N° 5		Factor de corrección	
Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana	
180°	1.00	0.75	
175°	0.99	0.76	
170°	0.98	0.77	
167°	0.97	0.78	
164°	0.96	0.79	
160°	0.95	0.80	
157°	0.94	0.81	
154°	0.93	0.81	
150°	0.92	0.82	
147°	0.91	0.83	
144°	0.90	0.83	

Figura 23-4: Factor de corrección

Fuente: Catálogo de bandas de transmisión Dunlop

Para un ángulo de 180° el factor de corrección $C_3 = 1$.

El número de correas necesarias se calcula con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{P_d}{C_2 C_3 P_1}$$

$$Z = \frac{26Hp}{(0,95)(1)(24,7Hp)}$$

$$Z = 1,1$$

El número de correas necesarias es 1 correa.

- **Velocidad de la banda:** La velocidad tangencial es igual a:

$$v = \frac{n_1 \times \pi \times d_p}{60\,000}$$

$$v = \frac{1\,600rpm \times \pi \times 150mm}{60\,000}$$

$$v = 12,57 \frac{m}{s}$$

- **Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje:**

El cálculo de B se realiza con la siguiente ecuación:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 2B$$

$$B = \frac{180^\circ - \alpha_1}{2}$$

$$B = \frac{180^\circ - 179,43^\circ}{2}$$

$$B = 0,28^\circ$$

La relación de tensiones para bandas trapezoidales está dada por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{T_1 - T_c}{T_2 - T_c} = e^{\frac{f \times \theta}{\sin(\frac{\alpha}{2})}}$$

Donde $T_c = \rho v^2$, el valor de ρ para una correa de sección B es $\rho = 0,20 \frac{Kg}{m}$, cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla.

Perfil de la correa	Coeficientes			
	ρ [kg/m]	Ca		T_f [N]
		Flexión normal	Flexión inversa	
SPZ	0.07	563	732	474
SPA	0.12	2105	4320	858
SPB	0.19	4859	8926	1242
SPC	0.36	6304	12077	1680
A	0.11	399	479	418
B	0.20	1701	1043	727
C	0.33	5069	8926	1288
D	0.68	21561	25873	2664

Figura 24-4: Coeficientes para determinar Fuerza centrífuga
Fuente: (Faires, 2011)

El valor de v corresponde a la velocidad tangencial $v = 12,57 \frac{m}{s}$, con los datos calculados se halla el valor de la fuerza centrífuga T_c .

$$T_c = \rho v^2$$

$$T_c = 0,2Kg/m(12,57m/s)^2$$

$$T_c = 31,58N$$

Además para el cálculo de la relación de tensiones se requieren los siguientes datos:

Tabla 4-4: Datos para el cálculo de la relación de tensiones

$\theta = \alpha_1$ (rad)	179,43° = 3,14 rad
f : coeficiente de rozamiento	0,35
α : ángulo de la garganta de la correa	34°

Fuente: Autores

Con los datos detallados se obtiene:

$$\frac{T_1 - 31,58}{T_2 - 31,58} = e^{\frac{0,35 \times \pi}{\sin(\frac{34}{2})}}$$

$$\frac{T_1 - 31,58}{T_2 - 31,58} = 43,49$$

$$T_1 - 31,58 = -1373,41 + 43,39 T_2$$

$$T_1 = 43,49T_2 - 1341,83$$

De la fórmula de la potencia:

$$P = (T_1 - T_2)V$$

Donde la potencia está en Watts (20 HP = 14914 Watts) y la velocidad tangencial $v = 12,57 \frac{m}{s}$

$$14\ 914 = (T_1 - T_2)12,57$$

$$1\ 186,48 = (T_1 - T_2)$$

$$1\ 186,48 = 43,49 T_2 - 1\ 341,83 - T_2$$

$$2\ 528,30 = 42,49T_2$$

$$T_2 = 59,50\ N \text{ (Fuerza en el lado flojo)}$$

El valor calculado se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$T_1 = 43,49(59,50) - 1\ 341,83$$

$$T_1 = 1\ 245,83N \text{ (Fuerza en el lado tirante)}$$

La tensión resultante sobre el eje es igual a:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}$$

$$T_y = (T_1 + T_2) \cos B$$

$$T_y = (1\,245,83 + 59,50) \cos 0,28^\circ$$

$$T_y = 1250,82N$$

$$T_x = (T_1 - T_2) \sin B$$

$$T_x = (1186,33) \sin 0,28^\circ$$

$$T_x = 339,24N$$

$$T = \sqrt{(339,24)^2 + (1250,82)^2}$$

$$T = 1348,69 N$$

Torque

$$M = (T_1 - T_2) * \frac{D_p}{2}$$

$$M = (1186,33) * \left(\frac{0,063}{2}\right)$$

$$M = 37,37N.m$$

- **Durabilidad de la banda**

$$H = 1477 \frac{L^{1.25}}{v} \left(\frac{T_F^m}{T_1^m + T_2^m} \right) (\text{horas})$$

Donde:

T_F : Fuerza limite por fatiga (N) $T_F = 727N$

T_1, T_2 : Fuerzas en la correa (N) $T_1 = 1245,83 N$ $T_2 = 59,50 N$

V = velocidad tangencial (m/s) $V=12,57m/s$

m : Exponente de la curva de fatiga.

$m = 5 \dots 6$ Correas planas

$m = 6 \dots 11$ Correas trapeziales

$$H = 1477 \frac{1846^{1.25}}{12,57} \left(\frac{727^8}{1245,83^8 + 59,50^8} \right) (horas)$$

$$H = 19\ 123,41 \text{ horas}$$

La banda tiene una durabilidad de 19 123,41 horas, dividimos para el número de horas que trabaja la trilladora anualmente 2880 horas, se obtiene que la banda tendrá 6,64 años de tiempo de vida útil, bajo las condiciones antes descritas.

4.2 Diseño del rodillo trillador

4.2.1 Capacidad de la máquina trilladora T2100

Cada año en la provincia de Chimborazo el número de hectáreas de sembrío aproximadamente es de 1328 Ha, de las cuales 230 Ha pertenecen a los productores de quinua nativa (objeto de estudio de la presente investigación), conociendo que su capacidad de producción es de 2700 Kg/Ha y haciendo uso de la ecuación 1 se calcula la capacidad que debe poseer la trilladora.

$$\text{Capacidad} = CP \times NH$$

$$Capacidad = 2700 \frac{Kg}{Ha} \times 230 \frac{Ha}{año} = 621\ 000 \frac{Kg}{año}$$

La capacidad de producción anual de los productores de quinua nativa para exportación es de 621 000 kilogramos, de los cuales, el 42% corresponde al porcentaje de grano en la planta.

$$Capacidad\ total = 621\ 000 \frac{Kg}{año} \times 0,42 = 260\ 820 \frac{Kg}{año}$$

La máquina trabaja 4 meses al año un total de 960 horas, 8 horas diarias. Aplicando la ecuación 3 se calcula la producción diaria.

$$Producción\ por\ hora = 260\ 820 \frac{Kg}{año} \times \frac{1\ año}{960\ horas} = 271,69 \frac{kg}{h}$$

$$271,69 \frac{Kg}{h} * \frac{1qq}{46,4Kg} = 5,86 \frac{qq}{h}$$

Debe producirse 6qq/hora aproximadamente.

$$Producción\ diaria = \frac{260\ 820 \frac{Kg}{año}}{960 \frac{Horas}{año}} \times 8 \frac{Horas}{Día} = 2\ 173,5 \frac{Kg}{Día}$$

$$2\ 173,5 \frac{Kg}{dia} * \frac{1qq}{46,4Kg} = 46,84 \frac{qq}{dia}$$

Deben producirse 46,84 quintales diarios aproximadamente, 5,85 qq/h \approx 271,44 Kg/h.

4.2.2 Velocidad de ingreso

La quinua debe ser ingresada a la trilladora a determinada velocidad con el fin de cumplir la cantidad de quinua que debe procesar el operario diariamente. Para ello se requiere una serie de cálculos que se detallan a continuación.

- **Volumen de quinua a picarse:** Se calcula mediante la ecuación 4, la producción por hora de la quinua es 271,44 kilogramos (271 440 gramos). Un estudio realizado por

(Llangari, y otros, 2012) determinó que la densidad del tallo de la quinua aproximadamente es $0,4925 \text{ gr/cm}^3$.

$$V = \frac{C}{\delta} = \frac{271\,440 \text{ gr/h}}{0,4925 \text{ gr/cm}^3} = 551\,147,21 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} = 0,55 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por cada hora los productores de quinua deben procesar 0.55 m^3 del cultivo.

- **Volumen de una rama de quinua:** Por asimilarse a un cilindro delgado se calcula con la ecuación 5, donde el radio y altura promedio de cada rama son: $r = 0.09 \text{ cm}$ y $h = 1 \text{ m}$.

$$V_c = \frac{3}{4}(\pi r^2)h = \frac{3}{4}(\pi(0,009\text{m})^2)(1\text{m}) = 0,000191\text{m}^3$$

Una vez calculado el volumen total de la rama y considerando que el 42% de la rama corresponde al grano de quinua. Usando la ecuación 6 el volumen de quinua es:

$$V_q = V_c \times 0,42 = 0,000191\text{m}^3 \times 0,42 = 0,00008 \text{ m}^3 * \text{rama}$$

- **Número de ramas:** Las ramas de quinua que el productor debe procesar por cada hora se calculan con la ecuación 7.

$$\text{Quinua} = \frac{V}{V_q} = \frac{0,55 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,00008 \text{ m}^3 * \text{rama}} = 6875 \text{ ramas/hora}$$

- **Velocidad de ingreso:** Conociendo que la altura promedio de cada rama de quinua es de 1 metro, la velocidad de con la que se debe ingresar las ramas de quinua a la trilladora se calcula con la ecuación 8.

$$v_i = \left(6875 \frac{\text{ramas}}{\text{h}}\right) \times 1 \text{ m} = 6875 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 1,90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.2.3 Análisis de cargas en el eje del rodillo trillador

El rediseño del rodillo trillador se basa en las máquinas trilladoras de Guaranda, está compuesta por seis cuchillas debido a que el espacio entre las cuchillas deber ser lo

suficiente para que tenga una función adicional como ventilador ayudando a la salida de la panoja hacia la zaranda saca tallos.

Los planos del rodillo trillador se realizan en el software de Diseño Mecánico Solidworks, el resultado se muestra en la siguiente figura.



Figura 25-4: CAD del rodillo trillador
Fuente: Autores

El eje del rodillo trillador debe poseer la capacidad para soportar las cargas estáticas (peso) y dinámicas cuando realiza el proceso de trillado. Se realiza el cálculo del factor de seguridad el cual debe ser mayor a uno para garantizar la resistencia del eje durante el trabajo a que estará expuesto.

4.2.4 Cargas que actúan sobre el eje

Con el fin de evitar una falla estructural, debido a las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometido el rodillo trillador se comprueba que el factor de seguridad sea mayor a uno. El factor de seguridad depende de ciertos factores como el peso, el tipo de material, entre otros, cuyos cálculos se detallan a continuación.

- **Peso del rodillo trillador:** El rodillo trillador está compuesto por: tapas, barras de corte y el cilindro. Para el cálculo del peso total del rodillo, primero se determina la masa de cada componente mediante la ecuación 9.

$$m = \rho V$$

El material usado para construir el rodillo trillador es el acero negro al carbono cuya densidad es $\rho = 7\,850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Una vez conocida la densidad del material se debe calcular el volumen del componente.

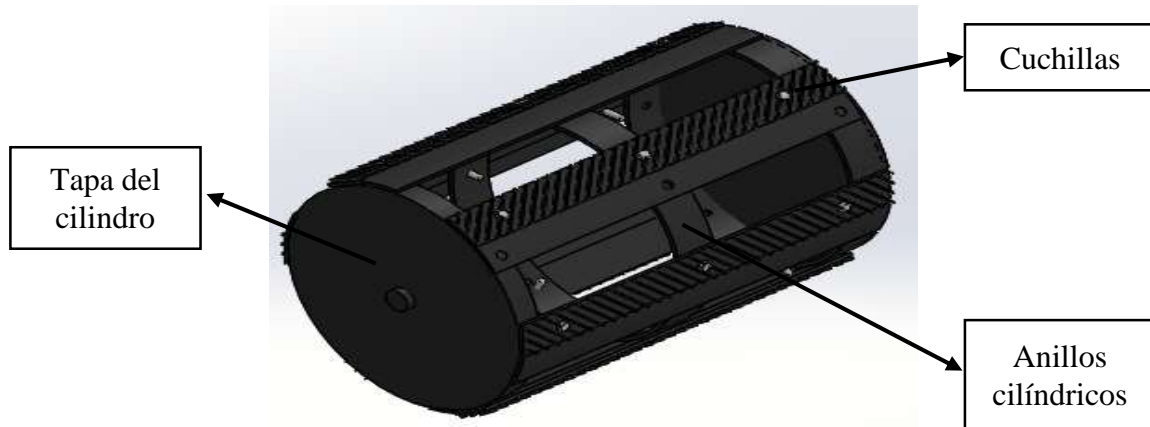


Figura 26-4: Componentes del rodillo trillador
Fuente: Autores

El cilindro está compuesto por 3 anillos cilíndricos, 2 tapas del cilindro y 6 cuchillas.

Para encontrar el volumen total del cilindro trillador se debe calcular por cada uno de sus componentes el respectivo volumen.

Volumen de los anillos cilíndricos

Se determina mediante la ecuación 10 descrito en el marco teórico. Sus dimensiones son: diámetro exterior de 0,330 m, diámetro interior de 0,324 m y altura de 0,03 m, con estos datos se obtiene:

$$V_{ac} = \frac{\pi}{4} h (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

V_{ac} : Volumen del anillo cilíndrico

$$V_{ac} = \frac{\pi}{4} (0,03)(0,33^2 - 0,324^2)$$

$$V_{ac} = 0,00009m^3 * 3$$

$$V_{ac} = 0,00028m^3$$

Volumen de las cuchillas

Se utiliza la ecuación 11, la barra de corte es rectangular por lo que su área sería igual a la base por la altura. La base corresponde a la longitud del cilindro (0,520 m) el ancho es 0,05m y el espesor de la barra es 0,006 m.

$$V_c = l. a. e$$

Vc: volumen de la cuchilla

$$V_c = (0,520 * 0,05 * 0,006)m$$

$$V_c = 0,000156m^3 \times 6$$

$$V_c = 0,000936m^3$$

Volumen de la tapa del cilindro

Se calcula con la ecuación 12 detallada en el marco teórico, el diámetro de la tapa es de 0,330 m y el espesor de 0,006 m.

$$V_t = \frac{\pi}{4} D_t^2 e$$

$$V_t = \frac{\pi}{4} (0,330m)^2 (0,006m)$$

$$V_t = 0,00051m^3 \times 2$$

$$V_t = 0,001m^3$$

Una vez calculado el volumen de cada componente se calcula su masa respectiva.

La masa del cilindro es igual a:

$$m_{ac} = \rho V_{ac}$$

$$m_{ac} = 7850 \frac{Kg}{m^3} (0,00028m^3)$$

$$m_{ac} = 2,20 \text{ Kg}$$

La masa de las cuchillas:

$$m_c = \rho V_c$$

$$m_c = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (0,000936 \text{m}^3)$$

$$m_c = 7,35 \text{ Kg}$$

La masa de la tapa del cilindro:

$$m_t = \rho V_t$$

$$m_t = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (0,001 \text{m}^3)$$

$$m_t = 7,85 \text{ Kg}$$

Finalmente el peso del cilindro se calcula con la ecuación 13.

Nb: número de barras

$$P_c = (m_{ac} + m_c + m_t)g$$

$$P_c = (2,20 \text{Kg} + 7,35 \text{Kg} + 7,85 \text{Kg})(9,81 \text{m/s}^2)$$

$$P_c = 170,69 \text{ N}$$

- **Diagrama de cuerpo libre del rodillo trillador:** En la siguiente figura se aprecia las cargas distribuidas que actúan en el rodillo, tenemos una carga en función del peso y otra carga generada por la fuerza de corte de las cuchillas. Además se muestra el momento de torsión necesario para hacer girar el sistema de trillado.

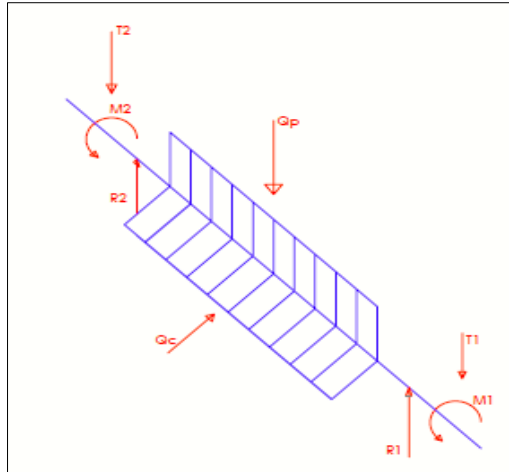


Figura 27-4: Diagrama de cuerpo del rodillo trillador
Fuente: Autores

- **Carga distribuida en función del peso:** Se calcula con la ecuación 14 detallada en el marco teórico, el peso del cilindro es de 170,69 N y la longitud 0,520 m.

$$P = 170,69 \text{ N}$$

$$Q_p = \frac{P}{L}$$

$$Q_p = \frac{170,69 \text{ N}}{0,520 \text{ m}}$$

$$Q_p = 328,25 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

- **Carga distribuida en función de la fuerza de corte:** Se calcula con la ecuación 15. La fuerza necesaria para el corte del tallo de la quinua según los ensayos experimentales realizados por (Llangari - Benalcázar, 2012) es de 124,75 N; quienes para hallar dicho valor realizaron ensayos de corte en el péndulo de Charpy simulando las condiciones en las que se realiza el corte del tallo de la quinua.

En el diseño del rodillo se empleará 6 barras de corte y considerando que la longitud de la barra es de 0.520 metros la carga distribuida en función a la fuerza de corte es:

$$Q_c = \frac{N_c F_c}{L}$$

N_c : número de cuchillas $N_c = 6$

F_c : fuerza de corte $F_c = 124,75N$

$$Q_c = \frac{6(124,75 N)}{0,520 m}$$

$$Q_c = 1\,439,42 \frac{N}{m}$$

- **Momento flector**

En la figura 31-4, se observa el comportamiento de las curvas de corte de la viga y momentos flectores para el plano xy. Donde el momento máximo es **de 90,39 Nm**.

P_1 : peso de la polea $d = 22,5cm$

Masa de la polea $m_1 = 1,57Kg$ $P_1 = 1,57Kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 15,40N$

$m_1 = 1,57Kg$ (Extraído del software solidworks)

P_2 : peso de la polea $d = 15cm$

Masa de la polea $m_2 = 0,847Kg$ $P_2 = 0,847Kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 8,32N$

$m_2 = 0,847Kg$ (Extraído del software solidworks)

M_1 : momento flector en la banda $d = 22,5cm, M_1 = 88,99Nm$

M_2 : momento flector en la banda $d = 15cm, M_2 = 91Nm$

W_1 : carga distribuida en funcion del peso $W_1 = 328,25 N/m$

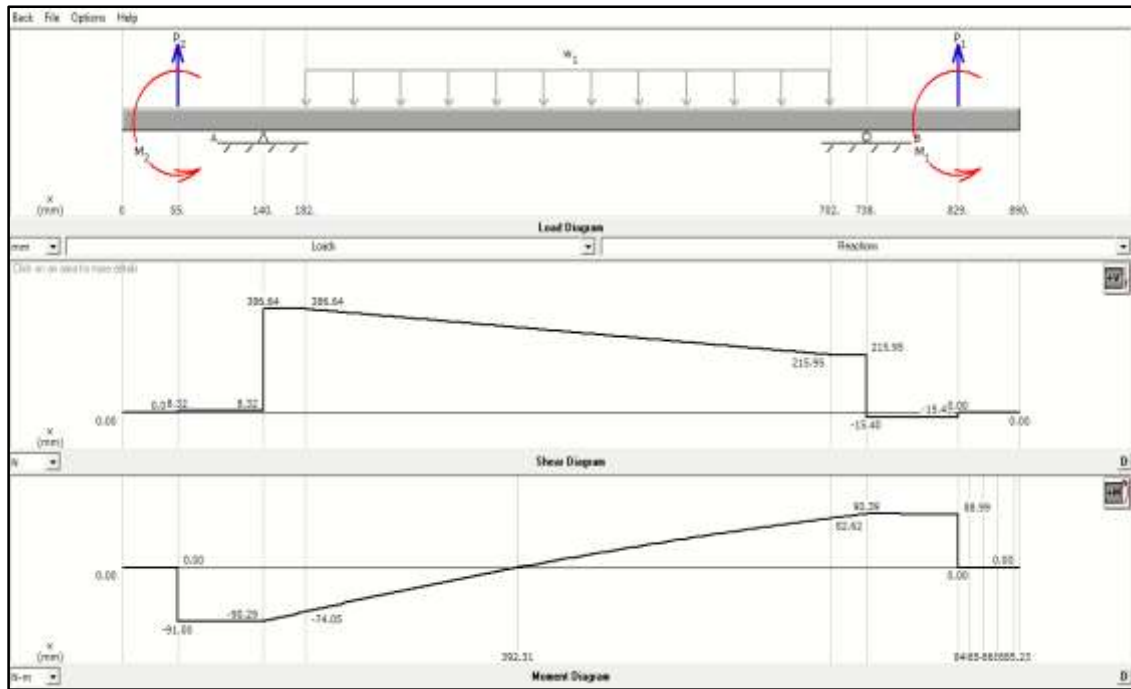


Gráfico 4-4: Diagrama de corte y momentos en el plano xy
Fuente: MD Solids

En la figura 32-4, se observa el comportamiento de las curvas de corte de viga y momento flector en el plano xz. En el cual el momento máximo es de 93,85 [Nm].

W_1 : carga distribuida en funcion de la fuerza de corte $W_1 = 1\,439,42\text{ N/m}$

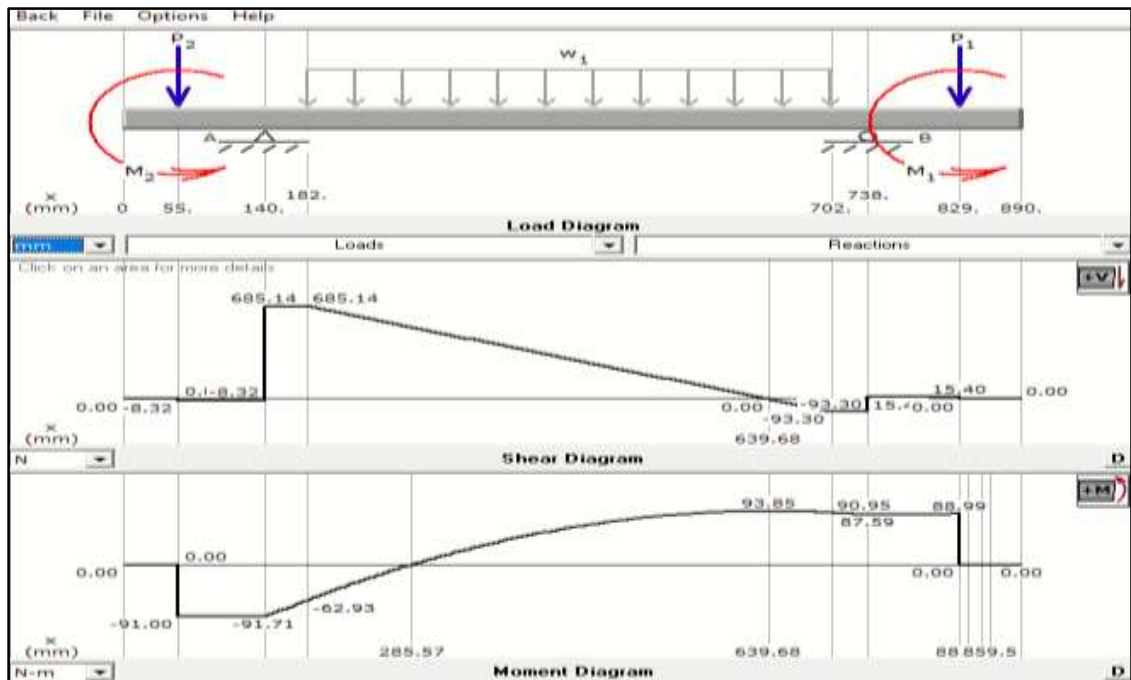


Gráfico 5-4: Diagrama de corte y momentos xz
Fuente: MD Solids

De los análisis anteriores se obtienen dos valores de momentos flectores, en el eje xy $M_{xy} = 90,39[Nm]$ en el eje xz $M_{xz} = 93,85[Nm]$ luego procedemos a encontrar el momento flector máximo con la siguiente ecuación:

$$M_{\text{máx}} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$$

$$M_{\text{máx}} = \sqrt{(90,39Nm)^2 + (93,85Nm)^2}$$

$$M_{\text{máx}} = 130,30Nm$$

4.2.5 Factor de seguridad estático

- **Diseño del rodillo trillador:** El diámetro del cilindro es 0,33m, el espesor de la pared del cilindro es de 0,006m con estos datos calculamos el esfuerzo máximo de flexión.

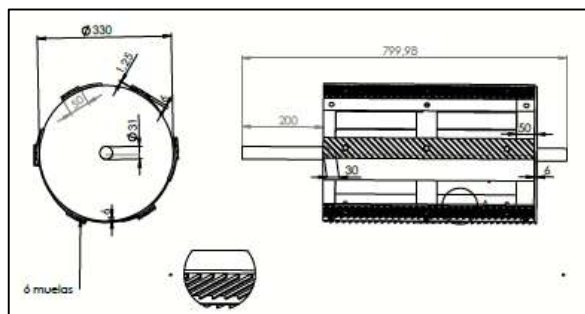


Figura 28-4: Cilindro trillador

Fuente: Autores

El eje de transmisión tiene un diámetro de $1 \frac{1}{4}'' = 0,031m$, se plantea el esfuerzo máximo de flexión mediante la ecuación 17, el momento Torsor máximo es 130,30 N-m.

$$\sigma_x = \frac{32 * M}{\pi d^3}$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo máximo de flexión del eje [MPa]

d: diámetro del eje [m]

M: momento Torsor máximo (N-m)

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot 130,30 \text{ Nm}}{\pi (0,031 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_x = 44,55 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante máximo está dado por la ecuación 18.

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Donde:

τ_{xy} : Esfuerzo cortante máximo

T: Torque ejercido por la fuerza en el eje (T=91Nm)

$$\tau_{xy} = \frac{16(91 \text{ Nm})}{\pi (0,031 \text{ m})^3}$$

$$\tau_{xy} = 15,56 \text{ MPa}$$

Se aplica el Método de Von Mises para obtener el factor de seguridad.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Se calcula con la ecuación 19 detallada en el marco teórico, donde el esfuerzo máximo de flexión es 44,55 MPa y el esfuerzo cortante máximo es de 15,56 MPa.

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x)^2 + 3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(44,55)^2 + 3(15,56)^2}$$

$$\sigma' = 52,07 \text{ MPa}$$

Se utiliza un eje de transmisión SAE 1018 con características mecánicas de resistencia a la fluencia y tracción de: (ver Anexo E).

$S_y = 370 \text{ MPa}$ Resistencia a la fluencia

$S_{ut} = 440 \text{ MPa}$ Resistencia a la tracción

- **Factor de seguridad estático**

Se calcula con la ecuación 16 la misma que se detalla en el marco teórico, donde el esfuerzo de Von Mises es igual a 52,07 MPa y la resistencia de fluencia del acero SAE 1018 es 370 MPa.

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

$$n_e = \frac{370MPa}{52,07 MPa}$$

$$n_e = 7,1 \approx 7$$

Como conclusión se determina que el valor del factor de seguridad estático es 7, por lo cual garantiza que el eje del rodillo trillador puede soportar hasta un máximo de 7 veces su peso de diseño mientras no estece en movimiento.

4.2.6 Factor de seguridad dinámico

- **Esfuerzo medio:** Se calcula con la ecuación 23 descrita en el marco teórico, donde el esfuerzo cortante máximo es igual a:

$$\sigma_m = \sqrt{3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_m = \sqrt{3(15,56MPa)^2}$$

$$\sigma_m = 26,95 MPa$$

- **Límite de resistencia a la tracción del eje:** Se calcula con la ecuación 22 descrita en el marco teórico, donde la resistencia a la tracción del acero SAE 1018 es 440 MPa.(Anexo E)

$$S_e' = 0,5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 (440MPa)$$

$$S_e' = 220 MPa$$

- **Límite de resistencia a la fatiga:** Se calcula con la ecuación 21, donde los coeficientes de resistencia a la fatiga del eje de transmisión son:

El factor de superficie $k_a = 0,89$

Acabado superficial	Para S_{ut} en MPa se usa	
	A	b
Esmerilado	1.58	-0.085
Maquinado o rolado en frío	4.51	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272	-0.995

Figura 29-4: Coeficientes del factor de superficie
Fuente: (Mitchell, 1999)

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$k_a = 4,51 * 440^{-0,265} (\text{Maquinado})$$

$$k_a = 0,89$$

El factor de tamaño $k_b = 1,66$

Los valores que presentan (Mitchell, 1999) es una expresión muy simple.

Para $d \leq 0,3in(8mm)$: $C_{tamaño} = 1$

Para $0,3in < d \leq 10in$: $C_{tamaño} = 0,869d^{-0,097}$

Para $8mm < d \leq 250mm$: $C_{tamaño} = 1,189d^{-0,097}$

$$k_b = 1,189 * 0,031^{-0,097}$$

$$k_b = 1,66$$

El factor de carga $k_c = 0,70$

flexión:	$C_{carga} = 1$
carga axial:	$C_{carga} = 0.70$

Figura 30-4: Coeficientes de factores de carga
Fuente: (Mitchell, 1999)

El factor de temperatura $k_d = 1$

para $T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$ (840 $^\circ\text{F}$):	$C_{temp} = 1$
para $450 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 550 \text{ }^\circ\text{C}$:	$C_{temp} = 1 - 0.0058(T - 450)$
para $840 \text{ }^\circ\text{F} < T \leq 1020 \text{ }^\circ\text{F}$:	$C_{temp} = 1 - 0.0032(T - 840)$

Figura 31-4: Factor de temperatura
Fuente: (Mitchell, 1999)

El factor de confiabilidad $k_e = 0,868$

% de confiabilidad	C_{conf}
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Figura 32-4: Factores de confiabilidad
Fuente: (Mitchell, 1999)

Límite de resistencia a la fatiga de la viga rotativa $S_e' = 220\text{MPa}$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e'$$

$$S_e = (0,89)(1,66)(0,70)(1)(0,87)(220\text{MPa})$$

$$S_e = 197,94 \text{ MPa}$$

- **Factor de seguridad dinámico**

El coeficiente de seguridad dinámico se calcula con la ecuación 20, donde el esfuerzo medio es igual 1,19 MPa, el esfuerzo máximo es igual a 44,55MPa, la resistencia a la tracción del acero es 440 MPa y el límite de resistencia a la fatiga del cilindro es igual a 197,94 MPa.

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_x}{S_e}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{26,95\text{MPa}}{440\text{MPa}} + \frac{44,55\text{MPa}}{197,94\text{MPa}}}$$

$$n_f = 3,49 \approx 3$$

El factor de seguridad dinámico puede soportar hasta un máximo de 3 veces su peso de diseño mientras este en movimiento.

4.3 Análisis de cargas en el eje del ventilador

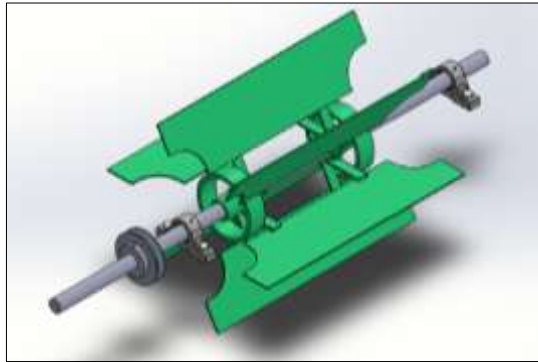


Figura 33-4: Cargas que actúan en el eje del ventilador
Fuente: Autores

4.3.1 Carga distribuida en función del peso:

Para encontrar el peso del ventilador en el eje, se debe considerar el peso de las 6 aspas (0,84Kg) y el peso de las 2 bases (0,38Kg). Se calcula con la ecuación 14 (carga distribuida en función del peso), el peso de las hélices es 11,97 N y la longitud 0,46 m.

$$m_v = 1,22Kg$$

$$P_v = 1,22Kg * 9,81m/s^2$$

$$P_v = 11,97N$$

$$Q_p = \frac{P}{L}$$

$$Q_p = \frac{11,97N}{0,46 m}$$

$$Q_p = 26,02 \frac{N}{m}$$

4.3.2 Momento flector

En la figura 39-4, se observa el comportamiento de las curvas de corte de la viga y momentos flectores. Donde el momento máximo es de 37,37 Nm.

$$P_1: \text{peso de la polea } d = 6,3\text{cm}, \quad P_1 = 1,22\text{N}$$

$$\text{Masa de la polea } m = 0,12\text{Kg} \quad P_1 = 0,12\text{Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,22\text{N}$$

$$m = 0,12\text{Kg} \text{ (Extraído del software solidworks)} \quad M1=37,37\text{Nm}$$

$$W_1 = Q_p = 26,02\text{N/m}$$

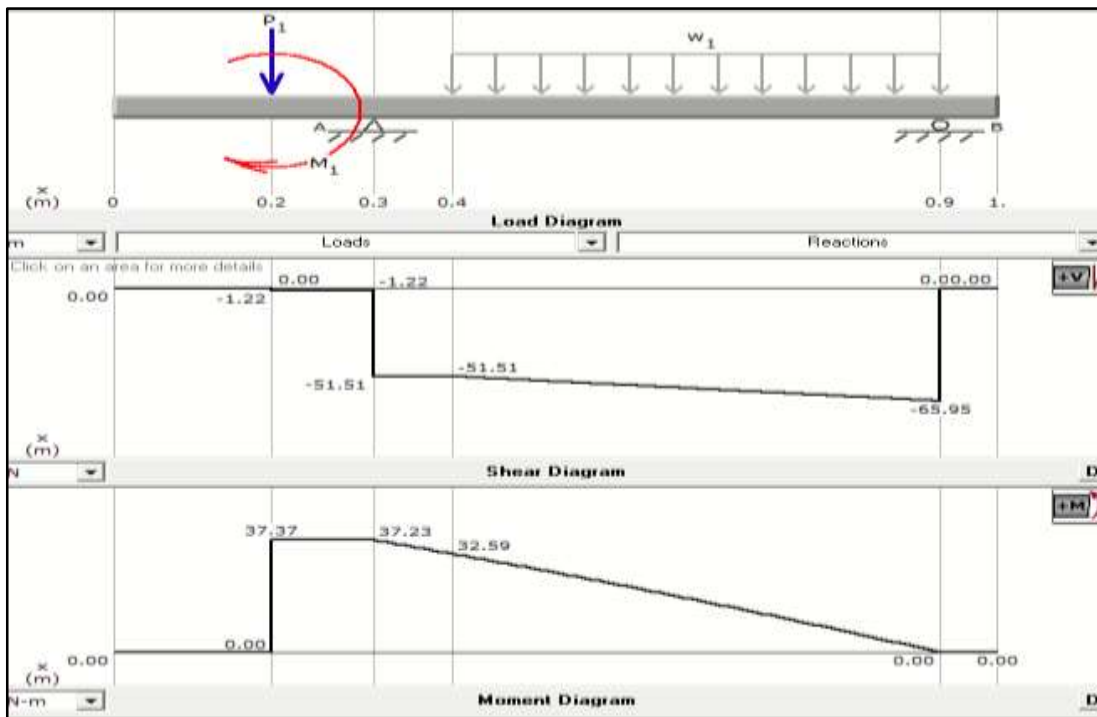


Gráfico 6-4: Diagrama de corte y momentos xy

Fuente: MD Solids

4.3.3 Diseño estático

El eje de transmisión tiene un diámetro de $1\ 1/16'' = 0,027\text{m}$, el momento Torsor máximo es 37,37Nm.

$$\sigma_x = \frac{32 * M}{\pi d^3}$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo máximo de flexión del eje [MPa]

d: diámetro del eje [m]

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot 37,37 \text{ Nm}}{\pi (0,027 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_x = 19,34 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^2}$$

Donde:

τ_{xy} : Esfuerzo cortante máximo

T: Torque ejercido por la fuerza en el eje (T=37,37Nm)

$$\tau_{xy} = \frac{16(37,37 \text{ Nm})}{\pi (0,027 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{xy} = 0,26 \text{ MPa}$$

Se aplica el Método de Von Mises para obtener el factor de seguridad.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Donde el esfuerzo máximo de flexión es 0,41 MPa y el esfuerzo cortante máximo es de 0,21 MPa.

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x)^2 + 3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(19,34)^2 + 3(0,26)^2}$$

$$\sigma' = 19,34 \text{ MPa}$$

Se utiliza un eje de transmisión SAE 1018 con características mecánicas de resistencia a la fluencia y tracción de: (ver Anexo E).

$S_y = 370 \text{ MPa}$ Esfuerzo resistente a la fluencia

$S_{ut} = 440 \text{ MPa}$ Esfuerzo resistente a la tracción

- **Factor de seguridad estático:** Se calcula con la ecuación 16, donde el esfuerzo de Von Mises es igual a 0,168 MPa y la resistencia de fluencia del acero SAE 1018 es 370 MPa.

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

$$n_e = \frac{370 \text{ MPa}}{19,34 \text{ MPa}}$$

$$n_e = 19,13 \text{ MPa}$$

Como conclusión se determina que el valor del factor de seguridad estático soportará 19 veces más la carga diseñada, por lo cual garantiza que el eje del ventilador puede soportar hasta un máximo de 19 veces su peso de diseño mientras no se mueva el eje.

4.3.4 Diseño dinámico

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_x}{S_e}}$$

Se determina el esfuerzo medio con la ecuación 23 descrita en el marco teórico.

$$\sigma_m = \sqrt{3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_m = \sqrt{3(0,26 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_m = 0,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 19,34 \text{ MPa}$$

Se plantea la ecuación 21 descrita en el marco teórico, para encontrar el límite de resistencia a la fatiga del eje.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e'$$

El límite de resistencia a la fatiga del eje en rotación se determina con la ecuación 22 descrita en el marco teórico.

$$S_e' = 0,5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 (440MPa)$$

$$S_e' = 220 MPa$$

Anteriormente se calcularon los coeficientes de resistencia a la fatiga del eje de transmisión.

El factor de superficie $k_a = 0,89$

El factor de tamaño $k_b = 1,66$

El factor de carga $k_c = 0,70$

El factor de temperatura $k_d = 1$

El factor de confiabilidad $k_e = 0,868$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e'$$

$$S_e = (0,89)(1,66)(0,70)(1)(0,87)(220MPa)$$

$$S_e = 197,94 MPa$$

- **Factor de seguridad dinámico**

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_x}{S_e}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{0,45Mpa}{440MPa} + \frac{19,34MPa}{197,94MPa}}$$

$$n_f = 10$$

Como conclusión se determina que el valor del factor de seguridad dinámico es 10, por lo cual garantiza que el eje del ventilador puede soportar hasta un máximo de 10 veces su peso de diseño durante el movimiento.

4.4 Separación entre rodillo trillador y cóncavo

El cóncavo es el complemento del rodillo trillador, para obtener los granos de las panojas. El tamaño de grano requiere la regulación de la separación adecuada cilindro – cóncavo. Ello es especialmente importante cuando se añade una dificultad de desprendimiento: en este caso, el grano no se desprende prontamente por impacto en la zona inicial del cóncavo, sino que requiere ser friccionado contra el mismo, para su total liberación; la necesidad del ajuste de la separación rodillo trillador – cóncavo es importante (Cosechadoras de granos, 2007).

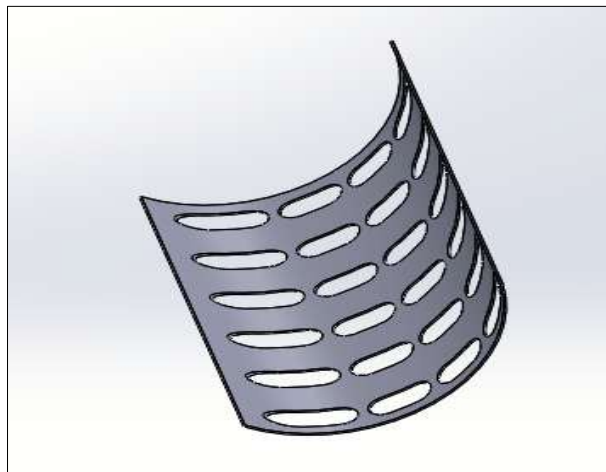


Figura 34-4: Tapa del cóncavo
Fuente: Autores



Figura 35-4: Estructura del cóncavo

Fuente: Autores

La separación es un factor que influye en la calidad de trillado para determinar una distancia óptima entre golpeador y rodillo. Considerando que el trillado es adecuado cuando se obtiene el grano sin impurezas, el resultado obtenido se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5-4: Pruebas de funcionamiento cóncavo – rodillo trillador

SEPARACIÓN ENTRE GOLPEADOR Y RODILLO		
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	SEPARACIÓN (mm)	GRANO
Prueba 1	1	Mal trillado
Prueba 2	2	Mal trillado
Prueba 3	3	Mal trillado
Prueba 4	4	Mal trillado
Prueba 5	5	Mal trillado
Prueba 6	6	Mal trillado
Prueba 7	7	Mal trillado
Prueba 8	8	Buen trillado
Prueba 9	9	Buen trillado
Prueba 10	10	Buen trillado
Prueba 11	11	Mal trillado

Fuente: Autores

En el intervalo de [8,10] mm se obtiene un buen trillado, para quinua el adecuado es de 8mm, para avena, cebada y trigo la separación es entre 9mm a 10mm, debido a que los granos son más grandes.



Figura 36-4: Trillado de quinua
Fuente: Autores



Figura 37-4: Trillado de cebada
Fuente: Los autores



Figura 38-4: Trillado de avena
Fuente: Autores



Figura 39-4: Trillado de trigo
Fuente: Los autores

4.5 Diseño del sistema de tamizado de granos

El sistema se compone por la estructura de la zaranda, zaranda de granos, tamiz para quinua, tamiz multigrano (cebada, avena y trigo).

4.5.1 Estructura de la zaranda

Se fabricó con madera seique debido a sus propiedades de alta durabilidad a las cargas, además se consideró un ángulo de inclinación de 30° para que el grano tenga facilidad de traslado hacia el tamiz.

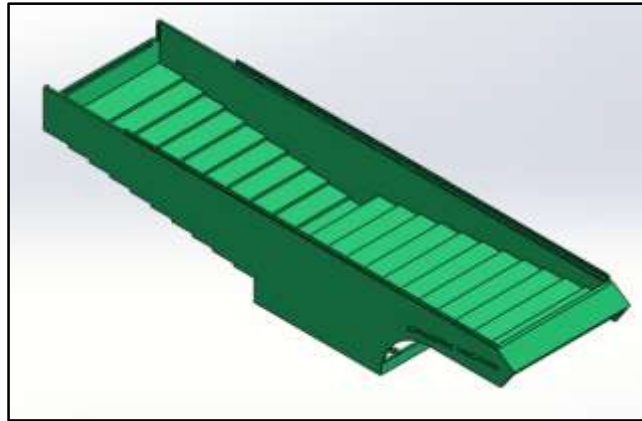


Figura 40-4: Estructura de la zaranda
Fuente: Autores

4.5.2 Zaranda de granos

Va ensamblada sobre la estructura de la zaranda, está construida de acero inoxidable AISI 304 debido al contacto con los granos, su función es impedir que residuos de tallos o panojas ingresen al tamiz.



Figura 41-4: Zaranda de granos
Fuente: Autores

4.5.3 Tamiz de quinua

Debido a que la quinua es un grano pequeño se ha seleccionado una malla de circunferencias con diámetros de 1,6mm, mediante este parámetro se logrará obtener la quinua limpia, reduciendo notablemente el % de desperdicios y residuos de panoja en los

granos. Fue fabricado con acero inoxidable AISI 304 debido a la exposición que va a tener con la quinua.

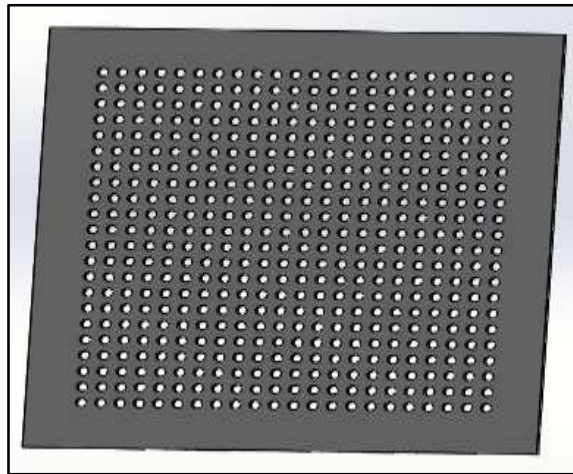


Figura 42-4: Tamiz de quinua

Fuente: Autores

4.5.4 Tamiz multigrano (cebada, avena y quinua)

Los granos de la cebada, avena y trigo son más grandes en comparación al de la quinua, por lo tanto, la malla debe variar de dimensión. Mediante la selección adecuada del tamiz en función del tamaño y forma de los granos, la limpieza será efectiva y a su vez se logrará reducir el % de desperdicios. Fue fabricado con acero inoxidable AISI 304 debido a la exposición que va a tener con los granos.

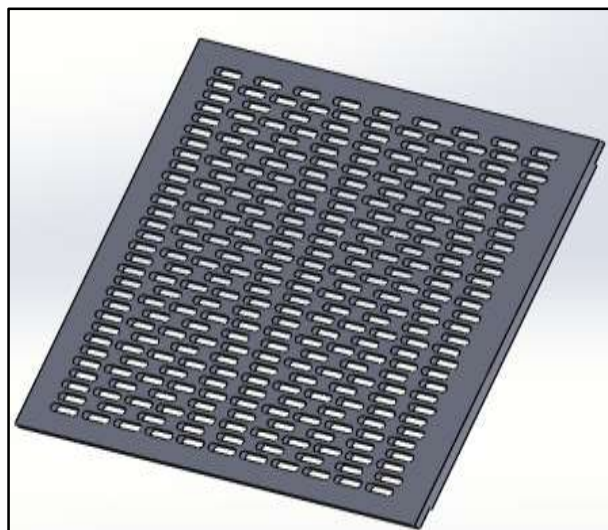


Figura 43-4: Tamiz multigrano

Fuente: Autores

4.6 Diseño del bastidor

En base a las cargas que contiene cada elemento de la máquina trilladora multigrano T2100 se realizó el diseño del bastidor, se determina que el perfil tubular debe ser de acero estructural ASTM A-36, debido a que la estructura no tiene contacto con los granos. Para dimensionarlo se consideró, las medidas de los elementos fijos y móviles que conforman la máquina trilladora debido a que deberán soportar todo su peso, se toma en cuenta el peso de la zaranda de granos, zaranda saca tallos, rodillo trillador, ventilador, base del motor, la tolva de ingreso y sus demás componentes.

Características de la estructura.

Ancho x alto x largo=730mm x 400mm x 3100mm

Tubo rectangular=70mm x 30mm

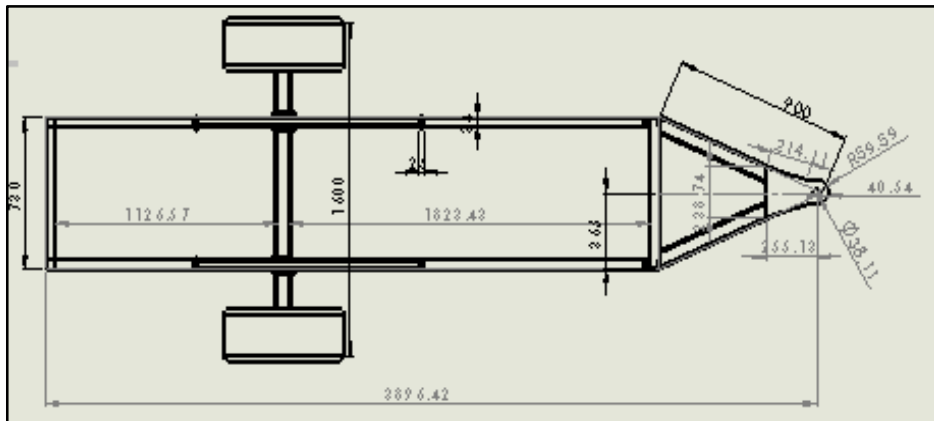


Figura 44-4: Dimensiones del chasis

Fuente: Autores

4.6.1 Análisis estático

La importancia del análisis estático en el chasis de la trilladora radica en que permite simular su comportamiento ante cargas estáticas como lo son el peso de los componentes de la trilladora sumado al peso de la panoja a trillar. El análisis estático se realiza en el software ANSYS.

Primero se realiza el modelo de la estructura como se muestra en la siguiente figura.

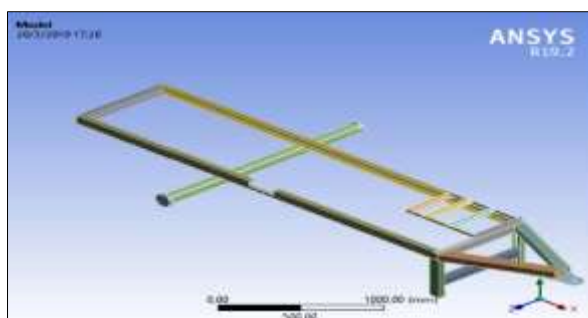


Figura 45-4: Modelado de la estructura

Fuente: Autores

Segundo, se coloca en la estructura los pesos que esta soporta como se detalla en la siguiente figura.

Tabla 6-4: Pesos de los componentes de la máquina trilladora

DESCRIPCIÓN	MASA (Kg)	PESO (N)
Motor	80,04	784,54
Rodillo trillador	50,02	490,20
Ventilador	10,02	98,20
Zaranda de granos	36,00	352,80
Brazos de madera	10,20	99,96
Poleas y bandas	5,14	5,04
Carcasa de la máquina	80,00	784,00
TOTAL	271,42	2660,06

Fuente: Autores

Tabla 7-4: Cargas puntuales sobre el bastidor

DESCRIPCIÓN	CARGA PUNTUAL	MASA (Kg)	PESO (N)
Motor	A	40,02	392,27
Motor	B	40,02	392,27
Rodillo trillador, ventilador	C	30,02	294,20
	D	30,02	294,20
Zaranda de granos, brazos de madera, poleas y bandas, carcasa de la máquina	E	21,89	214,52
	F	21,89	214,52
	G	21,89	214,52
	H	21,89	214,52
	I	21,89	214,52
	J	21,89	214,52
TOTAL		271,42	2660,06

Fuente: Autores



Figura 46-4: Asignación de la carga
Fuente: Autores

Una vez realizado el modelado y la asignación del peso que soporta la estructura, se analiza la presión que se ejerce sobre la misma, como se muestra en la figura 53-4, en la cual se determina un esfuerzo máximo de 65,66MPa.

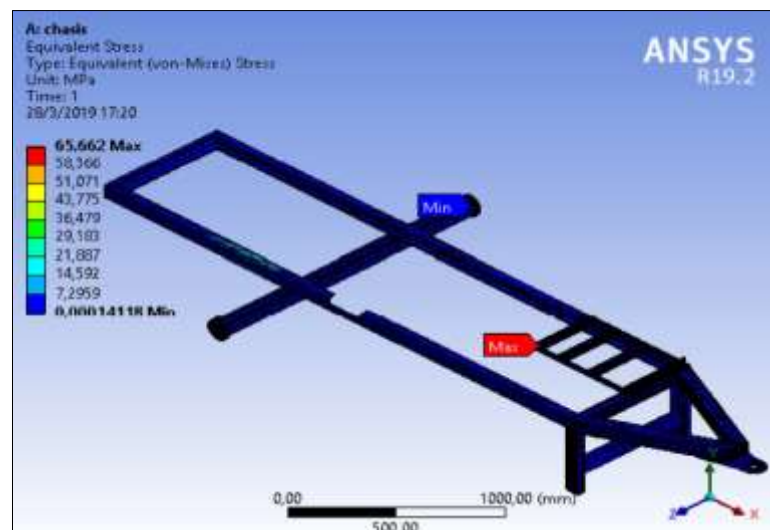


Figura 47-4: Esfuerzo máximo del bastidor
Fuente: Autores

El esfuerzo que ejercen los elementos en la estructura hace que está se deforme, la deformación máxima se produce en la parte posterior del bastidor que corresponde a la parte pintada de rojo. El valor máximo de la deformación es 0,76 mm con un esfuerzo máximo de 65,66 MPa.

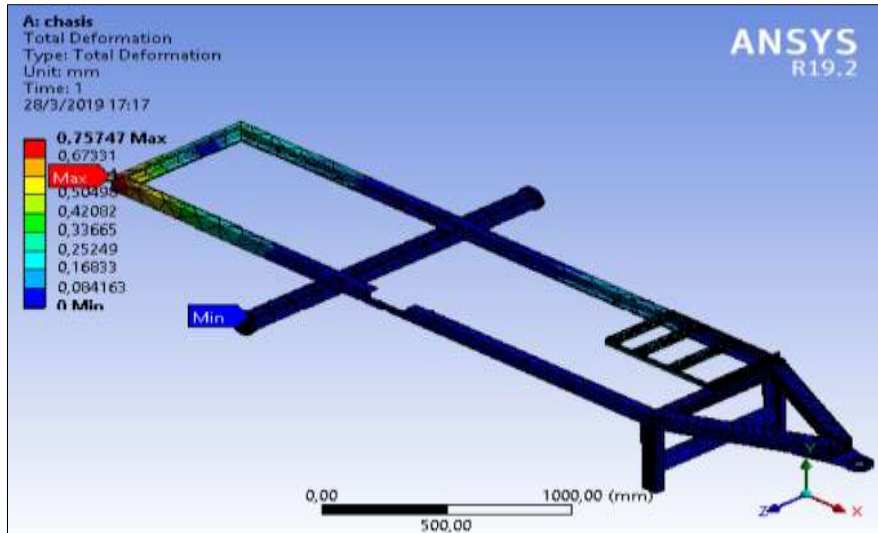


Figura 48-4: Valor máximo de la deformación

Fuente: Autores

Finalmente se determina el factor de seguridad, el cual debe ser mayor que uno para afirmar que la estructura soportará sin ningún inconveniente la carga a la que estará sometida. El factor de seguridad determina que la estructura de la máquina puede soportar hasta un máximo de 15 veces su peso de diseño como se muestra en la figura 55-4.

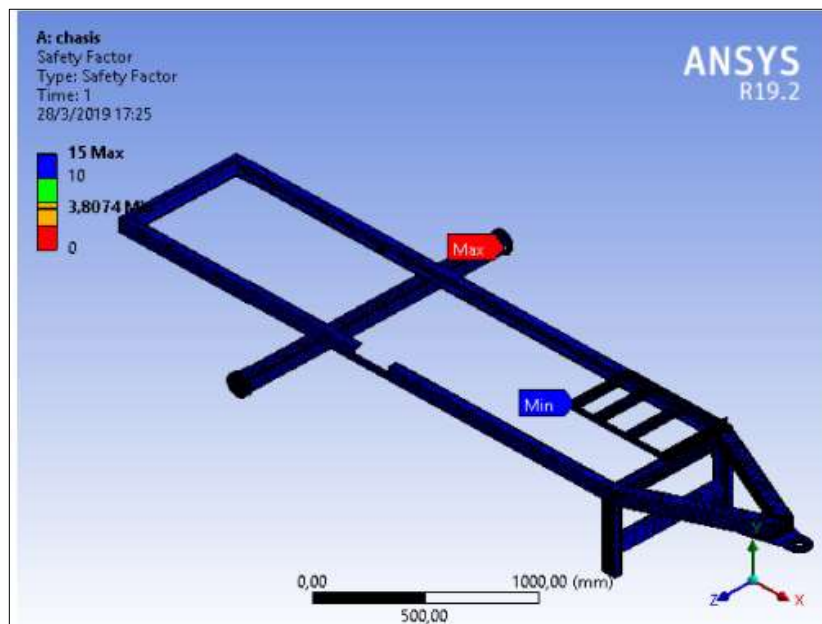


Figura 49-4: Factor de seguridad

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. MARCO DE RESULTADOS

5.1 Materiales de la máquina trilladora multigrano T2100

Las superficies de los materiales deben ser fáciles de limpiar, resistente al agrietamiento, astillado y abrasión.

5.1.1 *Material de los ejes*

Para el rodillo trillador y el ventilador se ha seleccionado, **ejes de transmisión SAE 1018** (ver Anexo E), con características de resistencia mecánica, debido a que no tienen contacto directo con los granos.

5.1.2 *Material de las zarandas*

- Estructura de la zaranda: está construida de **madera Seique** debido a sus propiedades de alta durabilidad a las cargas, bajo costo, fácil maleabilidad.
- Zaranda de granos y tamices: fueron fabricados con **acero inoxidable AISI 304** debido a la exposición que va a tener con los granos y además este es el más idóneo para cumplir los requerimientos de la norma UNE-EN 1672-2.
- Zaranda saca tallos: se encarga de enviar hacia afuera de la máquina todos los residuos de panoja, por lo tanto, no tiene contacto con los granos, debido a eso se construyó con **tol negro de 2mm de espesor, norma ASTM A-563**.

5.1.3 *Material del bastidor*

Es lo que va a soportar todo el peso de los componentes de la máquina, los esfuerzos de corte con cargas estáticas y dinámicas, según esto, es necesario elegir un material adecuado para la función que va a desempeñar. Se construyó con **perfil rectangular 70mmx30mm, norma ASTM A-36**.

El chasis contiene una ballesta por cada neumático, **el modelo es de la camioneta Datsun 1200**, su función es aumentar la capacidad de soporte de peso de la máquina, y a su vez generar mayor estabilidad a la trilladora.

También cuenta con dos amortiguadores que sirven para controlar los movimientos de suspensión de la máquina, sostienen el peso. La mantiene estable, es decir no permite que se vire al momento de transportar de un lugar a otro. **El modelo es de la camioneta Luv Dimax, serie YOKOBO ULTRA - AY 161 E 37796 - JAPAN TECH - LPG 18P0103.**

5.1.4 Material del ventilador

Las hélices y la carcasa se construyeron con **tol negro de 1mm ASTM A-569, pletina de 1" ASTM A-36.**

5.1.5 Material del rodillo trillador y cóncavo

- Rodillo trillador: **Pletina 2x1/4pulg. ASTM A-36, plancha de acero ASTM A-36, plancha fleje 1/16 ASTM 1011-CS** y demás componentes.
- Cóncavo: **ángulo 2in ASTM A-36, ángulo 1in ASTM A-36.**

5.1.6 Material de la carcasa de la máquina

La carcasa es lo que cubre a todos los elementos de la trilladora, esta se construyó con **Tol negro 1,5mm ASTM A-569; ángulo 1in ASTM A -36; Perfil estructural omega acero negro 35x50x20 ASTM A- 36; tubo cuadrado de acero negro 25mm ASTM A-500, norma NTE INEN 2415.**

5.1.7 Detalle de los elementos reconstruidos

En la siguiente tabla se detalla los materiales que se utilizaron para reconstruir las partes mal diseñadas de la máquina trilladora.

Tabla 1-5: Elementos reconstruidos

SISTEMA	ELEMENTO	CANT.	MATERIAL/MODELO
RODILLO TRILLADOR	Plancha de acero	1	ASTM A36
	Platina 2x1/4 pulg,	1	ASTM A36
	Plancha fleje 1/16	1	ASTM A1011-CS
	Platina 3/8x1/8	3	ASTM A36
	Chumaceras	2	P207
	Pernos 7/8x2	36	ASTM A325
CÓNCAVO	Ángulo 2"	1	ASTM A36
	Ángulo 1"	2	ASTM A36
	Pernos 3/4x3"	6	ASTM A325
	Tuercas 3/4"	6	ASTM A325
	Chapa perforada en forma rectangular redondeada	1	ACERO INOXIDABLE AISI 304
VENTILADOR	Eje de transmisión 1"	1	AISI/SAE 1018
	Chumaceras 1"	2	P205
	Prisioneros 1/8X1/2"	2	ASTM 325
ZARANDA DE GRANOS	Madera Seique	1	MADERA SEIQUE
	Tornillos de madera de 1/8x1"	100	ASTM A325
	Clavos de 1/2"	100	NTE INEN 611
	Chapa perforada con agujeros redondos tresbolillo 60° (3mm)	1	ACERO INOXIDABLE AISI 304
	Chapa perforada con agujeros colisos alternos tipo V (3mm)	1	ACERO INOXIDABLE AISI 304
BASTIDOR	Perfil rectangular 70x30	2	ASTM A-36
	Perfil de acero en U 100X50	1	ASTM A-36
	Ballestas Datsun 1200	2	ACERO 9260
	Bujes	8	CAUCHO
	Amortiguadores	2	YOKOBO ULTRA
	Tornillos 1/2X3"	8	ASTM A-325
	Tuercas 1/2"	8	ASTM A-325
	Rodelas de presión	8	ASTM A-325
	Rodelas normales	8	ASTM A-325
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Polea 4" ½	1	ALUMINIO ASTM A-329
	Banda B 81 ZSG	1	DUNLOP
	Banda B 63 ZSG	1	DUNLOP
	Banda B 71 ZSG	1	DUNLOP

Fuente: Autores

5.1.8 Componentes de la máquina trilladora MADE T2100

La lista de componentes de la máquina trilladora rediseñada se detalla a continuación.

Tabla 2-5: Lista de componentes

PRODUCTORES DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA			
COMPONENTES DE LA MÁQUINA TRILLADORA T2100			
Número	Cantidad	Denominación	Material
1	1	Bastidor	Perfil rectangular 70x30 ASTM A-36
2	1	Tamiz de quinua	Lamina de acero inoxidable AISI 304
3	1	Tamiz de granos	Lamina de acero inoxidable AISI 304
4	1	Estructura de la zaranda	Madera Ceique
5	2	Paneles perforados	Lamina de acero inoxidable AISI 304
6	1	Carcasa de la trilladora	Tol negro 1,5mm ASTM A-569, Ángulo 1" ASTM A-36
7	1	Base zaranda saca tallos	Tol galvanizado de 1,5mm ASTM A-653
8	1	Zaranda saca tallos	Tol galvanizado de 1,5mm ASTM A-653
9	1	Tapa de la carcasa	Tol negro 1,5mm ASTM A-569
10	1	Saca tallos	Tol negro 2mm ASTM A-569
11	1	Contenedor de gasolina	Tol negro 1,5mm ASTM A-569
12	1	Cóncavo	Ángulo 2" ASTM A-36
13	1	Tapa del cóncavo	Tol negro 1,5mm ASTM A-569
14	1	Rodillo trillador	Pletina 2x1/4pulg, Plancha de acero, Plancha fleje 1/16.
15	1	Tolva de entrada	Tol negro 1,5mm ASTM A-569
16	1	Subconjunto ventilador	Tol negro 1,5mm ASTM A-569, pletina de 1"
17	1	Polea del motor	Aluminio ASTM A-329
18	1	Polea del rodillo trillador (lado derecho)	Aluminio ASTM A-329
19	1	Polea del rodillo trillador (lado izquierdo)	Aluminio ASTM A-329
20	1	Polea zarandas	Aluminio ASTM A-329
21	1	Polea del ventilador	Aluminio ASTM A-329
22	1	Brazos del sistema de transmisión a la zaranda	Madera Seique
23	1	Motor	Hierro Fundido
24	1	Tapa de rodillo trillador	Tol negro 1,5mm ASTM A-569

Fuente: Autores

5.2 Selección del sistema de transmisión

Tabla 3-5: Sistema de transmisión motor-rodillo trillador

Sistema de transmisión motor-rodillo trillador	Descripción del proceso		
	Datos iniciales	dp=100mm P=20Hp	
		Dp=225mm C=803mm	
	Cálculo de relación de transmisión	i=2,25	
	Cálculo de la velocidad angular.	N1=3600rpm N2=1600rpm	
	Cálculo de la potencia de diseño	Factor de servicio	1,3
		Potencia de diseño	26Hp
		Sección de correa más adecuada	B
	Longitud de correa	Distancia entre centros	Cn=794mm
		L=2121,4mm	Ln=2103mm
		Perfil B	N° 81
	Arco de contacto menor	$\alpha_1=170,97^\circ$	<180°
	Número de correas	Factor C2	0,98
		Potencia de la correa	P1=25,48
		Factor C3	0,98
		Z	1correa
	Momento Torsor en la polea	Velocidad tangencial	v=18,85
		Fuerza centrífuga	Tc=71,06N
		Fuerza en el lado tirante	T1=884,99N
		Fuerza en el lado flojo	T2=93,93N
		Torque	M=88,99N
	Durabilidad de la banda	En horas	H=22 878,86h
		En años	H=7,94años
	Selección de poleas	Motor dp=100mm	PHP 1-B110-SDS.
		Rodillo trillador Dp=225mm	PHP 1-B200-SK
	Selección de chumaceras	Rodillo trillador	FY 1.1/4 TM; Rodamiento: YAR 207.104

Fuente: Autores

Tabla 4-5: Sistema de transmisión rodillo trillador-zaranda

Sistema de transmisión rodillo trillador-zaranda	Descripción del proceso		
	Datos iniciales	dp=150mm Dp=400mm	
		P=20Hp C=373mm	
	Cálculo de relación de transmisión	i=2,67	
	Cálculo de la velocidad angular.	N1=1600rpm N2=600rpm	
	Cálculo de la potencia de diseño	Factor de servicio	1,3
		Potencia de diseño	26Hp
		Sección de correa más adecuada	B
	Longitud de correa	Distancia entre centros	Cn=371mm
		L=1651,39mm	Ln=1641mm
		Perfil B	N° 63
	Arco de contacto menor	$\alpha_1=140,65^\circ$	<180°
	Número de correas	Factor C2	0,93
		Potencia de la correa	P1=24,18Hp
		Factor C3	0,89
		Z	1correa
	Momento Torsor en la polea	Velocidad tangencial	v=12,57m/s
		Fuerza centrífuga	Tc=31,58N
		Fuerza en el lado tirante	T1=1313,39N
		Fuerza en el lado flojo	T2=99,98N
		Torque	M=37,37N
	Durabilidad de la banda	En horas	H=19 545,25h
		En años	H=6,79años
	Selección de poleas	Zaranda Dp=400mm	Enviar a construir
		Rodillo trillador dp=150mm	PHP 2-B154-5K.
	Selección de chumaceras	Rodillo trillador	FY 1.1/4 TM; Rodamiento: YAR 207.104

Fuente: Autores

Tabla 5-5: Sistema de transmisión rodillo trillador-ventilador

Sistema de transmisión motor-rodillo trillador	Descripción del proceso		
	Datos iniciales	dp=63mm P=20Hp Dp=150mm C=767mm	
	Cálculo de relación de transmisión	i=0,42	
	Cálculo de la velocidad angular.	N1=1600rpm N2=3810rpm	
	Cálculo de la potencia de diseño	Factor de servicio	1,3
		Potencia de diseño	26Hp
		Sección de correa más adecuada	B
	Longitud de correa	Distancia entre centros	Cn=748mm
		L=1883,20mm	Ln=1846mm
		Perfil B	N° 71
	Arco de contacto menor	$\alpha_1=140,65^\circ$	<180°
	Número de correas	Factor C2	0,95
		Potencia de la correa	P1=24,7Hp
		Factor C3	1
		Z	1correa
	Momento Torsor en la polea	Velocidad tangencial	v=12,57
		Fuerza centrífuga	Tc=31,58N
		Fuerza en el lado tirante	T1=1245,83N
		Fuerza en el lado flojo	T2=59,50N
		Torque	M=37,37N
	Durabilidad de la banda	En horas	H=19123,41h
		En años	H=6,64años
	Selección de poleas	Ventilador dp=63mm	PHP 1-B62-SDS
		Rodillo trillador Dp=225mm	PHP 1-B200-SK
	Selección de chumaceras	Rodillo trillador	Designación: 5Y 1.1/16 TM; Rodamiento: YAR 206.101

Fuente: Autores

5.3 Resultado análisis de carga en los ejes

5.3.1 Eje del rodillo trillador

Se selecciona un acero **SAE 1018** (ver Anexo E), puesto que el eje no tendrá contacto directo con los granos a trillar, por lo que se procede a elegir el material por sus excelentes propiedades mecánicas, son diseñados para soportar grandes cargas en movimiento o cuando se encuentra estático.

Tabla 6-5: Factores de seguridad en el eje del rodillo trillador

Carga distribuida en función del peso	Qp=328,25 N/m	L= 0,520m
		P=170,69N
Carga distribuida en función de la fuerza de corte	Qc=1439,42 N/m	Fc=124,75N
		L= 0,520m
Momento Torsor	Peso polea d=225mm	P1=15,40N
	Peso polea d=150mm	P2=8,32N
	M1=88,99Nm	M2=91Nm
Momento plano xy	Mxy=90,39Nm	
Momento plano xz	Mxz=93,85Nm	
Momento Máximo	Mmáx=130,30Nm	
FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO $n_e = \frac{S_y}{\sigma'}$	Esfuerzo máx. de flexión del eje	$\sigma_x = 44,55MPa$
	Esfuerzo cortante máx.	$\tau_{xy} = 15,56MPa$
	Esfuerzo de Von Mises	$\sigma' = 52,07MPa$
	Resistencia a la fluencia	$S_y = 370MPa$
	Factor de seguridad estático	$n_e = 7$
FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO $n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_x}{S_e}}$	Esfuerzo medio	$\sigma_m = 26,95MPa$
	Límite de resistencia a la fatiga del eje en rotación	$S_e' = 220MPa$
	Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = 197,94MPa$
	Resistencia a la tracción	$S_{ut} = 370MPa$
	Factor de seguridad dinámico	$n_f = 3$

Fuente: Autores

5.3.2 Eje del ventilador

Tabla 7-5: Factores de seguridad en el eje del ventilador

Carga distribuida en función del peso	Qp=26,02 N/m	L= 0,460m
		P=11,97N
Momento Torsor	Peso polea d=63mm	P1=1,22N
Momento Máximo	Mmáx=37,37Nm	
FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO $n_e = \frac{S_y}{\sigma}$	Esfuerzo máx. de flexión del eje	$\sigma_x = 19,34 MPa$
	Esfuerzo cortante máx.	$\tau_{xy} = 0,26 MPa$
	Esfuerzo de Von Mises	$\sigma' = 19,34 MPa$
	Resistencia a la fluencia	$S_y = 370 MPa$
	Factor de seguridad estático	$n_e = 19$
FACTOR DE SEGURIDAD DINÁMICO $n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_x}{S_e}}$	Esfuerzo medio	$\sigma_m = 0,45 MPa$
	Límite de resistencia a la fatiga del eje en rotación	$S_e' = 220 MPa$
	Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = 197,94 MPa$
	Resistencia a la tracción	$S_{ut} = 370 MPa$
	Factor de seguridad dinámico	$n_f = 10$

Fuente: Autores

5.4 Resultado de análisis de cargas en el bastidor

Masa de la máquina=271,42Kg

Se ubican sobre la estructura las cargas que soporta la estructura

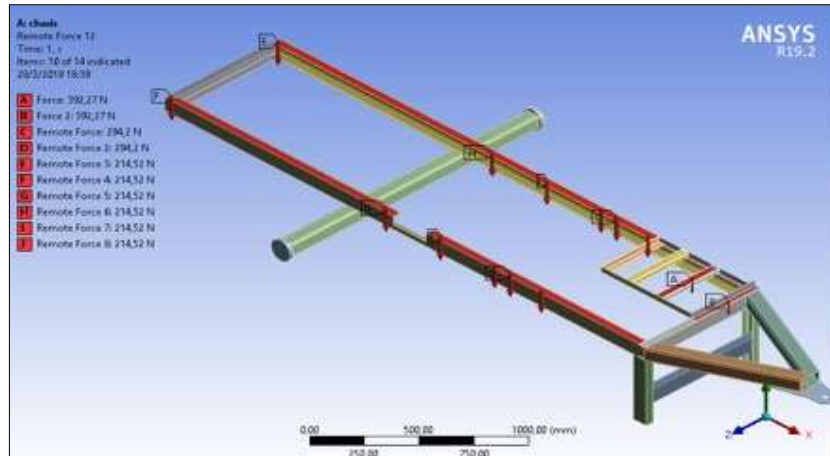


Figura 1-5: Asignación de cargas
Fuente: Autores

El esfuerzo que ejercen los elementos en la estructura hace que se deforme, el valor máximo que se deforma es 0,76mm con un esfuerzo máximo de 65,66MPa.

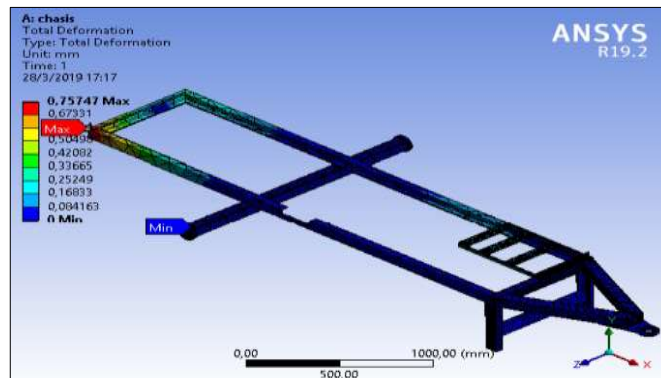


Figura 2-5: Valor máximo de la deformación
Fuente: Autores

El factor de seguridad es superior a 1 por lo tanto la estructura va a soportar las cargas a la que va a estar expuesta.

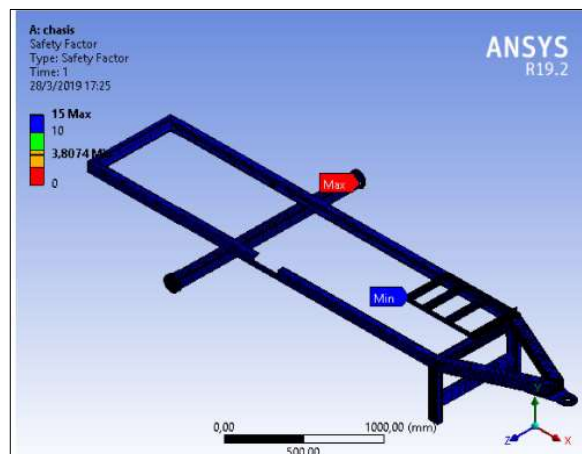


Figura 3-5: Factor de seguridad
Fuente: Autores

5.5 Prueba de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron con 110Kg de panoja de quinua, cada carga contiene 22Kg, en 5 montones suman los 110Kg.



Figura 4-5: Cargas de panoja de quinua
Fuente: Autores

Se procede al ingreso de la panoja en la tolva.



Figura 5-5: Ingreso de panoja
Fuente: Autores

Se tiene como resultado el saco de grano trillado. Un quintal de grano trillado equivale a 46,4Kg.



Figura 6-5: Obtención del grano trillado
Fuente: Autores

Mediante el rediseño implementado a la máquina trilladora multigrano T2100, el proceso de trillado de 46,4Kg toma un tiempo de 12min, en una hora se consigue 232Kg equivalente a 5 quintales. Logrando una productividad de 400% en comparación al proceso de trillado anterior de un quintal de grano por cada hora, además redujo el porcentaje de desperdicio de grano.



Figura 7-5: Pesaje de quinua trillada en Kg
Fuente: Autores







5.6 Diagrama de proceso de trillado de quinua mediante la máquina trilladora multigrano T2100

Tabla 8-5: Diagrama de procesos de trillado de 1 quintal de quinua

<i>DIAGRAMA DE PROCESOS DE TRILLADO DE 1QQ DE QUINUA</i>				
Tipo de diagrama	Diagrama de procesos tipo material		Empresa	Productores vinculados a las exportadoras de quinua
Método	Técnico		Elaborado por:	Autores
Operación	Trillado de quinua		Fecha:	2019-05-20
Nº actividad	Distancia(m)	Tiempo (min)	Símbolo	Descripción
1	0	1	▼	La panoja se almacena en la tolva
2	0	2	●	El operador ingresa la panoja al rodillo trillador





Fuente: Autores

Tabla 8-5 (Continúa): Diagrama de procesos de trillado de 1 quintal de quinua

3	0	2		El cóncavo (golpeador trillador) sacude los granos
4	0	2		Las ramas trilladas se dirigen a la zaranda saca tallos
5	1	2		Los granos son venteados por el ventilador
6	0	1		Luego del venteado se dirigen a la zaranda de granos para obtener un grano limpio
7	1	1		Los granos limpios salen por el canal de producto terminado
8	0	1		El operador recoge los granos de la tolva de productos terminados

Fuente: Autores

Tabla 9-5: Resumen del diagrama de proceso de trillado de quinua mejorado.

SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
	5	0	8
	0	0	0
	2	2	3
	1	0	1
TOTAL	8	2	12min

Fuente: Autores

Al reconstruir las partes conflictivas en la máquina, se aumentó la productividad del proceso de trillado de quinua, cebada, avena y trigo. Con el anterior diseño trillaba 1 quintal por cada hora (1qq/h), actualmente trilla 1 quintal en 12 min, es decir se incrementó 4 veces la productividad en una hora que equivale a un 400% de eficiencia.

5.7 Análisis de la productividad

Se registró 10 tomas, la productividad se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Productividad} = \frac{1\text{qq}}{12\text{min}} * \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = 5\text{qq/h}$$

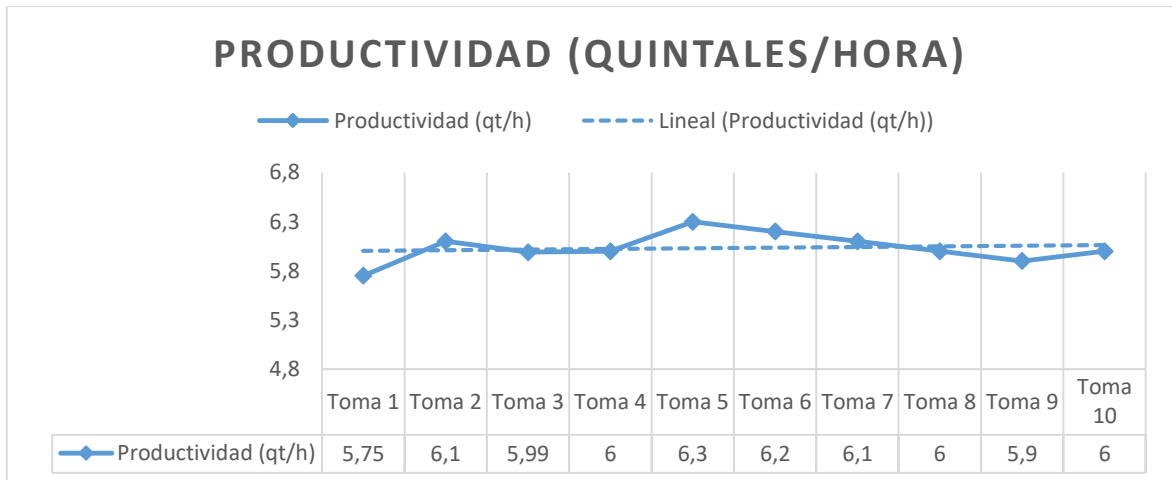


Gráfico 1-5: Análisis de la productividad

Fuente: Autores

En promedio mediante el rediseño y construcción de la máquina trilladora se obtiene cinco quintales por hora.

5.8 Comparación proceso de trillado diseño anterior vs diseño mejorado

Tabla 10-5: Resumen del proceso de trillado anterior.

SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
●	25	0	40
■	0	0	0
➔	10	10	15
▼	5	0	5
TOTAL	40	10	60min

Fuente: Autores

Tabla 11-5: Resumen del diagrama de proceso de trillado de quinua mejorado.

SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
●	5	0	8
■	0	0	0
→	2	2	3
▼	1	0	1
TOTAL	8	2	12min

Fuente: Autores

Mediante el análisis de los cuadros de resumen de los diagramas de proceso, diseño anterior y diseño mejorado, se puede apreciar que mediante la implementación del nuevo diseño de la máquina trilladora multigrano T2100 el proceso de trillado es 4 veces más eficiente que el anterior, debido a que se obtiene 1 quintal en menos tiempo y con granos de mejor calidad.

Con la reducción de actividades se demuestra la optimización del proceso de trillado, debido a que no hay tiempos de espera, ni tiempos muertos, en comparación al diseño anterior, que debe volver a trillar la panoja para evitar desperdicios.

El volumen de producción utilizado para realizar las pruebas es 110Kg de panoja de quinua, obteniendo los resultados que se muestran en las tablas de resumen. El diseño anterior de la máquina trilla 1 quintal por hora con residuos de panoja en el grano, el nuevo diseño obtiene 1 quintal en 12 min, es decir en una hora trilla 5 quintales, un incremento del 400% con un grano en excelentes condiciones de calidad, sin residuos de panoja.

Tabla 12-5: Comparación de grano trillado



Fuente: Autores

Tabla 13-5: Comparación situación inicial vs situación mejorada de la máquina trilladora T2100

N°	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ANTES	DESPUÉS
1	TRILLADOR A T2100	Se modificó varias partes de la trilladora: el rodillo trillador, el cóncavo, el ventilador, la zaranda, el chasis, el sistema de transmisión.		
2	RODILLO TRILLADOR	Se cambió de diseño porque la distancia entre los dedos del rodillo es muy amplia, generando que la paja no se triture correctamente. Contiene 6 cuchillas.		

Fuente: Autores

Tabla 13-5 (Continúa): Comparación situación inicial vs situación mejorada de la máquina trilladora T2100

3	CÓNCAVO	El nuevo cóncavo ayuda a extraer los granos de las panojas de forma eficiente, por su diseño conformado por dos cuchillas iniciales y de ángulos que actúan como golpeadores de la panoja.		
4	VENTILADOR	Se cambió de eje porque el anterior se rompió, se rectificó las hélices del ventilador para centrar en el eje junto con la carcasa, se modificó las aberturas laterales de la carcasa para regular el flujo de aire.		
5	ZARANDA DE GRANOS	La madera de la zaranda anterior estaba dañada, se cambió de diseño para que tenga más pendiente y el grano pueda fluir con facilidad, se agregó tamices para la quinua, cebada, avena y trigo.		

Fuente: Autores

Tabla 13-5 (Continúa): Comparación situación inicial vs situación mejorada de la máquina trilladora T2100

6	BASTIDOR	El anterior bastidor ocasionaba dificultad al girar en las curvas. Se implanto un diseño con neumáticos únicamente en la parte posterior para obtener facilidad al girar en curvas al llevar de un lugar a otro, y también un soporte que ayuda a sostener la máquina cuando va a trillar.		
7	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Se eliminó el retro alimentador de residuos de granos en la panoja porque con el nuevo sistema de cernido se obtiene un grano limpio sin la necesidad de volver a trillar, el rodillo trillador da movimiento a la zaranda por medio de unos brazos de madera, también da movimiento al ventilador en sentido inverso.		

Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. ESTUDIO DE COSTOS

6.1 Análisis de costos

Para el análisis de costos se considera los siguientes parámetros:

- Costos directos
- Costos indirectos

6.1.1 Costos directos

Son todos los gastos necesarios para la reconstrucción de la maquina trilladora multigrano T2100.

Tabla 1-6: Costos directos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
RODILLO TRILLADOR			
1	Plancha de acero 1220x2440	\$40,00	\$40,00
1	Platina 2x1/4pulg,	\$10,00	\$10,00
1	Plancha fleje 1/16	\$25,00	\$25,00
3	Platina 3/8x1/8	\$9,00	\$27,00
36	Pernos 7/8x2	\$0,35	\$12,60
	Sub Total		\$114,60

Fuente: Autores

Tabla 1-6 (Continúa): Costos directos

CÓNCAVO			
1	Ángulo 2"	\$10,00	\$10,00
2	Ángulo 1"	\$10,00	\$20,00
6	Pernos 3/4x3"	\$0,40	\$2,40
6	Tuercas 3/4"	\$0,25	\$1,50
1	Chapa perforada en forma rectangular redondeada	\$20,00	\$20,00
	Sub Total		\$33,90
VENTILADOR			
1	Eje de transmisión 1"	\$20,00	\$20,00
2	Chumaceras 1"	\$20,00	\$40,00
2	Prisioneros 1/8X1/2"	\$1,00	\$2,00
	Sub Total		\$62,00
ZARANDA DE GRANOS			
1	Madera Ceique	\$100,00	\$100,00
100	Tornillos de madera de 1/8x1"	\$0,05	\$5,00
100	Clavos de 1/2"	\$0,05	\$5,00
1	Tamiz de quinua	\$30,00	\$30,00
1	Tamiz de cebada, trigo, avena	\$30,00	\$30,00
	Subtotal		\$170,00
BASTIDOR			
2	Perfil rectangular 70x30	\$45,00	\$90,00
1	Perfil de acero en U 100X50	\$25,00	\$25,00
1	Platina 2x1/4pulg,	\$1,00	\$1,00
2	Ballestas Datsun 1200	\$60,00	\$120,00
8	Bujes	\$2,00	\$16,00
2	Amortiguadores Luv Dimax	\$30,00	\$60,00
8	Tornillos 1/2X3"	\$1,00	\$8,00
8	Tuercas 1/2"	\$0,25	\$2,00
8	Rodelas de presión	\$0,25	\$2,00
8	Rodelas normales	\$0,25	\$2,00
	Subtotal		\$326,00
SISTEMA DE TRANSMISIÓN			
1	Polea 4" ½	\$8,00	\$8,00
1	Banda B 81 ZSG	\$33,00	\$33,00
1	Banda B 63 ZSG	\$33,00	\$33,00
1	Banda B 71 ZSG	\$33,00	\$33,00
	Subtotal		\$107,00

Fuente: Autores

Tabla 1-6 (Continúa): Costos directos

TAPA DE INGRESO DE LA PANOJA AL RODILLO			
1	Tol 1/16	\$10,00	\$10,00
2	Bisagras	\$2,00	\$4,00
	Subtotal	\$14,00	
OTROS MATERIALES			
1	Galón de Pintura verde	\$15,00	\$15,00
2	Litros de pintura negra	\$7,00	\$14,00
1	Litro de pintura naranja	\$7,00	\$7,00
5	Galones de tiñer	\$4,00	\$20,00
2	Fundas de guaipe	\$2,00	\$4,00
5	Kilos de electrodos E6011	\$5,00	\$25,00
1	Batería recargable	\$100,00	\$100,00
	Subtotal	\$185,00	
	TOTAL	\$1 012,50	

Fuente: Autores

6.1.2 Costos Indirectos

Para el análisis se considera el tiempo de trabajo de cada máquina y equipo utilizado, con lo cual se calcula costo hora de las máquinas utilizadas.

Tabla 2-6: Descripción de equipos utilizados

DESIGNACIÓN	EQUIPOS	MARCA	POTENCIA	OBSERVACIÓN
E1	Soldadora Mig Mag	MILLER	3HP	
E2	Soldadora plasma	LINCOLN	3HP	
E3	Amoladora	DEWALT	2 HP	
E4	Taladro manual	DEWALT	1/2HP	
E5	Taladro pedestal	TRUPER	5HP	
E6	Compresor	PORTEN	2HP	
E7	Torno	LAFAYED	2HP	
E8	Cizalla	RALAM		MANUAL
E9	Sierra eléctrica de mesa	MAQUITA	10HP	
E10	Prensa Hidráulica	MECAMAQ		MANUAL
E11	Tronzadora	DEWALT	2HP	
E12	Roladora	NARGESA		MANUAL

Fuente: Autores

Tabla 3-6: Tiempo de trabajo de las máquinas.

ACTIVIDAD	DETALLE	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
TRABAJO 1	CORTE PLANCHA DE ACERO		30										
TRABAJO 2	PLATINA 2X1/4PLG	18										25	30
TRABAJO 3	PLANCHA FLEJE 1/16			30	180								
TRABAJO 4	PLATINA 3/8X1/8											192	
TRABAJO 5	ANGULO 2"				30							10	20
TRABAJO 6	ANGULO 1"	112										16	
TRABAJO 7	CHAPA PERFORADA RECT,			20									20
TRABAJO 8	ACOPLE EN EL CENTRO	10		20		20					20		
TRABAJO 9	EJE DE TRANSMISIÓN 1"				20			40					
TRABAJO 10	HÉLICES			30									
TRABAJO 11	MADERA CEIQUE						60			180			
TRABAJO 12	ENSAMBLE DE ZARANDA				240								
TRABAJO 13	TAMIZ DE QUINUA	20		20									
TRABAJO 14	TAMIZ DE CEBADA, AVENA	20		20									
TRABAJO 15	PERFIL RECTANGULAR 70X30	25		30								50	
TRABAJO 16	PERFIL EN U 100x50	40		25									
TRABAJO 17	PLATINA 2X1/4PLG	20		25	10								
TRABAJO 18	BALLESTAS	35	25										
TRABAJO 19	POLEA 4"1/2 PULG							60					
TRABAJO 20	TOL 1/16	60		20					10				
TRABAJO 21	BALANCEO ESTATICO												
TRABAJO 22	PRUEBAS												
	TOTAL minutos	360	55	240	480	20	60	100	10	180	20	293	70
	TOTAL horas	6	0,917	4	8	0,333	1	1,667	0,167	3	0,333	4,883	1,167

Fuente: Autores

El costo hora de cada máquina se detalla a continuación:

Tabla 4-6: Costos indirectos

COSTOS HORAS MÁQUINAS			
EQUIPOS	CADA HORA	TIEMPO EN HORAS	PRECIO (\$)
E1	20	6,00	120,00
E2	20	0,92	18,33
E3	10	4,00	40,00
E4	10	8,00	80,00
E5	10	0,33	3,33
E6	10	1,00	10,00
E7	20	1,67	33,33
E8	8	0,17	1,33
E9	15	3,00	45,00
E10	20	0,33	6,67
E11	10	4,88	48,83
E12	15	1,17	17,50
MANO DE OBRA			800,00
		TOTAL	1224,33

Fuente: Autores

6.1.3 Costo total

Se tiene un costo total de la máquina trilladora multigrano T2100 de \$ 2236,83 (Dos mil doscientos treinta seis con ochenta tres centavos de dólar americano) como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5-6: Costo total

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (\$)
1	COSTOS DIRECTOS	1012,50
1	COSTOS INDIRECTOS	1224,33
TOTAL		2236,83

Fuente: Autores

CAPÍTULO VII

7. PLAN DE MANTENIMIENTO Y DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO SEGURO AL OPERAR LA MÁQUINA TRILLADORA MADE T2100

7.1 Plan de mantenimiento

A fin de asegurar el correcto funcionamiento de la trilladora y tomando en cuenta que está sujeta a un proceso irreversible de desgaste, se realiza el siguiente plan de mantenimiento el cual enfatiza los elementos que principalmente presentarán fallas con el paso del tiempo.

7.1.1 Registro de equipo

La ficha técnica de la trilladora MADE T2100 contiene los datos técnicos de la máquina lo cual es relevante cuando se desea obtener información sobre el diseño del equipo, capacidad, consumo energético, entre otros. Esta información es importante a la hora de evaluar el estado de la máquina y su funcionamiento, además se establece las condiciones bajo las que opera la máquina.

Tabla 1-7: Ficha técnica MADE T2100


		PRODUCTORES DE QUINUA NATIVA ORGÁNICA		Código	RE-MAQ-TRI
		REGISTRO DE EQUIPO		Versión	1
NOMBRE DEL EQUIPO	Trilladora de granos	DIMENSIONES Y PESO			
MARCA	MADE	ALTURA	1,65 m		
MODELO	T2100	ÁREA OCUPADA	1,5 m x 4 m		
AÑO DE REDISEÑO	2018	PESO NETO	365 Kg		
FABRICANTE	Sr. Godfrey Silvestre Paguay Chinachi	MOTOR			
ORIGEN	Licto – Chimborazo – Ecuador	TIPO	Motor de combustión		
DIRECCIÓN	Calle principal a una cuadra de la tenencia política de Licto	POTENCIA	20HP		
		RPM	3600		
Capacidad	5 quintales de grano por cada hora	COMBUSTIBLE	Gasolina (extra)		



Fuente: Autores

7.1.2 Advertencias Generales

Tabla 2-7: Advertencias generales

	<p>Este documento es una herramienta necesaria para el conocimiento previo de la trilladora, Se recomienda al usuario u operador leer atentamente este manual y que siga las instrucciones indicadas, Su lectura y entendimiento es obligatoria antes de hacer uso de la máquina, ya que es necesario conocer todos sus aspectos de funcionamiento, seguridad y mantenimiento.</p>
---	--

Fuente: Autores

- El buen funcionamiento depende específicamente de su correcta manipulación y uso adecuado de la máquina.
- Se recomienda utilizar piezas de repuesto con características similares a las originales para que no exista fallos en la máquina.

- La reparación de esta máquina, así como el mantenimiento se debe realizar por personas calificadas y bajo la autorización de los jefes superiores.
- Se proporcionará a los operarios que manejen esta máquina la información y capacitación necesaria para su correcto manejo.
- Se debe poner a disposición de los operarios este manual de instrucciones, para evitar incidentes, accidentes o descomposición de la máquina.
- Se debe llevar un registro de mantenimiento periódico, revisiones y averías de esta máquina.

7.1.3 Advertencias Generales de seguridad

ATENCIÓN: EL MAL USO ACOMPAÑADO DE UN INCORRECTO MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA, PUEDE PRODUCIR LESIONES FISICAS AL OPERARIO Y PERSONAS A SU ALREDEDOR, DEBIDO A ESOS INCOVENIENTES ES OBLIGATORIO SEGUIR ESTRICTAMENTE LAS NORMAS E INSTRUCCIONES SIGUIENTES.

Tabla 3-7: Advertencias generales de seguridad

ADVERTENCIAS GENERALES DE SEGURIDAD	ACTIVIDADES
NO TOCAR LAS PARTES EN MOVIMIENTO	Prohibido introducir las manos, dedos o cualquier otra parte del cuerpo en los componentes de la máquina que se encuentren en movimiento.
NO USAR LA MÁQUINA SIN LAS PROTECCIONES MONTADAS	Verificar que el montaje adecuado de las protecciones de la máquina (cubre correa).
UTILIZAR SIEMPRE LOS EPI NECESARIOS	Utilizar los equipos de protección individual (gafas, orejeras, guantes, mascarilla y ropa de trabajo) a fin de protegerse de los riesgos propios de la actividad.

Fuente: Autores

Tabla 3-7 (Continúa): Advertencias generales de seguridad

MÁQUINA EN REPOSO	El sistema eléctrico debe desconectarse cuando la máquina no se encuentre en funcionamiento.
ZONA DE TRABAJO	Limpia periódicamente el área de trabajo.
MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS Y PERSONAS AJENAS	El uso de la máquina es exclusivo para los trabajadores, se prohíbe el uso por parte personas particulares a fin de garantizar su seguridad.
PRECAUCIONES PARA EL CABLE DE ALIMENTACIÓN	El cable de alimentación debe mantenerse alejado del calor, sustancias inflamables y superficies cortantes. Ubicar el cable en un área estratégica donde se evite pisarlo o aplastarlo con algún objeto,
INSPECCIONES PERIÓDICAS	Identificar la existencia de anomalías a fin de corregirlas. Verificar el estado óptimo de los sistemas de conexión eléctrica y mecánica. Verificar que los pernos, tuercas y demás dispositivos de sujeción estén bien ajustados.
CUIDADO	Antes de realizar una actividad peligrosa utilizar el sentido común. No operar la máquina bajo el efecto del alcohol, drogas o medicinas que puedan afectar la coherencia del operario.
UTILIZAR SÓLO PIEZAS DE REPUESTO ORIGINALES	Evitar el uso de piezas de repuesto no originales ya que producen desperfectos en el funcionamiento adecuado de la máquina.
NO MODIFICAR LA MÁQUINA	Antes de realizar una modificación en la máquina consultar con el personal técnico capacitado ya que cualquier modificación no autorizada puede desembocar en graves accidentes o lesiones.

Fuente: Autores

Tabla 3-7 (Continúa): Advertencias generales de seguridad

NO TOCAR LAS PARTES CALIENTES DE LA MÁQUINA	No tocar los componentes calientes de la máquina como los motores a fin de evitar quemaduras.
PARA UTILIZAR CORRECTAMENTE LA MÁQUINA	Adiestrar al operario sobre la ubicación y el funcionamiento de todos los mandos y de las características de la máquina.

Fuente: Autores

CONSERVAR ESTAS INSTRUCCIONES DE USO, SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO Y PONERLAS EN UN LUGAR VISIBLE PARA LOS OPERARIOS QUE HAN DE UTILIZAR ESTA MÁQUINA.

Puesta en marcha de la máquina

7.1.3.1 Condiciones previas a la puesta en marcha

- Encender y asegurarse que los motores estén funcionando correctamente.
- Comprobar el buen estado de las líneas de suministro de energía eléctrica de la máquina.
- Inspeccionar que las bandas estén en óptimas condiciones.
- Despejar de la máquina cualquier agente u objeto extraño que pueda obstruir o alterar el buen funcionamiento.

7.1.3.2 Puesta en marcha

- Alimentar la máquina al suministro eléctrico.
- Dar inicio a la producción de grano trillado.
- Para detener la producción se debe reducir la velocidad del motor hasta que se detenga en su totalidad.


7.1.3.3 Al finalizar la producción

- Asegurarse que la máquina haya trillado todos los granos.

- Cortar el suministro eléctrico de la máquina.
- Limpiar el lugar de trabajo.

7.1.4 *Mantenimiento de la máquina*

Tabla 4-7: Recomendaciones para el mantenimiento de la máquina

	<p>El operario de mantenimiento deberá tener la cualificación profesional adecuada, de manera que se puedan evitar posibles accidentes derivados del uso de la máquina.</p>
---	---

Fuente: Autores

7.1.4.1 *Tareas de preparación previas al mantenimiento*

Antes de comenzar las tareas de mantenimiento se deberán haber realizado las tareas de preparación que se detallan a continuación:

- La iluminación debe ser la suficiente para poder realizar correctamente las labores de mantenimiento.
- Mantener el lugar de trabajo limpio y en orden.
- Tener claro qué tipo de mantenimiento se le va a dar a la máquina.

7.1.4.2 *Tareas de mantenimiento*

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente se debe proceder a realizar el mantenimiento respetando estrictamente los siguientes parámetros de operación:

- Asegurarse de tener las herramientas, dispositivos y elementos necesarios para realizar el mantenimiento.
- Antes de trabajar en el mantenimiento asegurarse que la máquina está funcionando correctamente.

- Cortar la alimentación eléctrica de la máquina.
- Usar la vestimenta adecuada y los EPI necesarios para la labor de mantenimiento.
- Realizar las labores de mantenimiento planificadas.

7.1.4.3 Operaciones después del mantenimiento

- Después de terminar el mantenimiento, se debe limpiar las partes manchadas con aceites o grasas.
- Retirar los desechos sólidos y poner en el lugar establecido para los mismos.
- Alimentar la máquina al suministro eléctrico y neumático.
- Revisar el uso correcto de la máquina.
- Registrar los datos de mantenimiento de la máquina.



7.1.4.4 Sugerencias para un mantenimiento básico adecuado

- Mantener las bandas limpias.
- Comprobar visualmente que los conectores eléctricos estén en buen estado.

NOTA: Para llevar a cabo todas estas tareas de mantenimiento, se deberá tener una ficha de mantenimiento donde se tome nota de todas las acciones realizadas.

7.1.4.5 Plan de mantenimiento

Tabla 5-7: Revisión básica de mantenimiento de la Trilladora Made T2100

	Plan de mantenimiento de la Máquina Trilladora Multigrano Made T2100		
	Tabla 5-7:	Carrera de Ingeniería Industrial	

Revisión básica de mantenimiento de la Trilladora Made T2100	Diariamente	Semanalmente	Mensualmente	Trimestralmente	Anualmente	Según las necesidades
ACTIVIDAD						
Trilladora Made T2100						
Maquina completa	V	L				R
Ajuste adecuado de pernos y tornillos	A					
Estructura de la maquina		V				R
Tanque de gasolina	V					R
Manguera del tanque de gasolina	V					C
Motor JPG 620						
Motor completo	L		V			R
Nivel de aceite, fugas de aceite	V			C		
Filtro de aire		L		C		
Bujía del motor			A		C	
Encendido del motor			V			R
Sistema eléctrico			V			R
Batería			A			C
Rodillo Trillador y cóncavo						
Chumaceras del rodillo		L		E		C
Eje del rodillo					V	C
Residuos de la panoja en los dientes	L					
Distancia entre el rodillo trillador y el golpeador				A		
Prisioneros del eje			V	A		
Zarandas y tamices						
Zaranda saca tallos		L				R
Zaranda de granos		L				R
Tamices		L				R

Fuente: Autores

Tabla 5-7 (Continúa): Revisión básica de mantenimiento de la Trilladora Made T2100

Sistema de transmisión						
Correas	V					C
Alineación de las correas	A					
Tensado de las correas	A					
Poleas				V		C
Brazos del sistema de transmisión				V		R
Ventilador						
Aletas del rodillo				A		R
Eje del rodillo					V	C
Chumaceras		L				C
Prisioneros del eje			V	A		
Chasis						
Amortiguadores				V		C
Ballestas		L		A		R
Neumático	A					C

Fuente: Autores


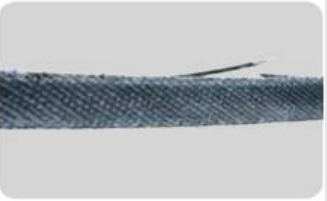

Tabla 6-7: Designación de las variables del tiempo

Nomenclatura	Actividad
V	Verificar o revisar
L	Limpiar
E	Lubricar
R	Reparar
A	Ajustar o comprobar
C	Cambiar

Fuente: Autores



Tabla 7-7: Ficha auxiliar de mantenimiento

	Sistema de transmisión por correas y poleas		
	Tabla 7-7:	Carrera de Ingeniería Industrial	

Problemas	Causa	Soluciones
<p>Grietas en los costados y en el dorso.</p> 	Deslizamiento de la correa, ocasionado un calor excesivo y elevando la temperatura.	Ajuste más la tensión entre las dos poleas.
	Temperaturas extremas como el frío y el calor.	Corrija los factores que ocasiona estos excesos en la temperatura.
	La correa ha llegado al fin de su vida útil.	Cambiar la correa por una nueva.
<p>Cubierta lateral estriada.</p> 	Desalineación.	Asegúrese que los ejes y las poleas estén alineados.
	Correa demasiado ancha.	Mediante un rediseño, utilizar el ancho de la polea adecuada.
	Polea averiada.	Reemplace la polea.
	Fricción de algún objeto contra la polea.	Elimine el obstáculo.
<p>Vibración irregular de la correa.</p> 	Tención insuficiente.	Asegúrese que la correa este apropiadamente tensionada.
	Eje desbalanceado.	Verifique que cada eje este balanceado.
	Poleas no balanceadas.	Utilice poleas dinámicamente balanceadas
	Bastidor o ejes muy livianos.	Investigue la posibilidad de remplazar con ejes o bastidores más pesados.



Fuente: Autores

Tabla 7-7 (Continúa): Ficha auxiliar de mantenimiento

<p>Correa rota.</p> 	Excesivas cargas de choque o cargas de arranque demasiadas pesadas.	Comprobar la tensión, ya que puede ser necesario rediseñar un nuevo sistema de transmisión.
	Objetos que caen sobre la correa o se incrustan en la polea.	Cubra la protección utilizando un sistema de mallado fino.
	Cuerdas tensoras rotas, por la mala manipulación.	Seguir el procedimiento correcto, disminuyendo las distancias entre las poleas para que se pueda deslizar correctamente la correa al momento de instalarla y retirarla.
	Almacenamiento inadecuado de las correas.	Almacenar las correas en sitios oscuros, fríos y bastante secos, en un lapso no mayor a seis años, debido a que después pierden su vida útil un 10 % por año.
<p>Volteo de la correa</p> 	Hilos tensores rotos de la correa.	No hacer palanca entre la polea y la correa al momento de su ubicación, seguir el procedimiento correcto.
	Transmisión sobrecargada.	Verificar y rediseñar un nuevo sistema de transmisión.
	Desalineación entre la polea y el eje.	Corrija la alineación, mediante la ayuda de una regla o una cuerda en la superficie de las poleas.
	Ranuras desgastadas de la polea.	Remplazar por una nueva polea.

Fuente: Autores




Tabla 7-7 (Continúa): Ficha auxiliar de mantenimiento

<p>Deterioro o reducción de la vida útil de la correa.</p> 	<p>Poleas con imperfecciones (rebabas) o desgaste en sus ranuras.</p>	<p>Verificar con un medidor de galgas, las ranuras y si existe un desgaste excesivo con las medidas originales (tolerancia) proceder a cambiar de polea.</p>
	<p>Contaminación de la correa con productos químicos corrosivos, aceites, o grasas</p>	<p>Limpiar la correa con la ayuda de agua con detergente, o a su vez con desengrasado no inflamable ni tóxico.</p>
<p>Calentamiento excesivo en las chumaceras</p> 	<p>Falta o exceso de lubricantes en la chumacera.</p>	<p>Purgar la grasa y lubricar de una forma correcta y con el tipo de grasa media que va de una temperatura de 30 a 120 °C.</p>
	<p>Eje torcido, vibraciones excesivas.</p>	<p>Corregir el eje y verificar el balanceamiento del rotor. Verificar el origen de la vibración y corregirla.</p>
	<p>Tensión excesiva en las correas.</p>	<p>Ajustar la tensión de las bandas</p>
<p>Observaciones: Una transmisión bien diseñada y con un buen mantenimiento, va a prolongar la vida útil de una correa en (v) de 3 a 5 años, y de la polea de 10 a 20 años, dependiendo el uso que se lo dé.</p>		

Fuente: Autores


Tabla 8-7: Ficha auxiliar de mantenimiento.

	Bastidor de la Trilladora multigrano Made T2100	
	Tabla 8-7: Carrera de Ingeniería Industrial	

Problemas	Que causa	Soluciones
Excesivo revote de la trilladora, al pasar por irregularidades de la carretera.	Amortiguadores en mal estado.	Cambio de los amortiguadores debido a su deterioro, cuando ya ha cumplido su vida útil media que es de 60 000 Km
Inclinación excesiva de la trilladora al pasar por una curva		
Ruidos extraños al pasar por baches, curvas e irregularidades de la carretera.		
Ruptura de las ballestas por el mal ajuste de las grampas o del tornillo.	Mal mantenimiento de las ballestas.	Realizar el mantenimiento rutinario cada 6000 km, como el ajuste de las grampas y del tornillo central, para prolongar su duración, y el cambio cuando estas sufren una ruptura o están totalmente planas por el fin de su vida útil.
Fractura de las ballestas por la sobrecarga, o un golpe demasiado fuerte.		
Deterioro por falta de limpieza y de engrase periodo con lubricante de base de grafito.		
Presión de inflado insuficiente provoca un desgaste insuficiente entre los hombros, mientras si es excesivo se produce un desgaste irregular en el centro.	Mal mantenimiento de los neumáticos.	Mantener la presión correcta de 30 PSI aproximadamente.
Reventón y pinchazo de un neumático, por la banda de rodadura demasiada desgastada.		Comprobar el límite legal permitido del dibujo de la goma que es de 1,6 mm y si encuentra por debajo proceder a cambiar el neumático.



Fuente: Autores







Tabla 9-7: Ficha auxiliar de mantenimiento

 Motor JF 620 20HP de la trilladora			
Tabla 9-7:		Carrera de Ingeniería Industrial	
Problemas	Que Causa	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo
<p>-Afectación en el rendimiento, la duración y averías serias en la parte interna del motor.</p> <p>-Paro automático del motor y no vuelve arrancar</p>	<p>Falta de aceite</p> 	<p>Verificar el nivel de aceite del cartel en un lugar plano cada vez que va a prender el motor. Si el nivel está por debajo del límite establecido, proceder a completarlo con el aceite recomendado.</p>	<p>Realizar el cambio de aceite en un lapso de tres meses, con el motor en caliente para tener una menor viscosidad y un mejor vaciado. Utilizando el aceite de motor de 4 tiempos SAE 10W-30, que cumple los requisitos de API.</p>
<p>-Reducción de la potencia de salida del motor, debido a la restricción del paso de aire al carburador.</p> <p>-Olor a gasolina al momento de arrancar el motor</p>	<p>Filtros sucios</p> 	<p>En lugares polvorientos de trabajo su revisión y limpieza debe ser periódicamente, utilizando un compresor con aire a presión y mojando con aceite la esponja del filtro para que ayude a retener las impurezas del ambiente.</p>	<p>Realizar el cambio del filtro, por cada cambio de aceite del motor.</p>
<p>-Problemas en el arranque del motor.</p> <p>-Consumo excesivo de gasolina.</p> <p>-Pérdida de potencia.</p>	<p>Bujía en mal estado</p> 	<p>Limpiar las bujías con la ayuda de un cepillo de alambre y desengrasante. Medir la separación entre electrodos y corregirla con una distancia de 0,70 – 0,80 mm.</p>	<p>Realizar el cambio de la bujía en un lapso de 6 meses, o dependiendo del tipo de bujía que está utilizando, según el número de electrodos.</p>
<p>Observaciones:</p> <p>-No se debe trabajar con el motor sin el filtro, debido que ingresaría impurezas del medio ambiente al interior del motor dañando la cámara de combustión y degradando desgastes en las paredes de los cilindros, dando lugar a un consumo excesivo de aceite.</p> <p>-Nunca trabajar con el motor sin aceite o un nivel bajo ya que no tendría lubricación entre sus piezas, alcanzando temperaturas altas y el motor se fundiría.</p>			

Fuente: Autores

Tabla 10-7: Matriz de equipos de protección personal

	Matriz de elementos de protección personal, para el operario de la trilladora Made T2100	
	Tabla 10-7: Carrera de Ingeniería Industrial	

Ítem	Imagen E.P.P	E.P.P	Descripción	Norma	Aplicaciones
1		Casco de seguridad H700.	Casco de polietileno de alta densidad, suspensión en 4 puntos, permite el acoplamiento de las orejeras 3M.	NTE INEN 146	Aprobado para la protección de la cabeza contra peligros de impacto, y elevadas temperaturas.
2		Tapones 1270 y Orejeras peltor.	Tapones fabricados con polímero libre de silicona, con reducción del ruido de 27 dB. Orejeras con copa de ABS cubierta de almohadilla PVC y espuma de poliuretano, con una reducción del ruido del 33 dB.	NTE INEN 4869-4	Protección de los odios al riesgo del ruido, y a las exposiciones del polvo en el medio ambiente.
3		Mono gafas 334AF	Construido de policarbonato resistente al impacto y a las partículas de polvo. Protección antirrayadura y anti-empañ.	ANSI/ISEA Z87.1	Protección de los ojos al impacto con las partículas que se desprenden de una actividad o del medio ambiente
4		Respirador 8577	Fabricado en fibras de policarbonato, con una capa de carbón activada y una válvula de exhalación para la protección contra material articulado.	NTC 1584 NTC 3852	Protección personal de las vías respiratorias contra el polvo y de partículas químicas que se encuentran en el medio ambiente.
5		Guantes de cuero TE04	Fabricado completamente en cuero natural tipo cabritilla curtido especial, con el puño elástico y con bordado en los extremos del puño.	NTC 2190 NTC 2307	Protección superficial de la mano de superficies y materiales ásperos, cortantes y calientes.
6		Overol manga larga	Consta de una sola pieza, fabricado en tela poplin, poliéster y algodón, con cierres en el pecho y varios bolsillos.	NTC 3252	Protección superficial del cuerpo de fibras, polvos, salpicaduras o a su vez para trabajos en maquinaria.

Observaciones:

La adquisición de los (EPP), se lo puede realizar en las sucursales de la Multinacional 3M, mediante sus respectivos catálogos de producción.

Fuente: Autores

7.2 PROCEDIMIENTO SEGURO AL MANEJAR LA MÁQUINA TRILLADORA MULTIGRANO T2100

Tabla 11-7: Identificación de cambios

Identificación de Cambios			
Edición	Fecha	Cambio	Página / Numeral
01	20-JUN-2019	Creación y Aprobación del Documento	NA

Fuente: Autores

7.2.1 *Objetivo*

Establecer los requisitos a seguir para trabajar en la máquina trilladora multigrano T2100, durante el proceso de trillado o actividades de mantenimiento con el fin de proteger la integridad de las personas que operen la máquina.

7.2.2 *Alcance*

Este procedimiento es aplicable a todos los operarios que van a utilizar la máquina trilladora multigrano T2100 durante el proceso de trillado o actividades de mantenimiento, en la parroquia Calpi, Cantón Colta, Provincia de Chimborazo.

7.2.3 Definiciones y abreviaturas

Zaranda: Es el instrumento utilizado para seleccionar los granos de la panoja triturada, sobre la misma quedan las impurezas como tallos, raíces, hojas (Llangarí, y otros, 2012).

Ballestas: elemento de suspensión, formada por láminas de metal flexible superpuestas; sirve para soportar el peso de la carrocería (Dorado , y otros, 2003).

Amortiguadores: mecanismo de máquinas que se utiliza para disminuir el efecto de los choques en baches de la calzada (Dorado , y otros, 2003).

Bandas de transmisión: Es un elemento de transmisión de movimiento rotacional por medio de una correa continua, basado en la unión de dos o más poleas ubicadas en sus respectivos ejes, su movimiento depende de la rueda conductora (Flores Garcia , 2009).

Bastidor: También conocido como chasis, es la base que acoge todos los elementos de la maquina trilladora con la suficiente resistencia para no romperse durante las jornadas laborales en el campo (Llangarí, y otros, 2012).

Motor de combustión: Es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión (Giacosa, 2012).

Rodillo trillador: realiza el rasgado de los granos junto con el cóncavo, se constituye por barras metálicas denominadas cuchillas, que están montados alrededor de la circunferencia exterior, el diseño depende del tipo de granos que se va a trillar, por lo general los cilindros trilladores en forma de dedos son para granos grandes como el maíz, frejol, chochos (Llangarí, y otros, 2012).

Cóncavo: Es el elemento fundamental que ayuda a rasgar los granos que se encuentran en las ramas de los cereales, es importante realizar la regulación entre el cilindro y el cóncavo de acuerdo con el grano que se vaya a trillar (Llangarí, y otros, 2012).

Bujías: ayudan a desaparecer el calor de la cámara de combustión generando una chispa para el encendido del motor (Jimenez , 2016).

Chumaceras: es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación (Hanz, 2017).

Polea: Generalmente es maciza y acanalada en su borde, sirve para transmitir una fuerza mediante un movimiento rotacional en máquinas y mecanismos (Salazar, 2012).

Ventilador: su función es aportar el flujo de aire suficiente para empujar la panoja hacia la parte posterior de la máquina, también cumple con la tarea de transportar el grano hacia la zaranda para la limpieza final (Llangarí, y otros, 2012).

7.2.4 Responsabilidades

7.2.4.1 Los responsables de la implementación de este Procedimiento:

Ing. Alex Noriega
Técnico del MAG de la parroquia Colta.
Ing. Alex Leguizamo
Coordinador CEFA-Cadenas de Valor Inclusivas y Sostenibles

7.2.4.2 El responsable de la utilización de la maquina es:

Sr. Francisco Chacaguasay

7.2.5 Procedimiento

7.2.5.1 Antecedentes

El Ministerio de Agricultura y ganadería deberá designar a una persona como supervisor del proceso de trillado mediante la máquina trilladora multigrano MADE T2100.

Deberá comprobarse que los productores de quinua encargados de la trilladora, han recibido formación teórica – práctica relacionada con la prevención de accidentes al manipular la máquina.

7.2.5.2 Responsabilidad del técnico del MAG del Cantón San Martín:

- ✓ Revisión de la máquina mediante el check list.
- ✓ Coordinación preliminar con el encargado de la maquina trilladora multigrano T2100.
- ✓ Charla de 5 minutos del trabajo a realizar y difusión del procedimiento para el manejo de la máquina a los trabajadores experimentados.
- ✓ Revisión de todos los implementos de protección personal; gafas, botas o zapatos puntas de acero, mandil, orejeras, tapa oídos, mascara cubre cara, mascarilla respiratoria, casco, guantes.
- ✓ Analizar los peligros asociados con el manejo de la trilladora y evaluarlos para posteriormente hacérselos conocer a todo el personal que realice las actividades específicas.
- ✓ Antes de iniciar el trillado se elaborará el ordenamiento y planificación de la cantidad de panoja a trillar, la que contará con las medidas de protección de las zonas adyacentes.
- ✓ Inspeccionar el área de trabajo antes de comenzar el trabajo, durante el trillado, o en cada tipo de grano a trillar.
- ✓ Revisar el procedimiento seguro de la maquina trilladora.

7.2.5.3 Responsabilidad del personal:

- ✓ El responsable de la máquina verificará el estricto cumplimiento de los Estándares y Procedimiento de Trabajo Seguro.
- ✓ Encender la máquina sólo después que el técnico ha dado el visto bueno.
- ✓ Inspección general y limpieza de la trilladora después de cada proceso de trillado.
- ✓ Verificar y/o señalar el área de trabajo.
- ✓ Mantener en todo momento el área de trabajo libre de residuos que no corresponden a la actividad.

- ✓ Realizar el proceso de trillado con la participación de por lo menos 04 trabajadores.
- ✓ Usar gafas, pantalla cubre cara, tapa oídos, orejeras, mascarilla, botas o zapatos puntas de acero.
- ✓ Usar sacos o lonas, para recoger el grano trillado.
- ✓ Verificar constantemente que el flujo de aire no sea alto porque empuja los granos hacia la parte posterior de la máquina junto con la panoja, generando desperdicios.
- ✓ Delimitar y señalizar el área de trabajo de la trilladora, para evitar incidentes por la proyección de partículas.
- ✓ Practicar orden y limpieza del área de trabajo

7.2.5.4 Realización de actividad segura:



Figura 1-7: Actividad segura de trillado

Fuente: Autores

Se entiende por trillado al proceso de separación de granos de las plantas gramíneas, es realizado mediante el método de fricción, consiste en ingresar la panoja por medio de un cilindro y un cóncavo, si el espacio entre ellos es reducido, la fricción es mayor y viceversa, sin embargo, no todos los granos son resistentes a grandes impactos y a la fricción, para esto se debe calibrar la velocidad del cilindro trillador y el espacio entre el cilindro y el cóncavo, de acuerdo con el tipo de semilla (Alvarado, 2004).

7.2.5.5 Normas generales.

- ✓ Tener en cuenta las instrucciones de montaje, desmontaje y mantenimiento del fabricante.
- ✓ Por ningún motivo se debe descartar el uso de equipos de protección personal.
- ✓ Hay que definir el tipo de grano que se vaya a trillar.
- ✓ Acomodar las panojas de forma ordenada en lugares adecuados, fuera de las zonas de paso.
- ✓ En situaciones de viento fuerte o muy fuerte se tienen que paralizar los trabajos.
- ✓ Mantener las zonas de trabajo limpias y ordenadas.
- ✓ Deben evitarse o minimizarse las posturas forzadas y los sobreesfuerzos durante el trabajo.

7.2.6 Identificación de los riesgos en el proceso de mantenimiento de la máquina trilladora.

Riesgos físicos:

Ruido generado al retirar las piezas de la máquina mediante golpeteo, provoca el zumbido de los oídos, lo recomendable sería utilizar martillos de goma.

Riesgos químicos:

Impregnación del líquido del aceite del motor en las manos al momento de retirarlo, el contacto permanente provoca daños en la piel como la dermatitis, lo recomendable es usar guantes de nitrilo/nylon Comfort Grip.

Riesgos mecánicos:

Cortaduras y punzaciones en el cuerpo y en las manos al momento de realizar el cambio y la reparación de las piezas, el nivel de consecuencia es leve, provoca heridas en el cuerpo, infecciones, inflamaciones y daño tisular, lo recomendable es usar ropa de trabajo overol manga larga y guantes de cuero TE04.

Caída de las piezas de la máquina en los pies por resbalamiento al momento de realizar el cambio y mantenimiento, el nivel de consecuencia es grave, provoca lesiones en los pies en particular los dedos, lo recomendable es usar calzado de puntas de acero Botín JG3 Reata.

7.2.7 Identificación de los riesgos en el proceso de trillado.

Riesgos físicos.

Ruido generado en la máquina al momento de realizar el proceso de trillado que supera los 85 decibeles, la sobreexposición al ruido provoca hipoacusia inducida por ruido, lo recomendable es usar EPP, Tapones 1270 y Orejeras peltor.

Vibraciones de cuerpo completo o globales generado por la máquina al momento de realizar todo el proceso de trillado, los efectos de las vibraciones de baja frecuencia provocan lumbalgias, síntomas neurológicos, trastornos de la visión por resonancia y hernias, los criterios preventivos básicos son: disminuir el tiempo de exposición de la jornada laboral mediante la rotación de operarios y un sistema de pausas activas; y el uso de plantillas de calzado anti vibración.

Riesgos químicos.

Polvos generados en la tolva de la máquina al momento de realizar el ingreso de la panoja al rodillo trillador y gases emitidos por el motor, la sobreexposición al polvo provocan enfermedades y afectaciones a las vías respiratorias como enfisemas pulmonares, bronquitis, alergias y asma, lo recomendable es usar un respirador o mascarilla 8577.

Riesgos mecánicos.

Atrapamiento o arrastre del cuerpo humano principalmente de los brazos y la ropa de trabajo suelta, en el sistema de transmisión de la máquina, el nivel de consecuencia es muy grave, provoca corte, aplastamiento o mutilación de la parte del cuerpo afectada, lo recomendable es ubicar un resguardo de seguridad fijo y como medida preventiva no utilizar ropa de trabajo suelta y usar guantes de cuero TE04.

Proyección de partículas en la tolva de la máquina provenientes de la panoja al ingresar en el rodillo trillador, el nivel de consecuencia es grave, provoca lesiones en los ojos como cortes, pinchazos, lo recomendable es usar pantallas o mono gafas 334AF.

Atrapamiento o arrastre de las manos en la tolva de la máquina al ingresar la panoja en el rodillo trillador, el nivel de consecuencia es muy grave, provoca el corte o mutilación de los dedos, lo recomendable es mantener una distancia prudente de 10 a 15 cm entre las manos y el rodillo y usar guantes de cuero TE04.

Riesgos ergonómicos.

Trabajo prolongado del operario al realizar todo el proceso de trillado, provoca fatiga y tensión muscular, problemas en las articulaciones de la columna, cadera, pie y rodillas y daños en tendones y ligamentos, lo recomendable es alternar la postura con otras que faciliten el movimiento cambiando la posición de los pies, utilizar un reposa pies portátil o fijo para alternar el peso del cuerpo sobre un pie y el otro y realizar un pausas activas para que el cuerpo se relaje.

7.2.8 Equipos de protección personal.

- ✓ Mono gafas 334A, (ANSI/ISEA Z87.1)
- ✓ Respirador o mascarilla 8577, (NTC 1584, NTC 3852)
- ✓ Ropa de trabajo overol manga larga, (NTC 3252)
- ✓ Casco de seguridad H700, (NTE INEN 146, ANSI Z89.1)
- ✓ Tapones 1270 y Orejeras peltor (NTE INEN 4869-4)
- ✓ Guantes de cuero TE04, (NTC 2190, NTC 2307)
- ✓ Guantes de nitrilo/nylon Comfort Grip. (NTC 2190, NTC 2307)
- ✓ Tapones 1270, y orejeras peltor (NTC 2272, ANSI S3.19)
- ✓ Calzado de puntas de acero Botín JG3 Reata (ASTM F13, ANSI Z41, MI/75 C/75 EH)

7.2.9 *Medidas preventivas.*

- ✓ Revisar el nivel de aceite en el motor.
- ✓ Revisar que no existan fugas de gasolina en el tanque y en la manguera.
- ✓ No aproximarse demasiado al rodillo trillador.
- ✓ Utilizar la panoja para empujar las ramas hacia el rodillo trillador – cóncavo.
- ✓ Se adiestrará y formará a los operarios sobre el uso adecuado de herramientas, con el fin de evitar golpes, cortes e incluso sobreesfuerzos.
- ✓ Retirar la batería de la máquina trilladora después de concluir con las actividades laborales, para prevenir los contactos eléctricos.

Tabla 12-7: Diagrama de procesos de mantenimiento de la máquina Made T2100.

DIAGRAMA DE PROCESO TIPO HOMBRE				
Empresa: MAG	Operación: MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA TRILLADORA MULTIGRANO MADE T2100			Estudio N° : 01
Departamento: FASE MECANICA	Operario: Varios Maquina: TRILLADORA	Analista: GUNSHA D, ROBINSON M.	Método: <i>Actual</i>	Fecha: 2019-05-20
Plano No: 01				Equivalencias :
Pieza No: 01				
Símbolos	N° Ope.	Distancia (m)	Tiempo (s)	Descripción del proceso
○ → □ D ▽				Bodega
○ → □ D ▽				Transportar la máquina hacia el taller.
○ → □ D ▽				Verificar las piezas o sustancia (aceite); dañada o deteriorada de la máquina
● → □ D ▽				Utilizando los EPP y las herramientas necesarias proceder a retirar las piezas o sustancia (aceite) de la máquina dañada o deteriorada.
○ → □ D ▽				Transportar la pieza o sustancia (aceite) de la máquina, hacia el puesto de trabajo.
● → □ D ▽				Reparación o remplazo de la pieza dañada; o cambio de la sustancia (aceite) deteriorada.
○ → □ D ▽				Transportar la pieza reparada o la nueva sustancia del puesto de trabajo hacia la máquina.
● → □ D ▽				Colocar la nueva pieza, o la nueva sustancia (aceite) en la máquina
○ → □ D ▽				Verificar que la nueva pieza encaje correctamente con la máquina, o el aceite se encuentre correctamente en el nivel establecido para su buen funcionamiento,
○ → □ D ▽				Transportar la máquina hacia la bodega
● → □ D ▽				Bodega

Fuente: Autores

Tabla 13-7: Diagrama de procesos de trillado de la máquina Made T2100.

DIAGRAMA DEL PROCESO TIPO HOMBRE				
Empresa: MAG	Operación: TRILLADO EN LA MAQUINA POR PARTE DEL OPERARIO			Estudio N° : 01
Departamento: FASE MECANICA	Operario: Varios Máquina: Trilladora	Analista: GUNSHA D, ROBINSON M.	Método: <i>Actual</i>	Fecha: 2019-05-20
Plano No: 01				Equivalencias :
Pieza No: 01				
Símbolos	N° Ope.	Distancia (m)	Tiempo (s)	Descripción del proceso
○ ⇨ □ D ▽				Bodega
○ ⇨ ■ D ▽				Revisar que los neumáticos de la máquina se encuentren en buen estado.
● ⇨ □ D ▽				Anclar la máquina a la parte posterior de un vehículo.
○ ⇨ □ D ▽				Transportar la máquina hacia el lugar de trabajo.
● ⇨ □ D ▽				Desanclar la máquina en el lugar de trabajo.
● ⇨ □ D ▽				Colocar el motor en el chasis de la máquina.
○ ⇨ ■ D ▽				Revisar que todas las piezas de la máquina se encuentren en perfectas condiciones.
○ ⇨ ■ D ▽				Verificar que el nivel de aceite del motor se encuentre dentro de los límites, y el tanque de la gasolina este lleno.
● ⇨ □ D ▽				Colocar la manguera que conecta del tanque de gasolina al motor.
● ⇨ □ D ▽				Ubicar la correa que va desde la polea del motor hacia la polea del cilindro trillador para transmitir el movimiento.
● ⇨ □ D ▽				Poner en marcha el motor y regular la velocidad correcta para el trillado.
● ⇨ □ D ▽				Para el trillado el operario se colocara en la parte inferior superior de la máquina, para ingresar la panoja a la trilladora, obteniendo granos limpios.

Fuente: Autores

Tabla 13-7 (Continúa): Diagrama de procesos de trillado de la máquina trilladora Made T2100.

● ⇨ □ D ▽				Apagar el motor una vez acabada la trilla.
● ⇨ □ D ▽				Desconectar la banda de la polea del motor y del cilindro trillador; y la vez la manguera del paso de la gasolina
● ⇨ □ D ▽				Retirar el motor del chasis de la máquina.
● ⇨ □ D ▽				Realizar la limpieza de las impurezas producidas en la trilla, que se queda en la máquina.
● ⇨ □ D ▽				Anclar la máquina a la parte posterior de un vehículo.
○ ⇨ □ D ▽				Transportar la máquina hacia la bodega.
● ⇨ □ D ▽				Desanclar la máquina del vehículo.
○ ⇨ □ D ▽				Bodega.

Fuente: Autores

7.2.10 Registros

N/A

7.2.11 Otros

Decreto Ejecutivo 2393.

Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se optimizó el proceso de trillado de quinua, cebada, avena y trigo, mediante el rediseño de la máquina trilladora multigrano MADE T2100 para el beneficio de los productores vinculados a las exportadoras de quinua nativa orgánica de la provincia de Chimborazo.
- El diseño anterior de la máquina trilladora multigrano MADE T2100, producía 1 quintal de grano por hora con residuos de panoja y un desperdicio de grano de 80%, mediante un análisis técnico se determinó los siguientes inconvenientes en los elementos: el rodillo trillador, el cóncavo, el ventilador, la zaranda de granos, sistema de transmisión y el bastidor.
- Se realizó el rediseño y la construcción de los componentes en base al diseño de las trilladoras guarandeñas, el rodillo trillador, el cóncavo y la zaranda fueron construidos en su totalidad, el ventilador no generaba suficiente flujo de aire para lo cual se redujo el diámetro de la polea para aumentar la velocidad de rotación, al bastidor se acopló amortiguadores junto con ballestas para ayudar en la estabilidad de la máquina, todos estos cambios ayudan a mejorar la productividad, calidad de grano y reducir el desperdicio de granos, durante el proceso de trillado.
- Se evaluó la mejora alcanzada mediante el rediseño de la máquina trilladora y se elevó la productividad un 400%, cada quintal de grano trillado se obtiene en 12min, en una hora 5 quintales; el grano trillado se obtiene sin residuos de panoja, cada quintal cuesta \$85,00, el productor produce \$425,00 en una hora es decir un valor de \$ 3 400 diarios, una cifra rentable para el agricultor.
- Se elaboró el plan de mantenimiento detallando las normas, procedimientos y planificación para realizar las actividades de reparación de las partes indispensables de la máquina, además se incluye el procedimiento seguro para operar la máquina correctamente, donde se describe los factores a los que está expuesto los operadores durante el funcionamiento de la trilladora.

RECOMENDACIONES

- Implementar el plan de mantenimiento propuesto para garantizar el estado óptimo de la máquina al momento de realizar el proceso de trillado.
- Capacitar al operario sobre el funcionamiento adecuado de la trilladora T2100 a fin de evitar accidentes o fallas en la máquina.
- Actualizar cada año el plan de mantenimiento de la trilladora para evaluar el estado de funcionamiento.
- No operar la máquina si el trabajador no tiene todo el equipo de protección personal obligatorio, los cuales son gafas, mascarilla, capucha, mandil, guantes, casco.
- Evitar el ingreso de objetos ajenos al proceso en la máquina trilladora, debido a que pueden generar fallos en la maquinaria.
- Verificar, limpiar y lubricar el estado de las chumaceras cada 200 horas de funcionamiento, debido a la exposición de partículas en el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, A. *Maquinaria y mecanización agrícola*. Costa Rica: EUNEN, 2004, pp. 55-63.

BASTIDAS, Carlos. *Diagnóstico técnico de máquinas rotativas*. Cuba: Holguín, 2005, pp. 32-88.

CANANO, Lucero. *Factor de seguridad y esfuerzo de diseño permisible*. 2018, pp. 356-400.

ALTISENT, M. Ruiz. Etsia Departamento de mecanización agraria , pp. 500-503.

ECOGROCERIES. *Descubre cuáles son las semillas andinas*. [En línea] 27 de 03 de 2017. <https://ecogroceries.weebly.com/cuales-son-las-semillas-andinas.html#>.

ESCALONA, Cristian. *Ensayo de capacidad de máquina y capacidad de proceso*. Venezuela: Fermín Toro, 2015, pp. 400-456.

FAIRES, Virgil Moring. *Diseño de Elementos de Máquinas* . Barcelona: Montaner y Simon, 2011. 9788427403062, pp. 243-287.

FIGUERA, Pau. *Optimización de productos y procesos industriales*. [ed.] Jordi Ricart. Barcelona : Ediciones Gestion 2000, 2006. pp. 31.

GONZÁLEZ, F. *Energía y mecanización de la agricultura*. Caracas: s.n., 1995, PP. 76-86.

GRUPO COPESA. El origen del trigo y su historia. [En línea] 11 de 11 de 2017. <http://www.icarito.cl/2010/04/21-9036-9-el-trigo.shtml/>.

HERNÁNDEZ, Fernando. *Trilladora Artesanal* . México DF: Plantel Azteca , 2009, pp.120-122.

JOSEPH E. Shigley & LARRY D. Mitchell. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw Hill, 1995, pp. 797-800.

LARBURU, Nicolas. *Máquinas Prontuario Técnicas Máquinas Herramientas*. Madrid : Parainfo, 1989, pp. 102-112.

LLANGARI, Edison & BENALCAZAR, Eduardo. *Diseño y construcción de una trilladora y limpiadora de quinua*. Riobamba: Espoch, 2012, PP. 75-129.

LLUMIPANTA, César. *Diseño y simulación de una trilladora de quinua para el proceso pos cosecha de una máquina agrícola*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2016, pp. 144-198.

MERA, Oswaldo. *Diseño de máquina trilladora portátil.* Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2009, pp. 289-304.

MITCHELL, Larry D. *Mechanical Engineering Design.* Nueva York: McGraw-Hill, 1999, pp. 455-469.

PERALTA, E. *Estado del arte de la quinua en el mundo.* Salomón Salcedo: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2015, pp. 39-67.

PINTOR, Yamila. Mejor con Salud. [En línea] 07 de 05 de 2018. <https://mejorconsalud.com/para-que-sirve-y-como-se-consume-la-cebada/>.

RICHARD B. Chase, et al. *Administración de las operaciones producción y cadena de suministro.* Mexico: McGraw-Hill, 2009, PP. 468-500.

RÍOS, A. *Máquinas trilladoras en tractores e implementos.* La Habana: Agrinfor, 2006.

SMITH, D. *Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas.* Reino Unido / FAO, 1994. pp. 344-350.

TRIVIÑO, Veliz & HARLI, Nexar. *Diseño y simulación de una máquina trilladora de arroz que sea factible para el pequeño agricultor, en el cantón Quevedo, Provincia de los Ríos.* Quevedo: s.n., 2016, pp. 225-230.

ULPGC. La avena, nutritiva y saludable. [En línea] 11 de 09 de 2016. http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6693/La_avena.pdf.

VALENZUELA, Pamela. *Nuevos productos alimenticios en el comercio mundial: situación y perspectivas actuales para el cultivo y exportación de quinua por parte del Ecuador.* Quito : Universidad Andina Simon Bolivar, 2016, pp 256-264.

