



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO PARA IMPLEMENTAR EN LA PARROQUIA PINLLOPATA PERTENECIENTE AL CANTÓN PANGUA”

**CHANGUÁN GONZÁLEZ JOHNATAN EDUARDO
YANCHALIQÚIN TIXELEMA EDGAR ESTUARDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-10-02

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

CHANGUÁN GONZÁLEZ JOHNATAN EDUARDO
YANCHALIQÚIN TIXELEMA EDGAR ESTUARDO

Titulado:

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA DE
FRÉJOL SECO PARA IMPLEMENTAR EN LA PARROQUIA PINLLOPATA
PERTENECIENTE AL CANTÓN PANGUA”

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Miguel Aquino Arroba
DIRECTOR

Ing. Miguel Escobar Guachambala
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CHANGUÁN GONZÁLEZ JOHNATAN EDUARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO PARA IMPLEMENTAR EN LA PARROQUIA PINLLOPATA PERTENECIENTE AL CANTÓN PANGUA”

Fecha de Examinación: 2016-11-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Miguel Aquino Arroba DIRECTOR			
Ing. Miguel Ángel Guachambala ASESOR			

* 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. Geovanny Novillo A.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: YANCHALIQÚIN TIXELEMA EDGAR ESTUARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO PARA IMPLEMENTAR EN LA PARROQUIA PINLLOPATA PERTENECIENTE AL CANTÓN PANGUA”

Fecha de Examinación: 2016-11-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Miguel Aquino Arroba DIRECTOR			
Ing. Miguel Ángel Guachambala ASESOR			

* 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. Geovanny Novillo A.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos – científicos y los resultados son de exclusividad responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Changuán González Johnatan Eduardo

Yanchaliquín Tixelesa Edgar Estuardo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Changuán González Johnatan Eduardo y Yanchaliquín Tixeleva Edgar Estuardo, 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.

**Changuán González Johnatan
Eduardo**

Cedula de Identidad: 220004947-2

**Yanchaliquín Tixeleva Edgar
Estuardo**

Cedula de Identidad: 050304216-0

DEDICATORIA

El presente proyecto dedico a mis padres Enrique Changuán y Lilia González que me apoyaron en todo momento para poder culminar mi carrera Ingeniería Mecánica, ellos con mucho esfuerzo y sacrificio me han dado la oportunidad de ser un profesional, a mis hermanos que siempre me han apoyado cada momento que necesitaba de una voz de aliento.

Johnatan Eduardo Changuán González

El desarrollo de esta tesis se la dedico a mis Padres por el apoyo y orientación que me brindaron día a día para culminar mi carrera.

A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Edgar Estuardo Yanchaliquín Tixelema

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios por darme la vida y darme unos padres Enrique Changuán y Lilia González que con mucho esfuerzo y sacrificio me han dado la educación y hacer de mí una persona de bien, a mis hermanos José Cedeño, Liliana Changuán, Cristhian Changuán y a todos mis tíos y tías por ser el pilar fundamental en todo el trascurso de mi carrera, gracias por su apoyo incondicional para poder concluir esta meta.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y especialmente a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por enseñarme y brindarme la sabiduría que vamos a necesitar en la vida profesional.

Johnatan Eduardo Changuán González

Quiero agradecer a Dios, por darme el don de la vida, ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de mucho aprendizaje, experiencia, felicidad y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Edgar Estuardo Yanchaliquín Tixelesa

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	2
1.2.1	<i>Justificación técnico</i>	2
1.2.2	<i>Justificación económica</i>	2
1.2.3	<i>Justificación social</i>	2
1.2.4	<i>Justificación ecológica</i>	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.3.2	<i>Objetivo específico</i>	3
2.	MARCO REFERENCIAL DEL PROCESO DE DESGRANADO DEL FRÉJOL SECO	
2.1	Zonas cultivadas de fréjol en el Ecuador	4
2.1.1	<i>Terrenos con valles</i>	4
2.1.2	<i>Terreno con estribaciones de cordillera</i>	4
2.2	El fréjol en la parroquia Pinllopata: Zonas de cultivo, productividad	4
2.2.1	<i>Zona alta de la parroquia Pinllopata</i>	4
2.2.2	<i>Productividad de fréjol en la parroquia Pinllopata</i>	5
2.3	El fréjol: características morfológicas, madurez fisiológica, variedades mejoradas, ciclo de cultivo y siembra.....	6
2.3.1	<i>Características morfológicas</i>	6
2.3.2	<i>Madurez fisiológica</i>	6
2.3.3	<i>Variedades mejoradas del fréjol</i>	7
2.3.4	<i>Ciclo de cultivo</i>	7
2.3.5	<i>Siembra</i>	7
2.4	Cosecha y pos cosecha	7
2.5	Métodos de desgrane del fréjol seco	9
2.5.1	<i>Desgrane manual</i>	9
2.5.2	<i>Desgrane mediante aporreo</i>	9
2.5.3	<i>Desgrane mecánico</i>	10
2.6	Estado del arte: desgranadoras de fréjol seco.....	11
2.6.1	<i>Las máquinas desgranadoras de combustión interna</i>	11
2.6.2	<i>Las máquinas desgranadoras eléctricas</i>	12
2.6.3	<i>Las máquinas desgranadoras con conexión a un tractor</i>	13
2.7	Partes mecánicas de una máquina desgranadora de fréjol seco	13
2.7.1	<i>Tolva</i>	14
2.7.1.1	<i>Tolvas cónicas</i>	14
2.7.1.2	<i>Tolvas rectangulares</i>	15
2.7.2	<i>Sistema de arrastre</i>	15
2.7.3	<i>Sistema de transmisión de potencia</i>	15
2.7.3.1	<i>Sistema de transmisión de potencia de correas y polea</i>	16
2.7.3.2	<i>Sistema de transmisión por cadenas</i>	17
2.7.4	<i>Energía de entrada a la máquina</i>	17
2.7.4.1	<i>Motores eléctricos</i>	17
2.7.4.2	<i>Motores de combustión interna</i>	18
2.7.5	<i>Sistema de desgranado</i>	18
2.7.6	<i>Ventiladores centrífugos</i>	19

2.7.7	<i>Malla o rejilla para granos y desechos</i>	20
2.7.7.1	<i>Acero Inoxidable AISI 304</i>	21
2.7.8	<i>Carcasa</i>	21
2.7.9	<i>Estructura metálica</i>	22
3.	DISEÑO CONCEPTUAL	
3.1	Metodología para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco.....	23
3.1.1	<i>Tendencias del diseño</i>	23
3.2	Estudio de mercado	25
3.3	Consideraciones para la determinación de las especificaciones	25
3.4	Determinación de las especificaciones de la máquina	25
3.4.1	<i>Despliegue de la función de calidad (QFD)</i>	25
3.4.1.1	<i>Voz del usuario</i>	26
3.4.1.2	<i>Voz del ingeniero</i>	26
3.4.1.3	<i>Resultados de la matriz QFD</i>	26
3.4.1.4	<i>Conclusiones de la matriz QFD</i>	28
3.4.2	<i>Especificaciones técnicas</i>	29
3.5	Análisis funcional.....	30
3.5.1	<i>Definición de módulos</i>	31
3.5.2	<i>Alternativas de solución para el módulo</i>	32
3.5.2.1	<i>Puesta en marcha (fuente de energía)</i>	32
3.5.2.2	<i>Contenedor</i>	34
3.5.2.3	<i>Desgranado</i>	35
3.5.2.4	<i>Separador</i>	36
3.5.3	<i>Alternativas de solución</i>	37
3.5.4	<i>Evaluación de soluciones y selección de la alternativa</i>	39
3.5.4.1	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i>	40
3.5.5	<i>Características de la máquina desgranadora seleccionada</i>	42
3.5.6	<i>Elementos de la máquina desgranadora de fréjol seco</i>	44
3.5.7	<i>Capacidad de la máquina desgranadora de fréjol seco</i>	45
3.5.8	<i>Determinación de la resistencia a corte de las guías de fréjol seco</i>	45
4.	DISEÑO DE LA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO	
4.1	Diseño de la tolva de alimentación	46
4.2	Diseño del eje principal para el desgrane de fréjol seco	47
4.2.1	<i>Velocidad de corte de las guías de fréjol seco</i>	47
4.2.2	<i>Potencia de corte</i>	47
4.3	Sistema de transmisión de potencia por bandas y cadena.....	52
4.3.1	<i>Selección del motor para la máquina desgranadora de fréjol seco</i>	52
4.3.2	<i>Cálculo de velocidades en las poleas y catalina</i>	52
4.3.3	<i>Selección de elementos de transmisión de potencia</i>	56
4.3.4	<i>Selección de las bandas de transmisión de potencia</i>	57
4.3.5	<i>Cálculo de distancia corregida</i>	60
4.3.6	<i>Cálculo del arco de contacto de la banda sobre la polea menor</i>	60
4.3.7	<i>Cálculo del número de bandas</i>	61
4.3.8	<i>Cálculo de la velocidad de las bandas</i>	64
4.3.9	<i>Verificación de los ciclos de flexión por segundo y duración</i>	65
4.3.10	<i>Cálculo de las tensiones en las bandas de la transmisión de potencia</i>	66
4.3.11	<i>Cálculo de las reacciones en el eje de desgrane</i>	67
4.3.12	<i>Cálculo del torque en la polea</i>	69

4.3.13	<i>Número de pasadas</i>	69
4.3.14	<i>Cálculo de la vida útil de las bandas</i>	70
4.4	<i>Diseño del ventilador centrífugo</i>	71
4.4.1	<i>Selección del ventilador de limpieza</i>	71
4.4.2	<i>Análisis de potencia del ventilador</i>	76
4.5	<i>Diseño del eje del sistema de desgrane</i>	77
4.5.1	<i>Fuerzas generadas por la tensión de las bandas</i>	77
4.5.2	<i>Cálculo del peso del cilindro de aletas para desgranar</i>	82
4.5.3	<i>Cálculo del peso en el ventilador centrífugo radial</i>	83
4.5.4	<i>Diagramas de cuerpo libre del eje de desgrane</i>	86
4.5.5	<i>Análisis del eje a fatiga</i>	88
4.5.6	<i>Verificación de resistencia del eje de desgrane mediante SOLIDWORK</i>	91
4.6	<i>Diseño del eje del sistema de arrastre</i>	92
4.6.1	<i>Cálculo del peso del eje de arrastre</i>	94
4.6.2	<i>Diagramas de cuerpo libre del eje de arrastre</i>	96
4.6.3	<i>Análisis del eje a fatiga</i>	98
4.6.4	<i>Verificación de resistencia del eje de arrastre mediante SOLIDWORK</i>	101
4.7	<i>Selección de chumaceras</i>	102
4.7.1	<i>Selección de rodamientos en el eje de desgrane</i>	103
4.7.1.1	<i>Análisis dinámico</i>	103
4.7.1.2	<i>Análisis estático</i>	105
4.8	<i>Diseño de chaveta</i>	106
4.8.1	<i>Análisis de esfuerzo a corte en la chaveta</i>	107
4.8.2	<i>Análisis de esfuerzo por aplastamiento en la chaveta</i>	108
4.9	<i>Diseño de la zaranda</i>	109
4.10	<i>Selección de pernos que sujeta la base del motor mono cilíndrico</i>	111
4.10.1	<i>Esfuerzos debido a la tracción en los pernos</i>	111
4.10.2	<i>Límite de fatiga en los pernos</i>	116
4.10.3	<i>Resistencia máxima a corte de los pernos</i>	117
4.11	<i>Diseño de la estructura base</i>	118
4.11.1	<i>Características geométricas de la estructura base</i>	119
4.11.2	<i>Procedimiento del análisis estático</i>	120
4.11.3	<i>Resultados del análisis estático</i>	120
4.12	<i>Análisis de vibración de la estructura base</i>	121
4.12.1	<i>Resultados de la vibración en la estructura base</i>	122
5.	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO	
5.1	<i>Máquinas y Herramientas</i>	124
5.2	<i>Materiales utilizados para la construcción</i>	124
5.3	<i>Proceso de construcción y ensamble</i>	125
5.3.1	<i>Elementos de construcción</i>	125
5.3.2	<i>Operaciones de construcción para cada sistema</i>	127
5.3.3	<i>Montaje de la maquina desgranadora de frejol seco</i>	130
5.3.4	<i>Flujograma del proceso de montaje de la máquina desgranadora de fréjol seco</i>	131
5.3.5	<i>Tiempo total de construcción</i>	132
5.4	<i>Proceso de construcción de los elementos de la máquina</i>	132
5.4.1	<i>Construcción del cajón base</i>	132
5.4.2	<i>Construcción de la pared posterior de la máquina</i>	133

5.4.3	<i>Tapa del eje desgranador</i>	134
5.4.4	<i>Eje de arrastre</i>	135
5.4.5	<i>Ensamble de polea rodillo y la tapa de la desgranadora</i>	135
5.4.6	<i>Construcción de la zaranda</i>	135
5.4.7	<i>Tolva de alimentación</i>	136
5.4.8	<i>Base de catalina</i>	136
5.4.9	<i>Construcción del eje desgranador</i>	137
5.4.10	<i>Ensamblado del rodillo desgranador y el ventilador</i>	137
5.4.11	<i>Construcción de un sistema mixto de catalina y Polea</i>	138
5.4.12	<i>Sistema de transmisión de la desgranadora de fréjol</i>	138
5.4.13	<i>Construcción de la tolva de salida</i>	139
5.4.14	<i>Ensamble de extractor de impurezas y caracol</i>	139
5.4.15	<i>Proceso de pintado</i>	139
5.4.16	<i>Ensamblaje total</i>	140
6.	MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO	
6.1	Manual de operación de la máquina.....	141
6.1.1	<i>Vista general de la máquina desgranadora de fréjol seco</i>	141
6.1.2	<i>Características de la máquina desgranadora de fréjol seco</i>	142
6.2	Instalación de componentes de la máquina	142
6.2.1	<i>Requisitos para puesta en marcha de la máquina</i>	143
6.3	Instrucciones de operación de la máquina.....	143
6.3.1	<i>Puesta en marcha de la máquina</i>	143
6.3.2	<i>Pasos para el proceso de desgrane con la máquina</i>	144
6.4	Manual de mantenimiento de la máquina	145
6.5	Riesgos y medidas preventivas	147
6.5.1	<i>Riesgos físicos</i>	147
6.5.1.1	<i>Riesgos físicos mecánicos</i>	147
6.5.1.2	<i>Riesgos físicos no mecánicos</i>	148
6.6	Análisis de costos	149
6.6.1	<i>Costos directos</i>	149
6.6.2	<i>Costos indirectos</i>	150
6.6.3	<i>Costos ingenieriles</i>	150
6.6.4	<i>Gasto total</i>	151
7.	RESULTADOS Y PRUEBAS	
7.1	Desgrane en bruto.....	152
7.2	Desgrane clasificado solo vaina	154
7.3	Comparación entre el desgrane por aporreo y desgrane con máquina.....	155
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones	157
8.2	Recomendaciones.....	158

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Variedades liberadas por el INIAP. 7
2	Duración del cultivo para cada variedad de fréjol. 7
3	Características de desgranadoras de combustión interna..... 12
4	Características de desgranadoras eléctricas 13
5	Clasificación de las correas..... 16
6	Tipos de ventiladores centrífugos 20
7	Propiedades del acero inoxidable 304..... 21
8	Metodología para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco. 24
9	Matriz QFD (Casa de la calidad) 27
10	Especificaciones técnicas de la máquina desgranadora de fréjol seco. 29
11	Alternativas de diseño para la máquina desgranadora de fréjol. 38
12	Evaluación de cada criterio 40
13	Evaluación de las alternativas con respecto a la confiabilidad de los componentes 41
14	Evaluación de las alternativas con respecto a la fuente de energía 41
15	Evaluación de las alternativas con respecto a la velocidad de corte..... 41
16	Evaluación de las alternativas con respecto a la producción qq/h..... 41
17	Evaluación de las alternativas con respecto al costo de la máquina..... 42
18	Conclusiones y selección de la mejor alternativa 42
19	Prototipo de la máquina desgranadora de fréjol seco. 43
20	Dimensiones de la chaveta y chavetero 107
21	Dimensiones de fréjol por cada vaina..... 110
22	Proceso del análisis estático..... 120
23	Materiales..... 125
24	Elementos de construcción 125
25	Operación de construcción de los elementos de la máquina 127
26	Montaje de elementos de la estructura..... 130
27	Montaje del sistema de alimentación..... 131
28	Montaje del sistema motriz..... 131
29	Tiempo total de construcción y montaje..... 132
30	Características generales de la máquina 142
31	Puesta en marcha 143
32	Proceso de desgrane con la máquina 145
33	Guía de mantenimiento..... 146
34	Costos directos..... 149
35	Costos indirectos..... 150
36	Costos de investigación. 151
37	Gastos totales. 151
38	Desgrane de guías experimental con máquina..... 153
39	Desgrane de solo vaina experimental con máquina..... 155
40	Comparación de desgrane por método..... 156

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Ubicación de la parroquia Pinllopata.....	5
2	Productividad Ha por ciclo del fréjol canario en quintales.....	5
3	Planta de fréjol seco.....	8
4	Transporte de guías.....	8
5	Guías apiladas en lona.....	9
6	Proceso de apaleo.....	9
7	Desgrane mecánico.....	10
8	Desgranadora de fréjol a combustión interna.....	11
9	Desgranadora con motor eléctrico.....	12
10	Máquina desgranadora de fréjol seco con conexión a un tractor.....	13
11	Tolva circular.....	14
12	Tolva rectangular.....	15
13	Tambor de arrastre de guías de fréjol seco.....	15
14	Esquema del sistema de transmisión por correa y polea.....	16
15	Transmisión por cadenas.....	17
16	Motores eléctricos.....	18
17	Partes de un motor de combustión interna (mono cilíndrico).....	18
18	Máquina para desgranar fréjol seco.....	19
19	Malla metálica de acero inoxidable.....	20
20	Carcasa del sistema de desgrane.....	21
21	Estructura base de una desgranadora.....	22
22	Función primaria de la máquina desgranadora de fréjol.....	30
23	Función secundaria de la máquina desgranadora de fréjol.....	31
24	Modelo modular.....	32
25	Máquina desgranadora con motor mono cilíndrico.....	33
26	Máquina desgranadora de fréjol con conexión a un tractor.....	33
27	Tolva.....	34
28	Cilindro desgranador con aletas.....	35
29	Cilindro desgranador con tornillo sin fin.....	35
30	Tamiz o rejilla.....	36
31	Ventilador centrífugo radial.....	37
32	Alternativa 1.....	38
33	Alternativa 2.....	39
34	Dimensiones de la tolva.....	46
35	Cilindro de aletas para desgranar.....	48
36	Momento de inercia del eje sólido.....	48
37	Momento de inercia del cilindro hueco.....	49
38	Distribución de fuerzas en las aletas.....	51
39	Sistema de transmisión de potencia de banda y cadena.....	53
40	Diagrama de velocidades a la salida del ventilador.....	74
41	Flujo de aire en el ventilador.....	75
42	Plano YZ de la polea A vs la polea B.....	78
43	Triángulo para los planos XY y XZ de la polea 2.....	78
44	Ángulos generados en las poleas B y C.....	80
45	Triangulo para los planos XY y XZ de la polea 3.....	80
46	Peso generado en el cilindro de aletas.....	82

47	Aletas del cilindro de desgrane	82
48	Ventilador centrífugo radial	84
49	Propiedades físicas del ventilador centrífugo	84
50	Alabes del ventilador	85
51	Diagrama de cuerpo libre del plano XY	86
52	Diagrama de cuerpo libre del plano XZ.....	87
53	Fluctuación del eje	88
54	Cargas que actúan en el eje de desgrane.....	92
55	Resultado obtenido del análisis en SOLIDWORK.....	92
56	Ángulos generados en la transmisión D E.....	93
57	Triángulo para los planos XY y XZ de la polea	93
58	Fuerzas aplicadas en el eje de arrastre	94
59	Martillos de arrastre	95
60	Diagrama de cuerpo libre del plano XY	96
61	Diagrama de cuerpo libre del plano XZ.....	97
62	Fluctuación del eje de arrastre	98
63	Cargas que actúan en el eje de arrastre.....	102
64	Resultado obtenido del análisis en SOLIDWORK.....	102
65	Esquema de la chaveta y chavetero	106
66	Diseño de la zaranda, (a) platina estirada, (b) radio de curvatura, (c) vista frontal doblada, (d) vista isométrica de la zaranda.....	110
67	Corte en el área de sujeción del perno.....	113
68	Estructura base.....	119
69	Dimensiones de la estructura base	119
70	Esfuerzos en la estructura base	121
72	Factor de seguridad de la estructura base	121
73	Mallado de la estructura base.....	122
74	Deformación a 20 Hz.....	122
75	Deformación a 76 HZ	122
76	Aceleración efectiva en la estructura	123
77	Flujograma del proceso de montaje	132
78	Cajón base.....	133
79	Comprobación de simetrías del cajón	133
80	Pared posterior	133
81	Tapa del eje desgranador	134
82	Lado posterior de la tapa.....	134
83	Tapa del eje desgranador	134
84	Eje de arrastre	135
85	Ensamble del sistema de arrastre	135
86	Zaranda desdoblada	135
87	Zaranda doblada.....	136
88	Tolva de alimentación.....	136
89	Base de catalina	136
90	Eje de desgrane	137
91	Rodillo de aletas.....	137
92	Elemento principal de desgrane y succión de impurezas	137
93	Catalina y polea	138
94	Sistema de transmisión de potencia.....	138
95	Tolva de salida	139
96	Ensamble de extractor y el caracol	139

97	Pintado de piezas de la máquina	140
98	Máquina desgranadora de fréjol seco.	140
99	Vista frontal de la máquina	141
100	Vista lateral de la máquina.....	141
101	Ubicación del motor y bandas	143
102	Riesgo de atrapamiento.....	147
103	Transmisión de potencia en movimiento	147
104	Abastecimiento de guías de fréjol.....	148
105	Expulsión de desechos por el ventilador.....	148
106	Capacidad de la máquina para desgranar guías	153
107	Capacidad de la máquina para desgranar vainas	155
108	Comparación de método para el proceso de desgrane	156

SIMBOLOGÍA

$msnm$	Metros sobre el nivel del mar	
Ha	Hectáreas	
qq	Quintales	
rpm	Revoluciones por minuto	
HP	Caballo de potencia (horsepower)	
$Pot_{diseño}$	Potencia de diseño	HP
$I1, I2$	Inercia de los ejes	Kg.m ²
$\alpha1, \alpha2, \alpha3$	Aceleración angular	Rad/s ²
$w1, w2, w3, ..$	Velocidad angular	Rad/s
t	Tiempo	s
L_{P1}, L_{P2}, L_{P3}	Longitud primitiva	mm
L_{n1}, L_{n2}, L_{n3}	Longitud normalizada	mm
$C1, C2, C3$	Distancias de centro	mm
$Cc1, Cc2, Cc3$	Distancia corregida	mm
$\alpha'1, \alpha'2, \alpha'3$	Ángulo de contacto polea motriz – conducida	°
$Z1, Z2, Z3$	Número de bandas	
if	Ciclos de flexión	s ⁻¹
Np	Numero de pasadas	pasadas
wi	Peso de impurezas	Kg
$\rho_{pinllopata}$	Densidad del aire en Pinllopata	Kg/m ³
CD	Coefficiente de arrastre aerodinámico	
Q_{nuevo}	Caudal nuevo	m ³ /s
$N_{ventilador}$	Número de vueltas por minuto	rpm
ΔP	Presión Total	msnm
Pa	Potencia de ventilador	HP
L	Longitud total	m
δ_{Total}	Peso del perfil por cada metro	kg/m
P_{vent}	Peso ventilador	kgf
M_{max}	Momento máximo	N.m
σ_{max}	Esfuerzo máximo a corte	MPa
τ_{max}	Tensión cortante máxima	MPa
n	Coefficiente de seguridad	
$\tau_{corte Tab}$	Resistencia de corte tabulada	MPa
$\tau_{corte Cal}$	Resistencia de corte calculado	MPa
$\sigma_{Aplastamiento Tab}$	Esfuerzo de aplastamiento tabulado	MPa

LISTA DE ABREVIACIONES

MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
MINAG	Ministerio de la Agricultura de Cuba
MAGTRON	Marca de empresa brasileña de máquinas Agrícolas
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
CE	Ingenieria concurrente
QFD	Quality Funtion Deployment

LISTA DE ANEXOS

- A Ensayo en el laboratorio de las guías de fréjol seco.
- B Condiciones iniciales de la máquina desgranadora de fréjol seco.
- C Selección del motor de combustión.
- D Selección de la transmisión de potencia.
- E Selección del ventilador centrífugo radial.
- F Diseño del eje.
- G Diseño de chavetas.
- H Selección de rodamientos.
- I Selección de pernos.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación diseño y fabricación de una máquina desgranadora de fréjol seco para implementar en la parroquia Pinllopata del cantón Pangua, es mejorar el sistema de desgrane del fréjol seco debido a que en este sector se dedican en su mayoría a la siembra de fréjol canario y su extensión de área sembrada en fréjol es de 150 hectáreas, pero por falta de tecnificación en este proceso utilizan métodos tradicionales, que consiste en utilizar varas de madera y contratación de personal para golpear las plantas cosechas. Para seleccionar la mejor alternativa que solucione la función principal que es obtener el fréjol seco desgranado se utilizó los criterios de la ingeniería concurrente, la cual sigue una metodología utilizando la matriz QFD o casa de la calidad, en la cual mediante un análisis cualitativo y cuantitativo se seleccionó una máquina desgranadora de fréjol seco con accionamiento de motor estacionario de diésel y cilindro de aletas en forma de tornillo sin fin. Los resultados obtenidos con la máquina verificaron los requisitos del patrocinador y el funcionamiento adecuado de la máquina, obteniendo una capacidad máxima de desgrane hasta 20.38 quintales de fréjol/hora, pero con cosecha de fréjol seco en vainas, si la cosecha es con la planta completa la capacidad es de 1.30 quintales de fréjol/hora. La capacidad varía en función al cuidado y mejora de la planta de fréjol canario debido a que presenta más vainas por planta. Una vez terminado el proyecto de titulación se concluye que la máquina es eficiente y de bajo costo comparado con las máquinas fabricadas en el exterior. Se recomienda que se realicen mantenimientos periódicos constantemente, para así prolongar la vida útil de la máquina.

PALABRAS CLAVES: <MÁQUINA PARA DESGRANAR CEREALES (DESGRANADORA)>, <DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)>, <FRÉJOL (PHASEOLUS VULGARIS)>, <MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUICULTURA Y PESCA (MAGAP)>, <PANGUA (CANTÓN)>, <COTOPAXI (PROVINCIA)>, <INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (INIAP)>, <SOFTWARE DE DISEÑO MECÁNICO (SOLIDWORKS)>.

ABSTRACT

This degree work focuses on the desing and manufacturing of a threshing machine for dry beans to be implemented in Pinllopata, Pangua canton in orden to improve the process of shelling dry beans; since in this area; most of people are engaged in the production of beans of “Canario” type, whose cultivated land extends to 150 has. Despite this fact, traditional procedures; as hiring farmers who hit the plants with a rod; are performed to collect the beans due to the lack of modernization in the harvest process. In order to make the best choice to solve the main function that is to get dry bean, the principles of the concurrent engineering were considered. This type of engineering is based on a methodology using the QFD (Quality Function deployment) matrix or quality house, in which, by means of a quantitative and qualitative analysis; a threshing machine of dry beans was selected. The machine works with a stationary diesel engine and a blade cylinder adapted in a model of worm screw. The outcomes collected from the machine verified the requirements of the sponsor and proper functioning of the machine reaching a maximum capacity of harvesting beans up to 20,38 qq/h when the dry beans are in their pod. If the harvest of dry beans is with the whole plant, the machine capacity reaches 1,30 qq/h. The capacity varies depending on the care and improvement of the “Canario” bean plant because it has more pods per plant. Finally, it is concluded that the machine is efficient and inexpensive compared with machines manufactured abroad. It is recommended to carry on a regular maintenance of the machine in order to extend its lifetime.

Key words: <CEREAL THRESHING MACHINE (DESGRANADORA)>, <QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)>, <BEANS (PHASEOLUS VULGARIS)>, <MINISTRY OF AGRICULTURE LIVESTOCK AQUACULTURA AND FISHING (MAGAP)>, <PANGUA (CANTON)>, <COTOPAXI (PROVINCE)>, <NATIONAL INSTITUTE OF AGRICULTURAL RESEARCH (INIAP)>, <MECHANICAL DESIGN SOFTWARE (SOLIDWORKS)>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes

La parroquia Pinllopata se encuentra en la zona alta del cantón Pangua en la provincia de Cotopaxi, posee una topografía bastante irregular con pendientes escarpadas mayores al 50%, sus suelos son de textura media, aptos para la agricultura y ganadería, que van desde una altitud de 1.480 msnm a 3.560 msnm y con clima templado frío. (Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo, 2015 pág. 88)

Los suelos de la parroquia Pinllopata prestan condiciones para una gran diversidad de productos como fréjol, mora, maíz, papas, chochos entre otros, sin embargo, se dedica en su mayoría a la producción de fréjol y mora de estos productos la extensión de área sembrada en fréjol es de 150 Ha sembradas y la mora con 40 ha sembradas. (Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo, 2015 pág. 90)

En la zona alta del cantón Pangua el sistema de siembra, cosecha y desgrane del fréjol en su mayoría son utilizando métodos tradicionales, estos conocimientos fueron pasados entre generaciones y los trabajadores son los mismos familiares, es decir los integrantes de la familia son los que desarrollan el cultivo o actividad agropecuaria.

La asistencia técnica en gran parte es limitada y métodos empíricos dados por la experiencia de hacer la misma actividad repetitivamente, actualmente el MAGAP a través del proyecto Hombro a Hombro mantiene un técnico en la parroquia que capacita a los agricultores. (Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo, 2015 pág. 96)

En el mercado internacional existen muchas desgranadoras o conocidas como trilladoras de cereales como son el fréjol, soya y maíz que son muy efectivas con capacidad de trilla de 20 a 40 quintales de fréjol por hora, pero por su alto precio la más económica cuesta \$6000 dólares, pero para exportar esta máquina a sectores nacionales sube el precio llegando a costar \$12000 dólares, probablemente solo pueden ser adquiridas por asociaciones o cooperativas. La cadena productiva del fréjol en la zona alta del cantón

Pangua es el producto de mayor importancia, se cultivan alrededor de 800 ha de fréjol cada año, su producción y precio es variable de acuerdo a las condiciones del clima y a la productividad anual. (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015)

La mayor parte de producción es comercializada en la ciudad de El Corazón a través de los comerciantes intermediarios quienes son los que imponen el precio al producto, los principales mercados donde llevan el fréjol son las ciudades de Ambato, Riobamba y Guayaquil. (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015 pág. 7)

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnico. Diseñar y construir una máquina para el proceso de desgranado del fréjol, con esto el productor obtendrá un producto más limpio, sin daños en el grano y evitar pérdidas de producción al desgranar, además la máquina será de fácil utilización y mantenimiento, ya que es una máquina compuesta por elementos mecánicos.

1.2.2 Justificación económica. La máquina desgranadora de fréjol será de bajo costo comparado con las desgranadoras existentes en otros países debido a los grandes impuestos que tendrían que pagar para ingresar al mercado nacional.

Con esta máquina desgranadora mecánica se economizará gastos en contratación de personal ya que se necesitará máximo dos personas para operar esta máquina, en comparación al método tradicional que se necesita 10 personas como mínimo para llevar a cabo el desgrane del fréjol seco, además reduciríamos tiempo y pérdida de grano.

1.2.3 Justificación social. El proyecto de diseño y construcción de la máquina desgranadora de fréjol seco, permite una ayuda muy importante para los agricultores de fréjol de la parroquia Pinllopata, con esta máquina se estará incentivando a los pobladores a producir fréjol de una manera menos sacrificada.

1.2.4 Justificación ecológica. Hoy en día el aspecto ecológico forma una de las partes muy importante a nivel nacional y mundial. En esta situación, puesto que el proyecto es de diseño y construcción y tomando en cuenta que su funcionamiento es mediante un motor de combustión interna la contaminación en el sector será mínima, debido a la gran cantidad de especies vegetales además la máquina despedaza por completo las guías del

fréjol y así utilizar todos estos desperdicios vegetales como abono nutritivo para el terreno ya que estos desperdicios de las guías anteriormente lo quemaban como desperdicio desechable.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y fabricar una máquina desgranadora de fréjol seco para una capacidad de 20 quintales/hora.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Analizar el estado del arte para proceso de desgranado mecánico del fréjol seco.
- Realizar el diseño de concepto para la selección de la mejor alternativa de la máquina desgranadora de fréjol seco.
- Utilizar software para el diseño de las piezas y partes de la máquina desgranadora de fréjol, que cumpla con la función de arrastrar y arrancar las guías.
- Realizar una correcta selección y diseño de las partes mecánicas que conforman la máquina desgranadora de fréjol seco.
- Construir los elementos que forman las partes de la máquina desgranadora de fréjol seco.
- Poner en funcionamiento y hacer pruebas necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL DEL PROCESO DE DESGRANADO DEL FRÉJOL SECO

2.1 Zonas cultivadas de fréjol en el Ecuador

En el Ecuador según las últimas averiguaciones del Instituto Nacional De Investigación Agropecuarias (INIAP), los terrenos más productores y representativo de fréjol en nuestro País son clasificados de acuerdo al tipo de terreno como son:

- Terrenos con valles.
- Terrenos con estribaciones de cordillera.

2.1.1 *Terrenos con valles.* Los sectores que cultivan fréjol en terrenos con valles son:

El Chota, Mira y Salinas (Carchi, Imbabura), Guayllabamba y Tumbaco (Pichincha), Patate (Tungurahua), Gualaceo y Yunguilla (Azuay), Vilcabamba, Catamayo, Malacatos (Loja). (INIAP, 2010)

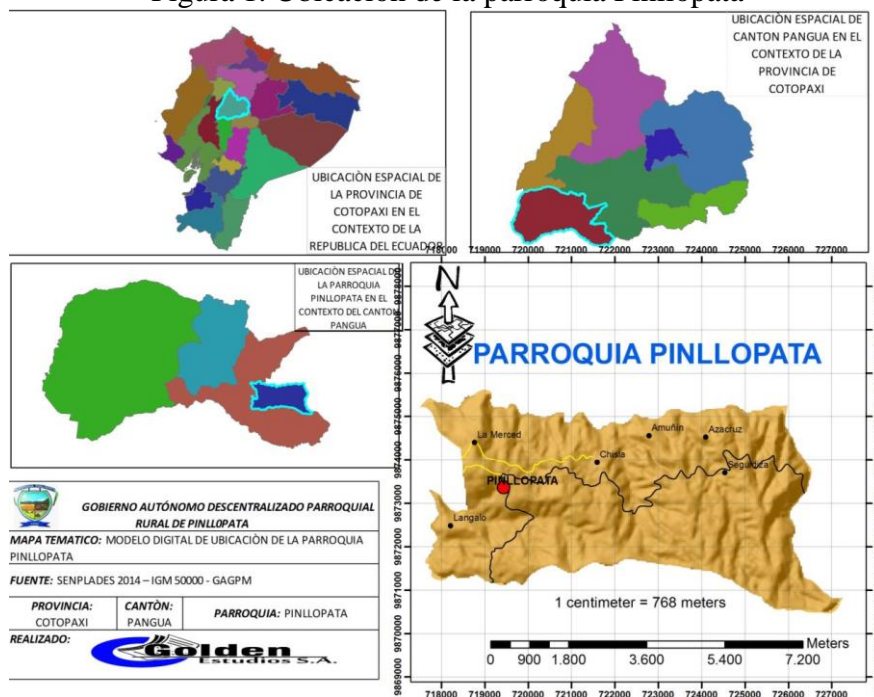
2.1.2 *Terreno con estribaciones de cordillera.* Los sectores que cultivan fréjol en terrenos con estribaciones de cordilleras son:

Intag (Imbabura), Noroccidente de Pichincha, El Corazón y Pangua (Cotopaxi), Chanchan y Huigra (Chimborazo), Pallatanga (Chimborazo) y Chillanes (Bolívar), Javin y Chontamarca (Cañar). (INIAP, 2010)

2.2 El fréjol en la parroquia Pinllopata: Zonas de cultivo, productividad

2.2.1 *Zona alta de la parroquia Pinllopata.* Se dedica en su mayoría a la producción de Fréjol y Mora, en menor escala se tiene como maíz, papas, trigo, cebada, habas, melloco, habas entre otros. Su sistema de producción en su mayoría son familiares, es decir, los integrantes de la familia son los que desarrollan el cultivo o actividad agropecuaria. (Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo, 2015 pág. 21)

Figura 1. Ubicación de la parroquia Pinllopata

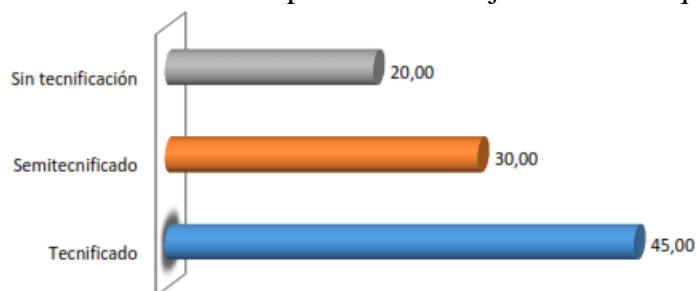


Fuente: (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015 pág. 8)

2.2.2 Productividad de fréjol en la parroquia Pinllopata. Según las asambleas realizadas en las comunidades de la parroquia podemos manifestar que la producción de fréjol por hectárea es de un promedio de 20 a 30 qq., por hectárea, según los estudios de campo desarrollados por los facilitadores zonales del MAGAP, el sistema tecnificado genera una rentabilidad anual del 49%, es decir, obtiene una utilidad que alcanza casi la mitad del valor invertido. (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015 pág. 91)

En el sistema semi-tecnificado la rentabilidad anual disminuye al 22%. Mientras que, en el sistema tradicional, los rendimientos muestran un rendimiento de 9%. (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015 pág. 91)

Figura 2. Productividad Ha por ciclo del fréjol canario en quintales



Fuente: (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015 pág. 91)

Como se puede observar en la figura 2, la diferencia es bastante grande (2 a 1) entre la producción normal que realizan los productores de fréjol con un rendimiento sin tecnificación de 20 a 25 qq por Ha; en cambio la producción con tecnificación es de 45 qq por Ha; aquí intervienen muchos factores como es el la semilla mejorada, los insumos agrícolas, abonos, actividades culturales, entre otras, para obtener una mayor o menor producción. (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015)

También se debe destacar la capacidad económica de los productores que es baja por ello en su gran mayoría no utilizan sistemas tecnificados de producción, esto repercute en la producción y cosecha con menor cantidad de quintales de fréjol. (Secretaria Nacional De Planificacion Y Desarrollo, 2015 págs. 91-92)

2.3 El fréjol: características morfológicas, madurez fisiológica, variedades mejoradas, ciclo de cultivo y siembra

2.3.1 *Características morfológicas.* El fréjol o como su nombre científico Phaseolus Vulgaris, es una planta originaria de América perteneciente a la familia de las leguminosas de la cual, tanto las vainas, como sus semillas se le conoce con diferentes nombres: poroto, haricot, caraota, judía, aluvia, habichuela, frijol y otros, en el Ecuador se conoce como fréjol.

Es intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las templadas, es una planta anual, en el Ecuador en la parroquia Pinllopata se siembra en los meses de febrero a marzo y su cosecha es en agosto a octubre.

2.3.2 *Madurez fisiológica.* Durante la maduración, los frutos sufren una sucesión de importantes cambios bioquímicos y fisiológicos que conducen al logro de las características sensoriales óptimas para el consumo. La madurez fisiológica es el estado en el cual luego de ser cosechado continúa madurando hasta lograr el sabor, aroma y otras características propias.

La madurez fisiológica del fréjol canario es cuando la planta se encuentra de color amarillo, las plantas de fréjol seco deberan tener un contenido aproximado de 18 a 20% de humedad en las semillas y no superior.

2.3.3 *Variedades mejoradas del fréjol.* Según los datos obtenidos por el INIAP las variedades mejoradas son:

Tabla 1. Variedades liberadas por el INIAP

Nombre	Hábito	Color de grano
INIAP 412 Toa	IVa	Rojo moteado
INIAP 421 Bolívar	IVa	Rojo
INIAP 426 Canario Siete Colinas	IVa	Amarillo

Fuente: (INIAP, 2010 pág. 16)

2.3.4 *Ciclo de cultivo.* Según los datos presentados por el INIAP indica el tiempo de maduración de cada planta de fréjol.

Tabla 2. Duración del cultivo para cada variedad de fréjol

Nombre:	Ciclo de cultivo en días	
	Fréjol Tierno	Fréjol Seco
INIAP 412 Toa	160 días	180 días
INIAP 421 Bolívar	155 días	185 días
INIAP 426 Canario siete colinas	100 días	160 días

Fuente: (INIAP, 2010 pág. 16)

2.3.5 *Siembra.* Los cantones de la sierra donde se cultivan fréjol lo hacen en los meses de septiembre a enero, también en las zonas donde son con estriaciones y cordilleras el fréjol cultivan en los meses de abril a mayo.

Según los datos obtenidos por el INIAP (Instituto Nacional De Investigación Agropecuarias) las cantidades que se cultivan de fréjol son de 30 kg/ha en asociación con maíz, por cada área de cultivo se ubican 3 plantas de maíz más 2 de fréjol, esto se debe a que el maíz le sirve de soporte o guía para el crecimiento de la planta de fréjol que lo hace en forma de enredadera. (INIAP, 2010 pág. 11)

2.4 Cosecha y pos cosecha

La cosecha se lo realiza cuando el fréjol ha alcanzado completa madurez fisiológica, es decir cuando las plantas esten de color amarillo como se muestra en la figura 3, las plantas de fréjol seco deberan tener un contenido aproximado de 18 a 20% de humedad en las semillas (se marcan a la presión con la uña). (INIAP, 2010 pág. 11)

Figura 3. Planta de fréjol seco



Fuente: Autores

La cosecha se debe hacer en épocas secas, de poca lluvia, de esta manera, se facilitan en forma considerable las labores de cosecha y poscosecha y se obtiene un grano de excelente calidad, como se puede observar en la figura 4 se cargan bultos de la planta seca de fréjol, debido que la siembra de fréjol se encuentra en laderas por esta razón se deben transportar a sectores adecuados para su aporreo o desgrane.

Figura 4. Transporte de guías



Fuente: Autores

Las plantas de fréjol seco son transportadas y ubicadas en el lugar donde van a trillar o desgranar el fréjol seco, como se muestra en la figura 5 esta zona debe ser plana y ubicada en una lona grande donde se apilarán todas las plantas de la cosecha de fréjol seco, el objetivo de agrupar encima de una lona es que por medio de apalear las plantas o pizotear mediante caballos, el grano quedará encima de la lona y no habrá pérdida de grano.

Figura 5. Guías apiladas en lona



Fuente: Autores

2.5 Métodos de desgrane del fréjol seco

Para el desgrane o trilla se emplean principalmente tres métodos diferentes: el desgrane manual, el desgrane mediante aporreo y el desgrane mecánico.

2.5.1 *Desgrane manual.* Consiste en separar los granos de la vaina de forma manual, es el método ideal para desgranar fréjol para semilla, ya que no se lesiona el grano. Es recomendado para desgranar cantidades pequeñas de semilla, pero tiene la desventaja de ser poco eficiente y costoso cuando se hace con mano de obra contratada. (Ministerio de la agricultura de cuba (MINAG) y el programa de naciones unidas para el desarrollo, 2014)

2.5.2 *Desgrane mediante aporreo.* El proceso de aporreo como se muestra en la figura 6, se lo realiza con varas de madera o caballos, las cuales sirven para golpear los bultos apilados en las lonas, este proceso de aporrea se lo lleva a cabo pasado el medio día donde el sol pega con mas intensidad se aprovecha de esto con la finalidad que se seque las vainas de el fréjol para asi facilitar el desprendimiento del grano.

Figura 6. Proceso de apaleo



Fuente: Autores

Las desventajas de este método de apaleo con garrote de madera es que no se desgrana el 100% del producto debido a su conglomerada esponjosidad que genera las guías entre ellas lo cual representa pérdida para el productor.

2.5.3 Desgrane mecánico. Existen varios tipos de equipos y máquinas desgranadoras de fréjol, conocidas como máquinas trilladoras como se muestra en la figura 7, son accionadas por la energía de un motor o la toma de fuerza de un tractor. Además del mecanismo de trilla, generalmente cuentan con zarandas o tamices de diferentes calibres y además pueden tener adaptado un sistema de ventilación que permite hacer el desgrane y la limpieza al mismo tiempo.

Este método representa un costo inicial alto, pero es muy eficiente comparado con los otros métodos de desgrane, además se reduce el tiempo de trabajo y el costo de la mano de obra.

Existen diferentes tipos y modelos de máquinas trilladoras móviles que efectúan directamente el proceso en el campo, lo que representa un ahorro de tiempo y combustible al eliminar el movimiento de las plantas cosechadas a la trilladora, además, deposita los restos de cosecha en el campo, contribuyendo a su posterior incorporación al suelo. (Ministerio de la agricultura de cuba (MINAG) y el programa de naciones unidas para el desarrollo, 2014)

Figura 7. Desgrane mecánico



Fuente: (Ministerio de la agricultura de cuba (MINAG) y el programa de naciones unidas para el desarrollo, 2014)

2.6 Estado del arte: desgranadoras de fréjol seco

Para este análisis se ha buscado información de sitios web, tesis, revistas científicas, libros entre otros medios, pero existe poca información sobre las partes que conforman las máquinas desgranadoras mecánicas de fréjol seco, por esta razón se ha tomado el criterio propio para hacer una actualización de las diferentes máquinas que se encuentran en el mercado nacional e internacional, podemos reconocerlas de acuerdo a la energía de entrada a la máquina:

- Combustión interna (mono cilíndrico).
- Eléctricas.
- Conexión mediante tractor.

2.6.1 *Las máquinas desgranadoras de combustión interna.* Estas máquinas funcionan con un motor de combustión de diésel/gasolina llamados monocilíndricos, en la figura 8 se puede observar sus dimensiones es robusta ya que se diseñan para el trabajo rudo y en sectores donde no existe energía eléctrica, generalmente se construyen de lámina de acero al carbón y su estructura en perfil o ángulo. (Estado del arte: desgranadora de maíz, 2009 pág. 29)



Fuente: (La casa agrícola del campesino de Ixmiquilpan, s.a. de c.v., 2014)

Como indica en la tabla 3 la potencia del motor que debe tener para diferentes rendimientos de máquinas desgranadoras de fréjol seco o para maíz aproximadamente, estos datos son obtenidos a partir de fabricantes de máquinas desgranadoras de fréjol seco

las cuales son característica técnica que debe tener el motor para capacidades de cosecha de fréjol seco.

Tabla 3. Características de desgranadoras de combustión interna

Potencia requerida en HP	Velocidad del rotor en rpm	Rendimiento aproximado en Kg / hr
3	350-450	800
4	650-750	1500
8	650-750	3500
12-16	650-750	5500

Fuente: (Estado del arte: desgranadora de maíz, 2009 pág. 29)

2.6.2 *Las máquinas desgranadoras eléctricas.* Utilizan energía eléctrica para logra su propósito es decir utilizan un motor eléctrico, en la figura 9 se observa sus dimensiones su construcción es ligera, menos robusta, pudiéndose usar para cualquier volumen de producción, ya que la gran variación de la velocidad así lo permite, de igual forma se construyen de lámina de acero y estructura de ángulo. (Estado del arte: desgranadora de maíz, 2009)

Figura 9. Desgranadora con motor eléctrico



Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-533271912-desgranadora-de-maiz-electrica-de-15-hp-marca-arromex-_JM

Como puede verse en la tabla 4, el rendimiento de las máquinas desgranadoras eléctricas es mayor que las máquinas desgranadoras a combustión, la energía consumida varía considerablemente, además las desgranadoras eléctricas pueden funcionar con motores monofásicos lo cual reduce el costo.

Las desgranadoras de este tipo cuentan con un ventilador extractor de impurezas para así disponer del grano limpio. (Estado del arte: desgranadora de maíz, 2009)

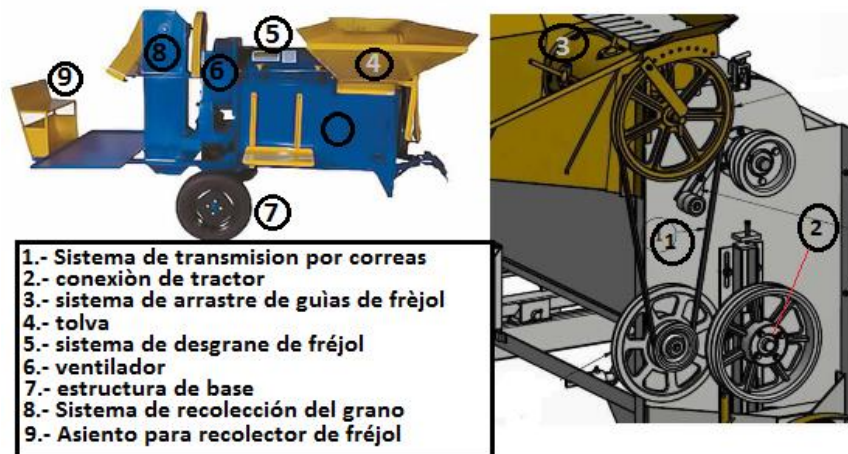
Tabla 4. Características de desgranadoras eléctricas

Potencia requerida en HP	Velocidad del rotor en rpm	Rendimiento aproximado en Kg / hr
1 ½	350-450	800
2	650-750	1500
3	650-750	3500
7 ½	650-750	5500

Fuente: (Estado del arte: desgranadora de maíz, 2009)

2.6.3 *Las máquinas desgranadoras con conexión a un tractor.* Este tipo de desgranadoras utilizan la toma de fuerza mediante un tractor que hace la función de suministrar potencia a la máquina desgranadora de fréjol seco, como se muestra en la figura 10, este tipo de máquinas no son tan robustas, pero necesitan un lugar amplio y plano debido que se debe estacionarse el tractor en paralelo a la máquina para conectarse a la máquina desgranadora de fréjol seco.

Figura 10. Máquina desgranadora de fréjol seco con conexión a un tractor



Fuente: (El MAQTRON Importación y Exportación Ltd., 1995)

2.7 Partes mecánicas de una máquina desgranadora de fréjol seco

De acuerdo a todas las desgranadoras que existen en el mercado a nivel nacional y en los diversos países del mundo, se ha tomado en cuenta todas las partes mecánicas que poseen una desgranadora de fréjol seco las cuales son:

- Tolva.
- Sistema de arrastre.
- Sistema de transmisión por correas y poleas.
- Energía de entrada a la máquina.

- Sistema de desgranado.
- Ventilador centrífugo
- Tamiz para granos y desechos.
- Estructura.
- Carcasa.

2.7.1 Tolva. Se denomina a un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros (AGUSTIN, 2015 pág. 20).

Generalmente es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas como los de un gran cono la descarga se realiza por una compuerta inferior. Son muy utilizados en las agriculturas, en construcción de vías férreas, en instalaciones industriales y en minerías. (AGUSTIN, 2015 pág. 20)

Clasificación de tolvas:

Las tolvas se clasifican de acuerdo a su formas geométricas las cuales existen tolvas de tipos:

- Tolvas cónicas.
- Tolvas rectangulares.

2.7.1.1 Tolvas cónicas. Son aquellas tolvas en formas de embudo y con paredes circulares estas tolvas requieren de una geometría exacta y son más usados para granos y polvos.

Figura 11. Tolva circular



Fuente: <http://www.pcquimica.com/retsch.html>

2.7.1.2 *Tolvas rectangulares.* Son aquellas tolvas que tienen paredes planas paralelas con dimensiones diferentes, esto pueden ser más largas que anchas o viceversas, son utilizadas en maquinaria agrícola o alimenticia.

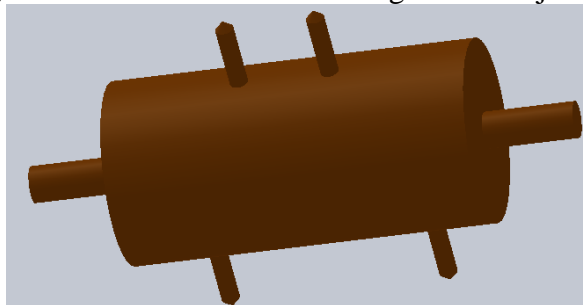
Figura 12. Tolva rectangular



Fuente: <http://www.fimma.net/Tolvas.htm>

2.7.2 *Sistema de arrastre.* Es un cilindro con aletas que permiten arrastrar las guías del fréjol hacia el interior de la máquina para su posterior desgrane como se muestra en la figura 13, la principal función del sistema de arrastre es evitar acumulación de guías de fréjol en la tolva.

Figura 13. Tambor de arrastre de guías de fréjol seco



Fuente: Autores

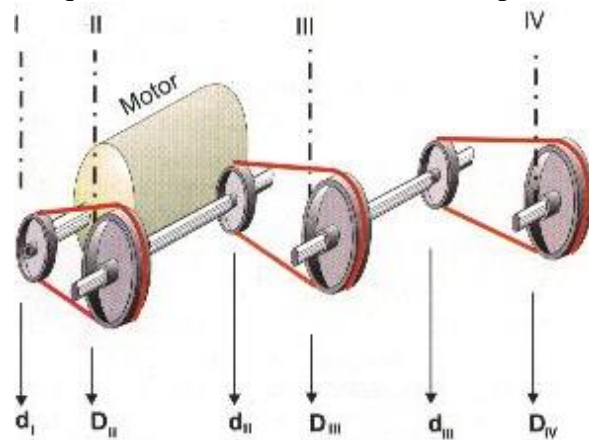
2.7.3 *Sistema de transmisión de potencia.* Es el conjuntos de varios elementos mecánicos como poleas y correas o catalinas y cadenas, etc., la cual permite llevar la potencia transmitida por el motor hacia la máquina. Los sistemas de transmisión de potencia pueden ser:

- Transmisión de potencia por correas.
- Transmisión de potencia por cadenas.

2.7.3.1 Sistema de transmisión de potencia de correas y polea. Las correas son elementos de transmisión de potencia de constitución flexible, que se acoplan sobre poleas que son solidarias a ejes con el objeto de transmitir pares de giro.

En la figura 14 la correa de transmisión trabaja por rozamiento con la polea sobre la que va montada, esto implica que las correas deben estar tensadas para no perder torque en el sistema y sobre todo que se produzca deslizamiento lo cual se perderá torque en el sistema.

Figura 14. Esquema del sistema de transmisión por correa y polea



Fuente: http://portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/mecánica/máquinas_y_circuitos/correa.htm

Como se muestra en la tabla 5, se presentan las diferentes correas que se encuentran en el mercado y que son utilizadas en maquinarias como sistema de transmisión de potencia.

Tabla 5. Clasificación de las correas

Clasificación de las correas		
Correas planas	Correas trapezoidales o de sección en "V".	Correas dentadas (timing belts)
Este tipo de correas están en desuso debido que se utilizan para baja potencia y velocidad lineal < 5 m/s. Se utilizan cuando la distancia entre ejes es elevada.	Las correas en "V" permiten transmitir pares de fuerzas más elevados, y una velocidad lineal de la correa más alta, que puede alcanzar sin problemas hasta los 30 m/s.	Tienen aplicación sobre todo en aquellas transmisiones compactas y que se requieren transmitir alta potencia. En este caso se deben emplear poleas de pequeño diámetro, y las correas dentadas ofrecen mayor flexibilidad y mejor adaptabilidad al dentado de la polea.

Fuente: Autores

2.7.3.2 *Sistema de transmisión por cadenas.* Dentro de las transmisiones flexibles, las transmisiones por cadenas son las más empleadas cuando se demanda grandes cargas en los accionamientos con alta eficiencia y sincronismo de velocidad en los elementos de rotación.

Existe una amplia gama de tipos de cadenas donde se destacan de manera significativa las cadenas de rodillos, como se muestra en la figura 15 son elementos flexibles, altamente eficiente y versátil de transmisión de potencia.

Figura 15. Transmisión por cadenas



Fuente: SolidWorks

2.7.4 *Energía de entrada a la máquina.* Las máquinas agrícolas pueden trabajar en diferentes campos, son diseñadas para ser utilizadas para diferentes condiciones de trabajo.

Las máquinas desgranadoras de fréjol seco utilizan diferentes sistemas para la energía de entrada a la máquina, como motores eléctricos, motores de combustión interna y conexión con tractor.

2.7.4.1 *Motores eléctricos.* Un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma energía eléctrica en energía mecánica.

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión, a igual tamaño y peso son más reducidos. Se pueden construir de cualquier tamaño (CAMACHO YANEZ, 2011 pág. 10).

La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores, convirtiendo energía mecánica en eléctrica (CAMACHO YANEZ, 2011 pág. 10).

Figura 16. Motores eléctricos

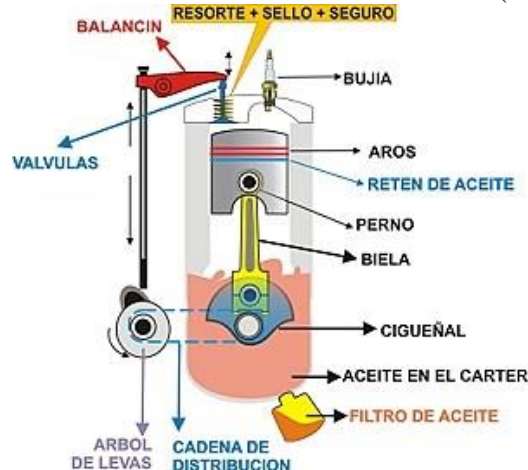


Fuente: <http://provisegmaquinarias.com/site/producto/motores-electricos-weg/>

2.7.4.2 Motores de combustión interna. Su funcionamiento como su nombre lo indica, es el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón.

Para estos motores de combustión se utilizan combustibles como gasolina o diésel, como se muestra en la figura 17, nos indica las partes principales de un motor de combustión mono cilíndrico, el cual están constituidos de un solo pistón, el cual son utilizados en mayor parte en maquinaria agrícola debido que trabajan en campo abierto donde no existe energía eléctrica, estos tipos de motores utilizan combustibles como el diésel o gasolina. (BIBLIOTECA VIRTUAL LUIS ÁNGEL ARANGO, 2005)

Figura 17. Partes de un motor de combustión interna (monocilíndricos)



Fuente: <http://cperezautomotriz2013ctplm.blogspot.com/2013/09/motores-y-sistemas-auxiliares.html>

2.7.5 Sistema de desgranado. Las máquinas desgranadoras de leguminosas para uso industrial se diferencian por el sistema de desgrane que pueden ser con aletas y con tornillo sin fin, también por su suministro de energía que pueden ser con motor eléctrico, motor a combustión interna y por utilización de tractor como toma de fuerza.

Como características podemos reconocer, su seguridad para la separación del grano y la vaina, confiabilidad, su bajo costo y eficiencia. El sistema de desgrane es el órgano principal de la máquina desgranadora de fréjol seco, la cual cumple la función de cortar, aporrear y separar el grano de la vaina lo que es nuestro principal objetivo. (Máquina desgranadora de arveja y frijol, 2007 pág. 6)

Como se muestra en la figura 18, podemos ver una máquina con cilindro de aletas el cual se utilizan para el desgrane de distintas leguminosas como son para fréjol seco, soya y maíz.

Figura 18. Máquina para desgranar fréjol seco



Fuente: (RED SICTA, 2009 pág. 6)

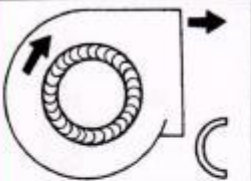




2.7.6 Ventiladores centrífugos. Los ventiladores son muy utilizados en maquinaria agrícola debida que sirven como limpiador y expulsador de desperdicios producidos por los productos ingresados a las máquinas.

Los ventiladores centrífugos el aire de ingreso al ventilador es paralelo al eje del rotor, y la descarga lo realiza tangencialmente al rotor, es decir, el aire cambia de dirección noventa grados.

El diseño de los alabes están construidos de forma que minimicen las pérdidas por turbulencias del aire, permiten obtener la máxima eficiencia de la potencia acoplada y generar el mínimo nivel sonoro.

En la tabla 6, se muestra los tipos de ventiladores que son utilizados a nivel industrial para generar flujo de aire para distintas aplicaciones, también son utilizados para succionar particular.

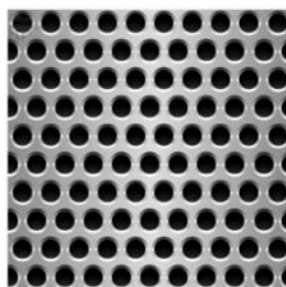
Tabla 6. Tipos de ventiladores centrífugos

VENTILADOR		DESCRIPCION	APLICACION
	CURVADAS HACIA ADELANTE	Rotor con palas curvadas hacia adelante, apto para caudales altos y bajas presiones. No es autolimitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.	Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.
	PALAS RADIALES	Rotor de palas radiales. Es el diseño más sencillo y de menor rendimiento. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. El diseño le permite ser autolimpiante. La potencia aumenta de forma continua al aumentar el caudal.	Empleado básicamente para instalaciones industriales de manipulación de materiales. Se le puede aplicar recubrimientos especiales anti-desgaste. También se emplea en aplicaciones industriales de alta presión.
	INCLINADAS HACIA ATRAS	Rotor de palas planas o curvadas inclinadas hacia atrás. Son de alto rendimiento y autolimitadores de potencia. Puede girar a velocidades altas.	Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.
	AIRFOIL	Similar al anterior pero con palas de perfil aerodinámico. Es el de mayor rendimiento dentro de los ventiladores centrífugos. Es autolimitante de potencia.	Es utilizado generalmente para aplicaciones en sistemas de HVAC y aplicaciones industriales con aire limpio. Con construcciones especiales puede ser utilizado en aplicaciones con aire sucio.
	RADIAL TIP	Rotores de palas curvadas hacia delante con salida radial. Son una variación de los ventiladores radiales pero con mayor rendimiento. Aptos para trabajar con palas antidesgaste. Son autolimpiantes. La potencia aumenta de forma continua al aumento del caudal.	Como los radiales estos ventiladores son aptos para trabajar en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, pero con un mayor rendimiento.

Fuente: <http://www.ciarrapicohnos.com.ar/download/Centrifugos.pdf>

2.7.7 *Malla o rejilla para granos y desechos.* Esta malla consiste en una plancha de acero inoxidable con agujeros que van a tener las dimensiones del grano de fréjol, nos permitirá separar los granos de los desechos por este motivo se deberá aplicar la norma AISI para alimentos que nos indica que si hay contacto un alimento con acero se debe aplicar acero inoxidable AISI 304.

Figura 19. Malla metálica de acero inoxidable



Fuente: <http://www.wiremeshfabric.com>

Según la norma para manejo de alimentos se recomienda utilizar aceros inoxidable cuando hay contacto con productos alimenticios.

2.7.7.1 Acero Inoxidable AISI 304. Éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidables de la serie 300, tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado, tiene buenas características para la soldadura, la resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos. (SUMITEC, 2010, pág. 10)

Tabla 7. Propiedades del acero inoxidable 304

Propiedades Mecánicas	Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI) Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI) Elongación 30 % (en 50mm) Reducción de área 40 %Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Propiedades Físicas	Densidad 7.8 g/cm ³ (0.28 lb/in ³)
Propiedades Químicas	0.08 % C mín. 2.00 % Mn 1.00 % Si 18.0 – 20.0 % Cr 8.0 – 10.5 % Ni 0.045 % P 0.03 % S
Usos	Equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

Fuente: (SUMITEC, 2010)

2.7.8 Carcasa. Es el armazón que recubre los diferentes mecanismos y transmisión para servir de soporte o de protección para los componentes internos o para la protección del operador de la máquina desgranadora mecánica.

Figura 20. Carcasa del sistema de desgrane



Fuente: (FALCÓN SILVA, 2015)

2.7.9 *Estructura metálica.* Es la base metálica que permite estabilidad, ergonomía y movilidad de la máquina desgranadora.

Esta estructura permite ubicar los diferentes partes que conforman la desgranadora como son el sistema de desgrane, la transmisión, tolva, carcasa y el suministro de energía un motor.

Figura 21. Estructura base de una desgranadora



Fuente: (TÉCNICO MERCANTIL, SA, 1970)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO CONCEPTUAL

En el diseño de concepto se presenta la metodología que hemos de seguir de forma ordenada para obtener una máquina con características técnicas, con características de calidad, durabilidad, también se especificará las partes que conformaran la máquina desgranadora de fréjol seco, para este estudio se deberá seguir un proceso ordenado y planificado.

3.1 Metodología para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco

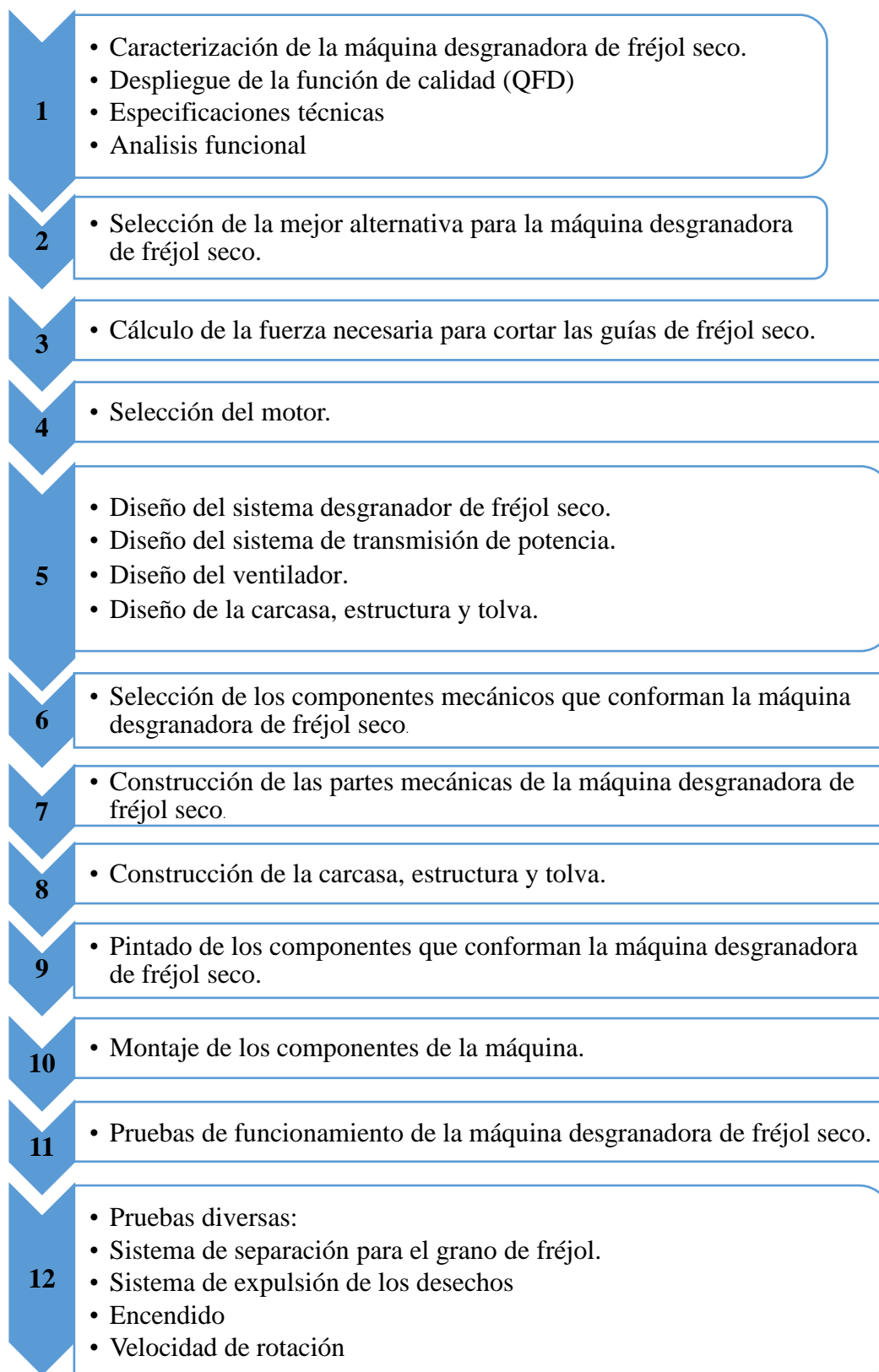
La ingeniería concurrente (CE por sus siglas en inglés) se define como “un enfoque sistemático para el diseño paralelo e integrado de productos y los procesos relacionados, incluyendo manufactura y servicios de apoyo, con la intención de que los desarrolladores consideren, desde el inicio del proyecto, todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde su concepción hasta su eliminación y reciclaje, incluyendo calidad, costo, planeación y requerimientos del usuario”. (Ingeniería concurrente y tecnologías de la información, 2004)

Cuando se implementa exitosamente, los productos que se desarrollan con esta filosofía se fabrican de forma eficiente, entran al mercado rápidamente y son de calidad satisfactoria para los clientes. (Ingeniería concurrente y tecnologías de la información, 2004 pág. 20)

3.1.1 *Tendencias del diseño.* Para el diseño de la máquina se debe planificar y seguir un proceso que ayudará para el diseño y construcción de la máquina desgranadora de fréjol seco, con esto facilitará al lector el procedimiento que se siguió.

La tabla 8 indica la metodología seguida para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco, la cual es la planificación que se sigue para el diseño y construcción de la máquina la cual ayuda a facilitar los pasos para obtener un producto de mejor calidad, con esto se indica en forma general los pasos a seguir para ahorrar tiempo y ayudar al diseñador para que obtenga una idea de la metodología.

Tabla 8. Metodología para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco.



Fuente: Autores

3.2 Estudio de mercado

Para el diseño y fabricación de la máquina desgranadora de fréjol seco no se hará un estudio de mercado, debido que la máquina es una petición de un productor de fréjol seco de la parroquia Pinllopata perteneciente al cantón Pangua.

3.3 Consideraciones para la determinación de las especificaciones

El prototipo que se presentará para el proyecto de titulación, tiene como objetivo satisfacer los requerimientos del patrocinador cuya actividad actual es el sembrío, cosecha y venta de fréjol seco en la parroquia Pinllopata perteneciente al cantón Pangua, por esto se toma los datos generales de la parroquia Pinllopata, las características morfológicas del fréjol seco.

El método aplicado por el patrocinador es manual y sin tecnificación, por esta razón la producción de fréjol seco es mínima y no logra satisfacer la creciente demanda, el patrocinador quiere lograr una mayor producción de fréjol seco y cumplir con la demanda en el país.

3.4 Determinación de las especificaciones de la máquina

Se especificará las características técnicas que deberá tener la máquina desgranadora de fréjol seco, para así satisfacer los requerimientos expuestos por el patrocinador que cuenta con terrenos de sembrío de fréjol canario.

3.4.1 *Despliegue de la función de calidad (QFD).* La matriz QFD (quality function deployment) permite al ingeniero determinar las especificaciones técnicas de la máquina, la casa de calidad o matriz QFD es un método aplicado en la ingeniería concurrente donde se analiza y se trabaja en grupo tomando en cuenta los requerimientos por el usuario o patrocinador, con esto se obtendrá un producto de mejor calidad siguiendo una planificación adecuada y tomando en cuenta la vida útil de la máquina. (RIBA, 2002, pág. 177)

La meta final de cualquier diseño es la satisfacción del cliente, por ello, una de las tareas más importantes es conocer y considerar desde el comienzo del desarrollo quien va a ser

el usuario, cuáles son sus expectativas y con que productos se debe competir, y relacionar esto con las características para el diseño. (RIBA, 2002, pág. 177)

3.4.1.1 *Voz del usuario.* Esta sección se detalla las características que sugiere el usuario para la máquina que son:

- Que funcione a campo abierto.
- Que no se dañe el grano en el proceso.
- Que no sea ruidoso.
- Que la capacidad de producto sea alta.
- Fácil funcionamiento.
- Que el grano salga limpio.
- Las partes de la máquina deben ser resistentes.
- Fácil transportación.
- Fácil mantenimiento.
- Que no se corra.
- Que el tamaño no sea muy elevado.

3.4.1.2 *Voz del ingeniero.* En esta sección se convierten las especificaciones dadas por el usuario a características técnicas que son:

- Fuente de energía a combustión gasolina o diésel (mono cilíndrico).
- Velocidad de desgrane (800 a 1200 rpm).
- Nivel de ruido (menor a 60 DB).
- Capacidad quintales/hora.
- Ergonomía.
- Ventilación centrífuga radial.
- Materiales.
- Periodos de mantenimiento.
- Confiabilidad.
- Dimensiones.

3.4.1.3 *Resultados de la matriz QFD.* La máquina desgranadora de fréjol seco deberá cumplir con las diferentes características técnicas para poder competir con el propósito de adecuar el modelo al proyecto.

Dificultad para lograr la meta:

- 1.0 = Poca dificultad
- 1.2 = Dificultad moderada
- 1.5 = Dificultad alta

Punto de ventas:

- 1.0 (1.1) = No hay ventaja
- 1.2 (1.2) = Ventaja media
- 1.5 (1.4) = Ventaja fuerte

El índice de mejora se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}} \quad (1)$$

La ponderación se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Ponderación} = \text{Índice de mejora} * \text{factor de venta} * \text{importancia} \quad (2)$$

Tabla 9. Matriz QFD (Casa de la calidad)

VOZ DEL USUARIO	VOZ DEL INGENIERO										ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA									
	Fuente de energía	Velocidad de desgrane	Nivel de ruido	Quintales/hora	Ergonomía	Ventilación	Materiales	Periodos de mantenimiento	Confiabilidad	Dimensiones	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2	Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %	
Que funcione a campo abierto	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	4	4	4	4	●	5	30	30	
Que el grano no salga dañado	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	3	4	3	3	●	4	18	18	
No sea tan ruidoso	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	2	2	2	●	2	4,8	4,9		
Que permita abastecer mucho producto	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	2	4	4	●	3	18	18		
Facil funcionamiento	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	2	3	3	●	4	14	14		
Que el grano salga limpio	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	2	4	3	●	4	14	15		
Las partes de la máquina sean resistentes	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	3	3	3	●	3	11	11		
Facil mantenimiento	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	2	2	2	●	2	4,8	4,9		
Que no se corra	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	3	3	3	●	3	14	14		
Que no sea tan alta	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	3	2	3	●	4	14	15		
Propia empresa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3201	
Competencia 1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3201	
Competencia 2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3201	
Incidencia	368,1	336,9	313,2	325,2	189,9	243,3	272,7	174,9	590,4	386,4	3201	3201	3201	3201	3201	3201	3201	3201	3201	
Incidencia en %	11,5	10,525	9,7844	10,159	5,9325	7,6007	8,5192	5,4639	18,444	12,071	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Factor de Incidencia
Fuerte=9
Medio=3
Bajo=1

B= BÁSICO
O= UNIDIMENSIONAL
E= ESTIMULANTE

● Muy Positiva
○ Positiva
× Negativa
✗ Muy negativa

VALORES DE REFERENCIA	1	2	3	4
Gasolina o diesel	4	3	2	1
Velocidad del eje (800 a 1200rpm)	4	3	2	1
60 DB	4	3	2	1
20 quintales por hora	4	3	2	1
Facilidad de operación de control	4	3	2	1
Ventilador centrífugo radial	4	3	2	1
Acero A36	4	3	2	1
1/dia	4	3	2	1
90% de confiabilidad	4	3	2	1
Altura máx. 1,50m	4	3	2	1

Factor de Venta
Fuerte=1,5
Posible=1,2
Ningún=1

Fuente: Autores

3.4.1.4 Conclusiones de la matriz QFD. Como se puede observar en la matriz QFD los resultados de las características técnicas más importantes que debemos tomar en cuenta para el diseño de la máquina desgranadora para fréjol seco como son:

- *Fuente de energía a combustión interna:* la máquina deberá funcionar con un motor de combustión monocilíndricos para diésel o gasolina.
- *Velocidad del eje de desgrane:* la velocidad del sistema desgranador de fréjol seco debe estar en el rango de 800 a 1200 rpm para que el grano no salga dañado en el proceso, de tal caso que la velocidad no afecte o dañe el grano si sobre pasa ese rango.
- *Nivel de ruido:* la máquina desgranadora de fréjol seco deberá tener máximo 60 DB para que no afecte a los operarios que trabajan en la máquina, por otro lado, si el nivel de ruido fuera mayor a lo esperado se deberá utilizar orejeras.
- *Quintales/hora:* la capacidad que deberá tener la máquina desgranadora de fréjol seco es entre 15 a 20 quintales/hora que es un requerimiento por el patrocinador, ya que muchas veces la capacidad depende del cuidado y mejora del fréjol, debido a que produce más vainas por planta de fréjol canario.
- *Ventilación centrífuga radial:* la máquina desgranadora de fréjol seco debe tener un sistema de ventilación para separar y expulsar los desechos, el cual genera grandes cantidades de caudal para absorber los desperdicios, con esto se obtiene un producto más limpio sin residuos de desechos.
- *Materiales:* La máquina desgranadora de fréjol seco debe ser resistente a trabajos de jornadas de 8 horas, donde la cosecha lo hacen durante entre uno a dos meses, por esta razón se deberá seleccionar materiales que resistan a cargas pesadas, también se deberá utilizar acero inoxidable donde hay contacto con el grano de fréjol seco.
- *Confiabilidad:* la máquina desgranadora de fréjol seco deberá operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función, por esto deberá tener una confiabilidad del 90%.
- *Dimensiones:* la máquina desgranadora de fréjol seco no deberá ser alta debido que el operario debe adaptarse al puesto de trabajo por esta razón la máquina deberá tener una altura máxima 1.50 m, debido que la altura promedio de las personas en la parroquia Pinllopata está entre 1.50 a 1.60 m.

3.4.2 Especificaciones técnicas. Se especificará los datos técnicos que deberá tener la máquina desgranadora de fréjol seco, con la matriz QFD obtenida en la tabla 10 se podrá detallar con más exactitud las características técnicas de la máquina.

Tabla 10. Especificaciones técnicas de la máquina desgranadora de fréjol seco

Empresa Cliente: Patrocinador	Producto:		Fecha inicial: 05-10-2015 Última revisión: 19-10-2016	
Diseñadores: -Changuán Johnatan -Yanchaliquín Edgar	Máquina desgranadora de fréjol seco		Página 1	
Especificaciones:				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		D	R	Velocidad de rotación del sistema desgranador 1050 rpm.
Energía		C	R	Energía a combustión interna (Diésel o Gasolina)
Materiales		C	R	Acero A36. Acero Inoxidable 304.
Vida útil		D	D	Confiabilidad de 90%.
Mantenimiento		D	R	Fácil mantenimiento, utilización de sistema de transmisión de potencia por correas y cadena.
Dimensiones		C	D	Altura máxima de la máquina desgranadora de 1.50 metros.
Seguridad y ergonomía		C	R	El nivel de ruido deberá ser máximo de 60DB.
Selección, construcción y montaje		D	R	Capacidad de 15 – 20 quintales / hora.
Propone: M= Márquetin, C= Cliente, D= Diseño, P= Producción, F= Fabricación. R/D: R= Requerimiento, D= Deseo, MR= Modificación de requerimiento.				

Fuente: Autores

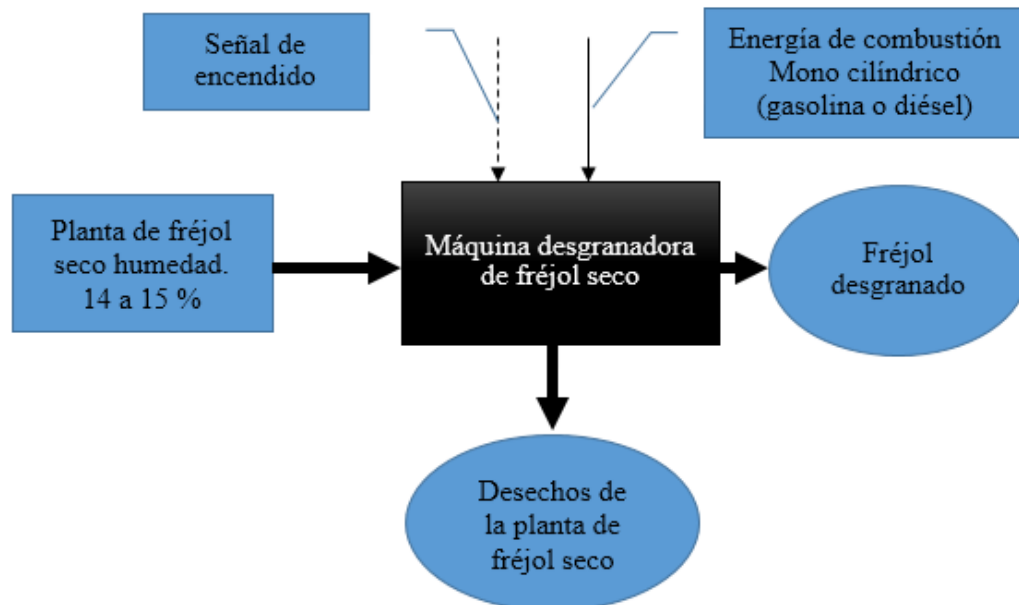
3.5 Análisis funcional

La función primaria de la máquina es desgranar el fréjol, mientras que las funciones secundarias son complementos que permiten realizar correctamente la función primaria.

Una de las formas de sistematizar el proyecto es la caja negra de funciones mostrada en la figura 22, nos muestra el nivel 1 en el cual cada recuadro de los diagramas funcionales debe tener tipos de entradas y salidas del proceso.

Estas entradas estarán presentes de acuerdo a la función que se requiera en la máquina, en el caso de la máquina desgranadora de fréjol cumple el siguiente análisis:

Figura 22. Función primaria de la máquina desgranadora de fréjol



Fuente: Autores

Para un primer nivel del análisis funcional las señales que ingresan son:

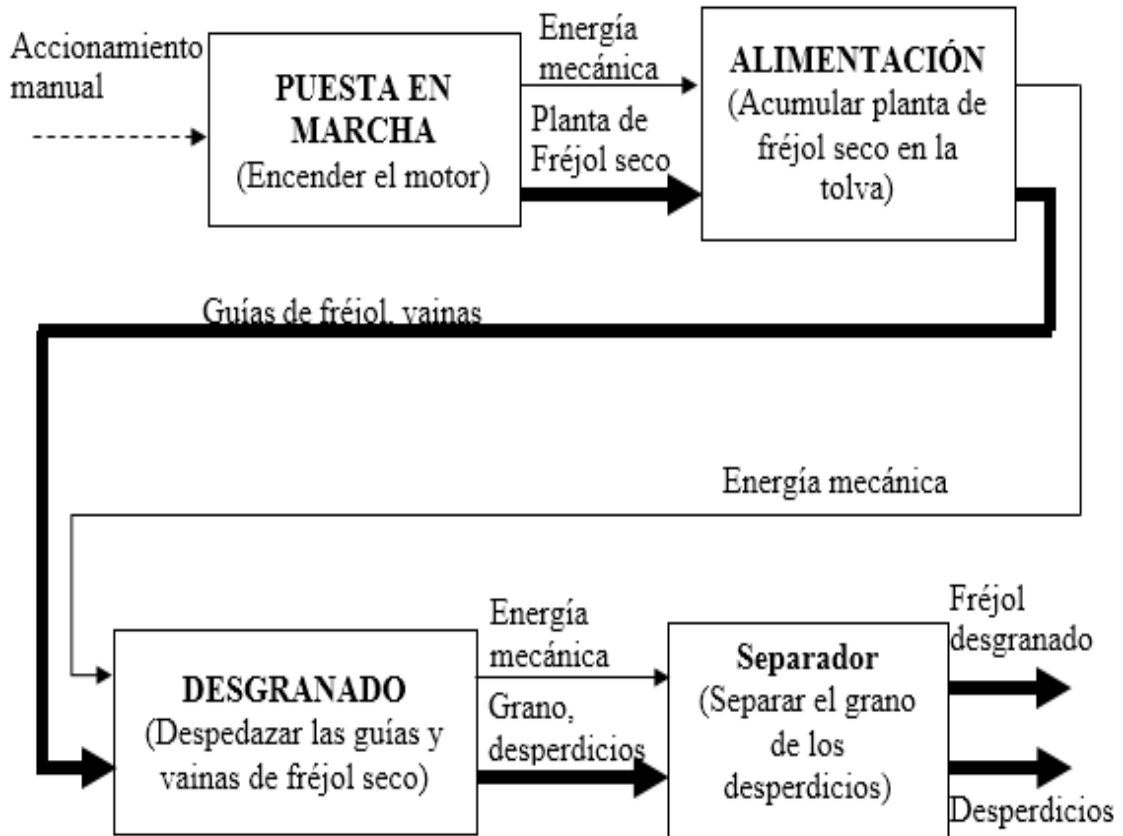
- Energía de combustión mono cilíndrico (gasolina o diésel).
- La señal de control que es la puesta en marcha del motor a combustión interna.
- Planta de fréjol seco con una humedad de 14 a 15 % corresponde a material.

Las señales que salen son:

- El grano de fréjol seco limpio y sin daño.
- Los desechos de la planta de fréjol que corresponde a las vainas y las guías (tronco).

En el nivel 2, en este nivel se detalla las funciones que se requieren para alcanzar la función principal de la máquina que es obtener el fréjol desgranado como indica en la figura 23.

Figura 23. Función secundaria de la máquina desgranadora de fréjol

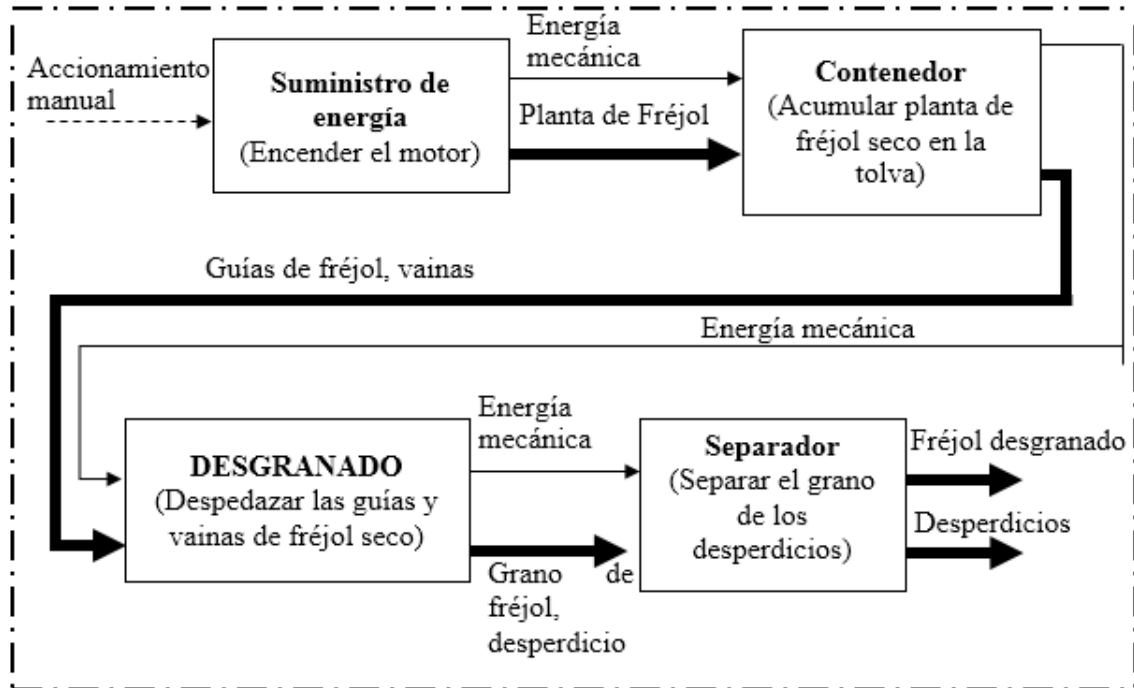


Fuente: Autores

3.5.1 Definición de módulos. La estructura modular facilitará el mantenimiento del producto y contribuye en la reducción de costos y la mejor comprensión del funcionamiento del producto, para esto se divide en varios bloques funcionales, debido que la máquina presenta un proceso simple para desgranar el fréjol seco se utilizará un solo modulo.

En la figura 24 se indica el modulo que tendrá la máquina con el fin de sintetizar el proyecto, la cual todos sus procesos o funciones que tiene la misma son un solo conjunto que trabajan sincrónicamente cada elemento que conforma la máquina desgranadora de fréjol seco, con esto ayudará a visualizar de mejor forma cada proceso y las señales que tendrá a la entrada y salida de la máquina.

Figura 24. Modelo modular



Fuente: Autores

3.5.2 Alternativas de solución para el módulo. En la estructura modular la máquina desgranadora de fréjol seco nos presenta las siguientes funciones:

- Suministro de energía
- Contenedor
- Desgranado
- Separador

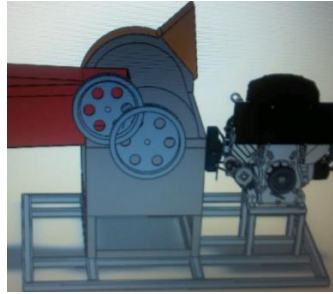
Para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco es necesario que se busque alternativas que cumplan con los procesos que presenta la máquina, las cuales a continuación se detalla las diferentes alternativas que existen en cada elemento principal, con esto tener una amplia gama de selección para cada proceso que realiza la máquina, con el fin de encontrar la mejor solución a los requerimientos del usuario o patrocinador de la máquina.

3.5.2.1 Puesta en marcha (fuente de energía). Debido a que el patrocinador desea utilizar la máquina en campo abierto donde no existe energía eléctrica se optado a utilizar:

- Motor de combustión interna.
- Toma de fuerza por tractor.

Motor de combustión interna mono cilíndrico. Estos motores transforman la energía química en energía mecánica, la energía química puede ser un combustible (gasolina o diésel) que mediante un proceso en el interior del motor es convertida en energía mecánica que proporciona el eje (torque y rpm), esto puede ser transmitido a un sistema que transmita potencia durante el proceso.

Figura 25. Máquina desgranadora con motor monocilíndricos



Fuente: Autores

Ventajas

- Puede ser utilizados en cualquier lugar donde no haiga energía eléctrica.
- Consumen poco combustible.

Desventajas

- Costo más alto que los motores eléctricos.
- Costo alto por mantenimiento y cambio de piezas mecánicas.
- Son ruidosos y tienen mucha vibración.
- Producen gases tóxicos.
- Es más robusto.

Toma de fuerza por tractor. El sistema de suministro de energía mecánica se produce acoplando a un tractor que es conectado al sistema de transmisión de dicho tractor.

Figura 26. Máquina desgranadora de fréjol con conexión a un tractor



Fuente: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7613e/A7613e.pdf>

Ventajas

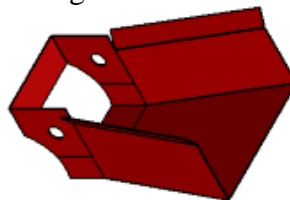
- Regular la velocidad de desgranado mecánico.
- No se consume combustibles ni electricidad en la desgranadora mecánica el que consume combustible es el tractor.
- Costo es más reducido debido que la energía de entrada es por medio de un tractor y no de un motor.

Desventajas

- Se necesita un tractor como medio de suministro de energía para que funcione la desgranadora mecánica.
- Se necesita un lugar grande y plano donde se pueda estacionar el tractor y la desgranadora mecánica.

3.5.2.2 Contenedor. Las tolvas son contenedores que permiten guiar el producto hacia el interior de la máquina para su procesamiento, su clasificación es de acuerdo a su forma, pueden ser cuadradas, rectangulares y cónicas. Debido a que las guías de fréjol seco son muy voluminosas es necesario que el contenedor o tolva sea de geometría rectangular.

Figura 27. Tolva



Fuente:Autores

Ventajas

- Permiten acumular mucho producto.
- Permiten guiar al producto hacia el interior de la máquina.
- Costo de fabricación es bajo.

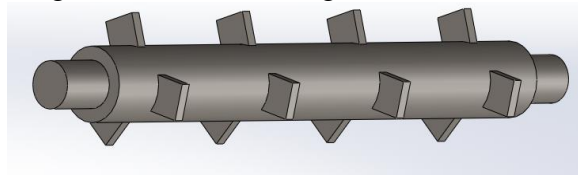
Desventajas

- Las dimensiones de la tolva implican mayor altura a la máquina, por lo cual implica mayor robustez.

3.5.2.3 Desgranado. Es el mecanismo principal de la máquina que va a realizar la función de separar los granos de fréjol de la vaina y de las guías, también tiene la función en unos casos de transportar y en otros de arrancar los desechos como son la vaina y las guías de fréjol.

Desgranadora con aletas. Este sistema de desgrane consiste en un tambor con aleta de acero, este mecanismo cumplirá la función de arrancar las guías del fréjol y destrozará las vainas para que salga el grano completamente y caiga a una malla.

Figura 28. Cilindro desgranador con aletas



Fuente: Autores

Ventajas

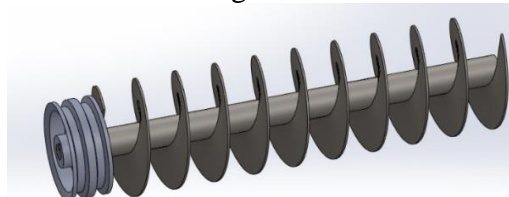
- Permite arrancar las guías del fréjol.
- Desgrane más eficiente.
- Arrastre de desperdicio.

Desventajas

- Obstrucción y reducción de potencia en el eje principal debido a las fuerzas de corte provocado por las guías.
- Provoca enredamiento entre guías y aletas.

Desgranadora con tornillo sin fin. Este sistema de desgrane consiste en la utilización de un tornillo sin fin que va a hacer la función de arrastrar los desechos y sobre todo cortar las guías para que salga el grano, durante el proceso del transporte.

Figura 29. Cilindro desgranador con tornillo sin fin



Fuente: Autores

Ventajas

- Permite cortar las guías del fréjol.
- Arrastrar los desperdicios con facilidad.

Desventajas

- Facilidad de enredo de las guías.
- Baja eficiencia de desgrane del fréjol.
- Construcción dificultosa.
- Elevado costo de fabricación.
- Tendencia a lastimar el grano.

3.5.2.4 Separador. Este proceso se utiliza para separar el grano de los desechos de la planta de fréjol seco.

Tamiz. Son mallas metálicas de diferentes formas y tamaños, permiten separar el grano de los desechos, debido a que tienen agujeros de las dimensiones del grano, lo cual clasifica los desechos y estos expulsarlos de la máquina.

Los agujeros de la malla dependen del tipo de fréjol que se va a desgranar específicamente, además el material utilizado en el tamiz o rejilla debe ser de acero inoxidable ya que está en contacto directo del producto alimenticio. De acuerdo a la norma alimenticia el acero inoxidable debe ser un acero inoxidable AISI 304.

Figura 30. Tamiz o rejilla



Fuente: Autores

Ventajas

- Tiene agujeros circulares a la longitud del grano.
- Son comerciales.

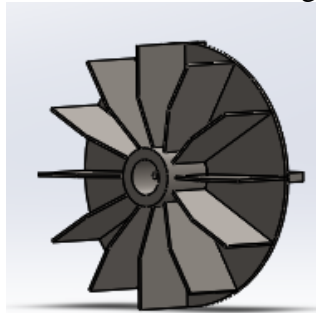
- Es flexible se puede ubicar en cualquier parte de la máquina.
- Utilizan materiales como acero inoxidable AISI 304.

Desventajas

- Permite la entrada de desechos de tamaños pequeños.
- Acula desperdicios más grandes.
- Son costosos.

Ventilador centrífugo radial. Este mecanismo permite succionar las impurezas que pasan por las rejillas y expulsarlos fuera de la máquina las impurezas y los desperdicios transportados por el sistema de desgrane.

Figura 31. Ventilador centrífugo radial



Fuente: Autores

Ventajas

- Expulsar los desechos fuera de la máquina.
- Separar los desechos del grano.
- Son comerciales.
- Producen grandes caudales de aire para adsorber materiales sólidos.

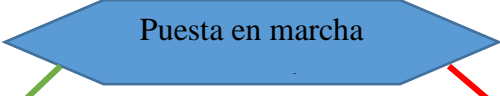
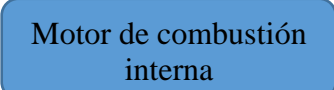
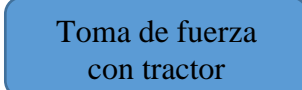
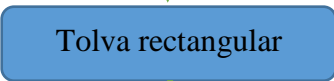

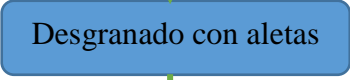
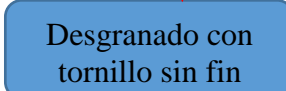
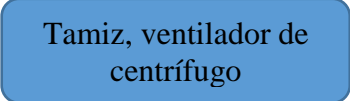
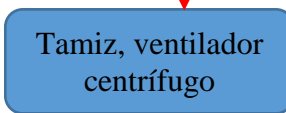
Desventajas

- Son de gran tamaño.
- Necesitan grandes velocidades.
- Son costosos.

3.5.3 *Alternativas de solución.* Para encontrar la mejor solución para las diferentes alternativas se deben combinar entre sí con cada alternativa que se presentó en cada proceso de la máquina desgranadora de fréjol seco.

Las alternativas que se encuentren deben tomar en cuenta los requerimientos del usuario o patrocinador las cuales fueron presentadas en la matriz QFD o casa de la calidad, deberá tomar en consideración que sea compatibles las soluciones para cada alternativa como se muestra en la tabla 11.

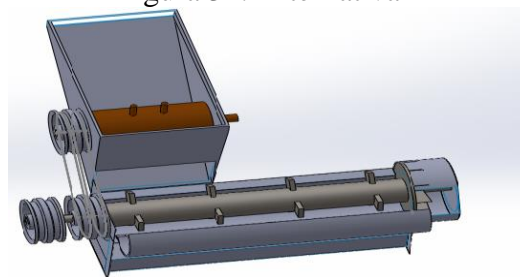
Tabla 11. Alternativas de diseño para la máquina desgranadora de fréjol seco

FUNCIÓN	COMPONENTES	
<i>Suministro de energía</i>		
<i>Contenedor</i>		
<i>Desgranado</i>		
<i>Separador</i>		
		
	SOLUCIÓN	<i>Alternativa 1</i>

Fuente: Autores

La alternativa 1. La máquina desgranadora de fréjol seco con sistema de desgrane de cilindro y aletas, la energía de entrada a la máquina es por medio de un motor de combustión interna monocilíndricos como se muestra en la figura 32.

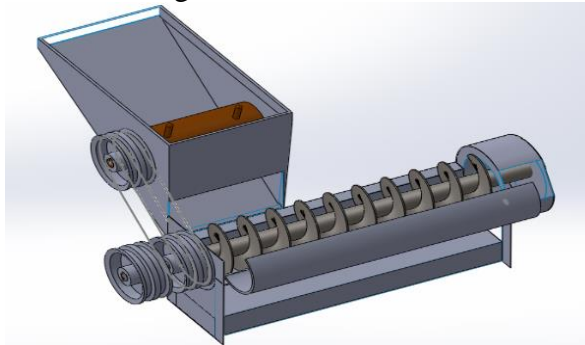
Figura 32. Alternativa 1



Fuente: Autores

La alternativa 2. La máquina desgranadora de fréjol seco con sistema de desgrane de tornillo sin fin, la energía de entrada a la máquina es por medio de un tractor como se muestra en la figura 33.

Figura 33. Alternativa 2



Fuente: Autores

3.5.4 *Evaluación de soluciones y selección de la alternativa.* Para el diseño de la máquina desgranadora de fréjol seco es conveniente realizar la evaluación de alternativas, con el fin de determinar aquella alternativa que resulte más conveniente para el patrocinador y cumplir con los requisitos propuestos, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Para evaluar las alternativas se deberá tomar los criterios de valoración más determinantes como son:

- Producción qq/h, la capacidad de la máquina para desgranar fréjol seco es muy vital para mejorar el rendimiento de cosecha.
- Confiabilidad en los componentes, para evita paros imprevistos y se garantiza la vida útil de los componentes.
- Velocidad de corte o desgrane, ya que las plantas de fréjol seco son como cuerdas y el grano está dentro de una vaina, por lo cual la velocidad debe oscilar entre 800 a 1200 rpm.
- Costo de la máquina, el costo de la máquina desgranadora de fréjol seco varía de acuerdo a los componentes que la integran.
- Mecanismo de función sencilla, permite que la construcción y el mantenimiento de los componentes de la máquina desgranadora de fréjol seco sea fácil, también utilizar repuestos que se encuentren en el mercado.

3.5.4.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados. Según Riba este método permite evaluar las diferentes alternativas en donde no es necesario evaluar los parámetros de cada propiedad o cuantificar el peso de cada criterio para obtener un resultado, por esta razón se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados, solo basta conocer el orden preferencial para predecir una solución.

El método ordinal corregido de criterios ponderados sigue la siguiente asignación para evaluar:

- El valor 1 indica: que la solución es superior o mejor que el de las columnas.
- El valor 0.5 indica: que la solución es igual o equivalente al de las columnas.
- El valor 0 indica: que la solución es inferior o peor que el de las columnas. (RIBA, 2002 págs. 59-60)

Con estos valores se procede a evaluar cada criterio obtenido en la matriz QFD, las cuales son criterios de mayor influencia en la máquina.

Tabla 12. Evaluación de cada criterio

Velocidad de corte > Costo de la máquina > Producción qq/h = Confiabilidad en los componentes = Fuente de energía							
Criterios	Confiabilidad en los componentes	Fuente de energía	Velocidad de corte	Producción qq/h	Costo de la máquina	$\Sigma+1$	Ponderación
Confiabilidad en los componentes		0,5	0	0,5	0,5	2,5	0,15625
Fuente de energía	0,5		0,5	0,5	0,5	3	0,1875
Velocidad de corte o desgrane	0,5	0,5		1	1	4	0,25
Producción qq/h	0,5	1	0		0,5	3	0,1875
Costo de la máquina	0,5	1	0	1		3,5	0,21875
Total						16	1

Fuente: Autores

La alternativa 1.- la máquina desgranadora de fréjol seco con sistema desgranador con cilindro y aletas, con energía de entrada por medio de motor de combustión interna.

La alternativa 2.- la máquina desgranadora de fréjol seco con sistema desgranador con tornillo sin fin, con energía de entrada por medio de toma de fuerza por tractor.

Tabla 13. Evaluación de las alternativas con respecto a la confiabilidad de los componentes

Alternativa 1 = Alternativa 2				
Confiabilidad en los componentes	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1,5	0,5
		Total	3	1

Fuente: Autores

Tabla 14. Evaluación de las alternativas con respecto a la fuente de energía

Alternativa 1 = Alternativa 2				
Fuente de energía	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1,5	0,5
		Total	3	1

Fuente: Autores

Tabla 15. Evaluación de las alternativas con respecto a la velocidad de corte

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Velocidad de corte	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,666666667
Alternativa 2	0		1	0,333333333
		Total	3	1

Fuente: Autores

Tabla 16. Evaluación de las alternativas con respecto a la producción qq/h

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Producción qq/h	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,6666667
Alternativa 2	0		1	0,3333333
		Total	3	1

Fuente: Autores

Tabla 17. Evaluación de las alternativas con respecto al costo de la máquina

Alternativa 1 < Alternativa 2				
Costo de la máquina	Alternativa 1	Alternativa 2	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333333333
Alternativa 2	1		2	0,666666667
		Total	3	1

Fuente: Autores

A continuación, se indica la tabla de conclusiones para las diferentes alternativas evaluadas por cada criterio.

Tabla 18. Conclusiones y selección de la mejor alternativa

Conclusión	Producción qq/h	Confiabilidad en los componentes	Fuerza de corte o desgrane	Costo de la máquina	Mecanismo de función sencilla	\sum	Prioridad
Alternativa 1	0,125	0,078125	0,1666	0,0729	0,09375	0,54	1
Alternativa 2	0,0625	0,078125	0,0833	0,1458	0,09375	0,46	2

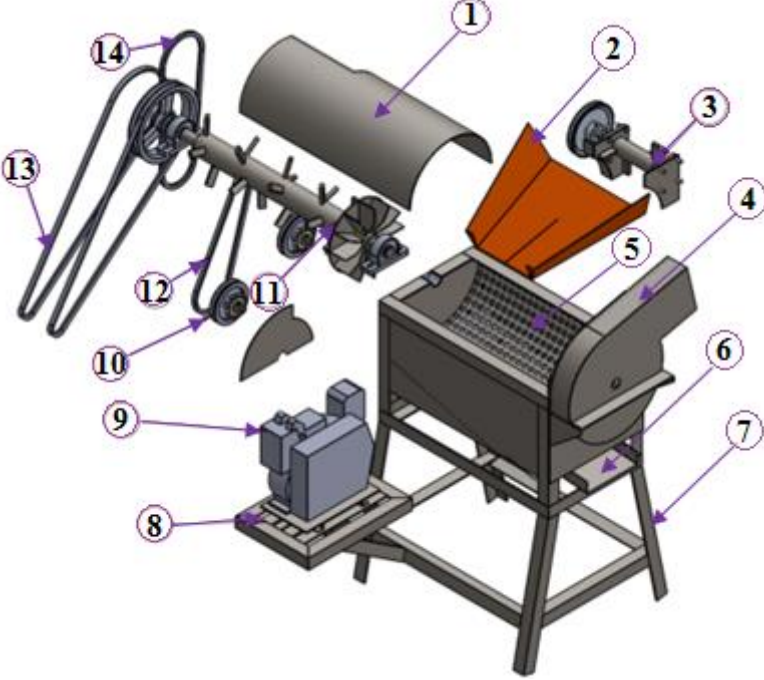
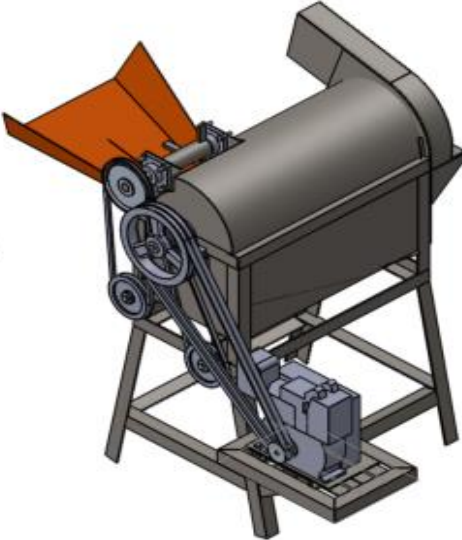
Fuente: Autores

Solución en la tabla 18, indica que la mejor alternativa para la máquina desgranadora de fréjol seco es la alternativa 1, por lo tanto, la máquina deberá tener un cilindro con aletas para el proceso de desgranado y con energía de entrada de combustión interna mono cilíndrico puede ser a gasolina o diésel.

3.5.5 *Características de la máquina desgranadora seleccionada.* Los componentes de la máquina desgranadora de fréjol seco seleccionada cumple con las características pedidas por el patrocinador, ya que al inicio el patrocinador sugirió las características mínimas que debe tener la máquina, para satisfacer las condiciones expuestas, con estos datos se convirtieron en características técnicas que solo el ingeniero conoce.

Mediante la ayuda del software SOLIDWORKS, se indica las partes principales que tendrá la máquina seleccionada, la cual debido a que debe cumplir la función de arrastrar y romperá las guías, por esto se vio la necesidad de combinar las dos alternativas presentadas para obtener un cilindro de aletas en forma de tornillo sin fin, con esto ayuda al ventilador centrífugo radial arrastrar los desperdicios.

Tabla 19. Prototipo de la máquina desgranadora de fréjol seco

Esquema	Componentes
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tapa del sistema de desgrane. 2. Tolva rectangular. 3. Sistema de arrastre. 4. Ventilador centrífugo radial. 5. Zaranda. 6. Tolva de recolección de grano. 7. Estructura base de la máquina. 8. Base del motor monocilindrico a diesel. 9. Motor monocilindrico a diesel. 10. Polea y catalina. 11. Sistema de desgrane. 12. Bandas trapecial. 13. Bandas del motor. 14. bandas del sistema de arrastre.
Máquina desgranadora de fréjol seco	
	

Fuente: Autores

3.5.6 *Elementos de la máquina desgranadora de fréjol seco.* El prototipo de la máquina desgranadora de fréjol seco sigue un diseño de fácil mantenimiento, por lo cual se utilizó poleas y cadena debido que los repuestos son fáciles de conseguir y sus partes permiten facilidad para desmontar, además contendrá un motor monofásico a diésel debido que la máquina será utilizada en el campo abierto donde no existe energía eléctrica y no disponen de un tractor como unidad de suministro de energía a la máquina.

- Cilindro con aletas. Este sistema cumple la función de cortar las guías del fréjol seco y romper las vainas para obtener el grano de fréjol, un dato obtenido por los fabricantes de esta máquina indica que la velocidad de del cilindro de aletas debe estar entre 800 a 1200 rpm para no dañar al producto en el proceso.
- Ventilador centrífugo radial. Este sistema va conectado al cilindro con aletas y cumple la función de absorber los desperdicios (guías de fréjol y las vainas) y expulsarlos fuera de la máquina.
- Tamiz. Este componente es una malla que tiene agujeros de las dimensiones del grano con el objetivo de separar el grano de los desechos.
- Sistema de arrastre. Este sistema permite arrastrar la planta acumulada en la tolva hacia dentro de la máquina desgranadora de fréjol seco para luego desgranar.
- Tolva. Este componente permite acumular las guías de fréjol y direccionarlo hacia el interior de la máquina desgranadora de fréjol seco.
- Sistema de transmisión de potencia de correas y cadena. Este sistema permite la conducción de la velocidad de rotación del motor hacia el sistema desgranador de aletas y también conducir la velocidad de rotación al sistema de arrastre, además es factible utilizar cadena, debido que, en el proceso de desgranar no pierda torque la máquina.
- Estructura base. Es la parte que soporta todos los mecanismos que conforman la máquina desgranadora de fréjol seco, además permite estabilidad a la máquina, debido a esto, utiliza materiales resistentes que permitan soportar cargas de vibración y su conexión es por medio de soldadura, que es el medio de dar seguridad y solides a la estructura.
- Carcasa. Este componente es el que cubre al sistema desgranador de aletas el cual cumple la función de proteger a los operarios de posibles lesiones por movimiento de sus componentes.

- Recolector de fréjol. Este mecanismo permite guiar al grano hacia un saco de recolección.
- Motor de combustión interna. Es la energía que suministra a la máquina por medio de la combustión interna de diésel permite proporcionar velocidad de rotación por medio de un eje y polea hacia el sistema de transmisión de potencia que se encarga de distribuir la velocidad a toda la máquina desgranadora de fréjol seco.

3.5.7 *Capacidad de la máquina desgranadora de fréjol seco.* El parámetro fundamental que se necesita para iniciar el diseño de la máquina es la capacidad de la máquina, según la investigación, se encontró que en la parroquia Pinllopata por el método que se aplica al momento de desgranar el fréjol seco la producción es de 20 a 25 qq/ha.

Debido que nuestro objetivo es obtener una máquina que desgrane fréjol seco a una capacidad de 15 a 20 qq/ha, con este parámetro se va optimizar el tiempo de producción y el porcentaje de cosecha del fréjol seco.

$$Capacidad = \frac{20 \text{ qq}}{h} * \frac{60 \text{ kg}}{1 \text{ qq}} = 1200 \frac{\text{kg}}{h}$$

3.5.8 *Determinación de la resistencia a corte de las guías de fréjol seco.* Para determinar la resistencia a corte se realizó pruebas con las guías de fréjol seco con el fin de encontrar experimentalmente la resistencia de los tallos de fréjol, los tallos deberán estar secos a una temperatura de 16 – 18 °C.

La resistencia a corte es de 3 kgf (ver anexo A), debido que no existe mucha información de las propiedades físicas del tallo de fréjol por esto se utilizará el dato obtenido experimentalmente por el ensayo a corte.

CAPÍTULO IV

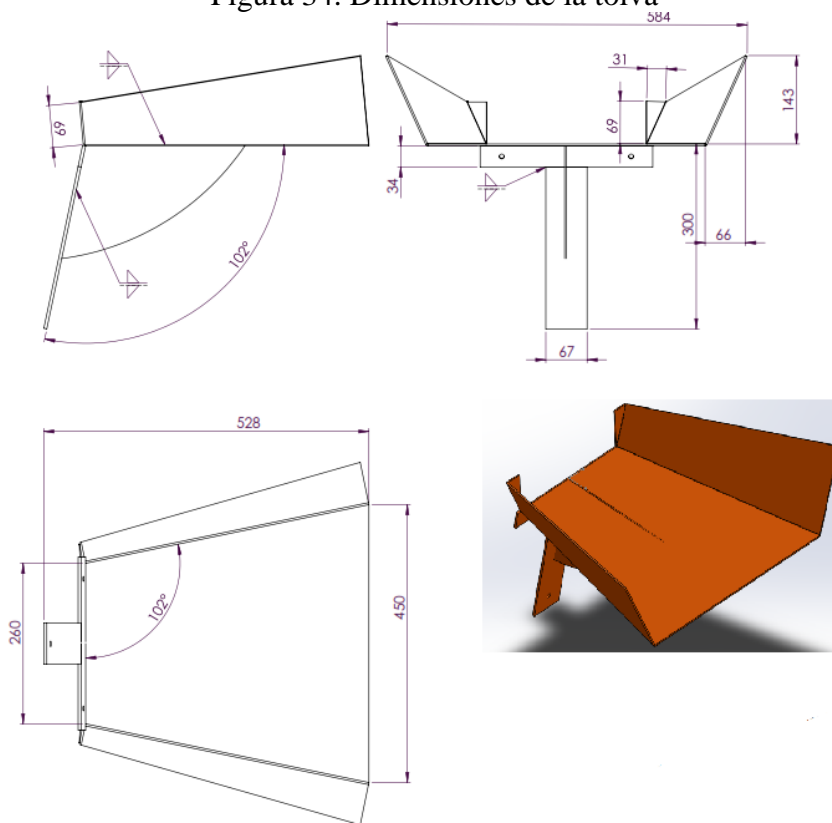
4. DISEÑO DE LA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO

Una vez obtenida la alternativa para la máquina desgranadora de fréjol seco se procede al diseño mecánico, los cálculos, selección de las partes mecánicas y componentes que conforman la máquina, para esto se toma en cuenta todas las teorías existentes y datos de catálogo para el diseño de elementos de máquinas.

4.1 Diseño de la tolva de alimentación

La tolva se diseña de diferentes formas y tamaños dependiendo al producto que se utilizará en la máquina, para la máquina desgranadora de fréjol seco se utiliza bultos de guías de fréjol seco por esto deberá tener una superficie plana ancha para acumular gran cantidad de guías de fréjol seco, en la figura 34 se muestra las dimensiones y la forma geométrica que tendrá la tolva.

Figura 34. Dimensiones de la tolva



Fuente: Autores

4.2 Diseño del eje principal para el desgrane de fréjol seco

4.2.1 *Velocidad de corte de las guías de fréjol seco.* Debido que en el Ecuador no se tiene conocimiento de que existan máquinas desgranadoras de fréjol seco, se busca la necesidad de investigar en otros países, en las cuales se encontró que la velocidad de corte es de 800 a 1200 rpm (ver anexo B), debido a esto nuestro diseño utilizará esta velocidad para el proceso de desgrane del fréjol seco.

4.2.2 *Potencia de corte*

$$Pot = (T + I_T \cdot \alpha)w \quad (3)$$

Donde:

T = Torque para cortar las guías, en $N \cdot m$.

w = Velocidad angular requerida por el eje, en rad/s.

I = Inercia del eje, en $kg \cdot m^2$.

α = Aceleración angular para vencer la inercia, en $\frac{rad}{s^2}$.

Cálculo del torque necesario

$$T = F \cdot R \cdot n \quad (4)$$

Donde:

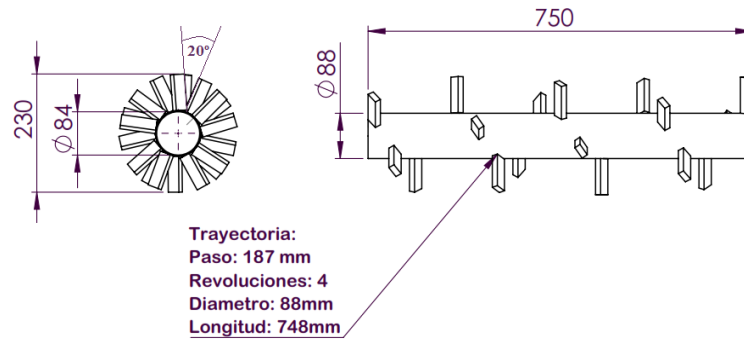
F = Fuerza tangencial de corte de las guías del fréjol, en N .

R = Radio de los martillos de cortes, en m .

n = Número de martillos cortadores en contacto.

En la figura 35, el diseño que tendrán las aletas en el cilindro que es en forma de tornillo sin fin, el cual cumplirá la función de cortar las guías y como sistema de arrastre de las impurezas que queda en el desgrane, también ayuda a expulsar los desperdicios que se quedan después del proceso de desgranar la planta de fréjol seco, este cilindro de aletas en su eje debe estar en velocidades entre 800 a 1200 rpm para no dañar el producto.

Figura 35. Cilindro de aletas para desgranar



Fuente: Autores

$F = 3\text{kgf} = 29.4\text{N}$, este dato se ha obtenido experimentalmente en laboratorios (ver anexo A) y esto tenemos que transformarle usando la conversión de $1\text{kgf} = 9.8\text{N}$.

$R = 0.115\text{m}$, la distancia del centro del eje hasta el extremo de los martillos desgranadores donde se utiliza el radio exterior del cilindro $R_e = 4.4\text{cm}$ sumado la longitud del martillo $L = 7\text{cm}$.

El número de martillos que cumplen la función de cortar las guías y romper las vainas secas son 25 en total.

Remplazando en la ecuación (4) se obtiene:

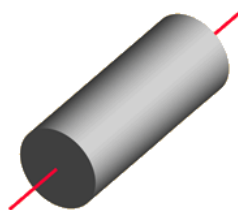
$$T = (29.4\text{N}) \cdot (0.115\text{m}) \cdot (25)$$

$$T = 84.525\text{N} \cdot \text{m}$$

Cálculo de la inercia de los ejes

En la figura 35, se indica el momento de inercia del eje sólido, el cual, es el eje principal para el desgrane del fréjol seco.

Figura 36. Momento de inercia del eje sólido



Fuente: Autores

$$I_1 = \frac{1}{2} m \cdot R^2 \quad (5)$$

Donde:

m = masa del eje sólido = $6.44kg$ (ver anexo C1)

$R = 1.905cm = 0.01905m$ (ver anexo C1)

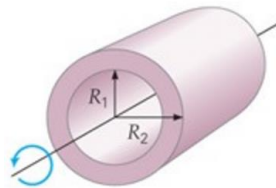
Remplzando en la ecuación (5) se obtiene:

$$I_1 = \frac{1}{2} (6.44kg) \cdot (0.01905m)^2$$

$$I_1 = 1.17 \times 10^{-3} Kg \cdot m^2$$

En la figura 36, indica el momento de inercia del cilindro hueco, el cual, es el cilindro que contendrá en su superficie exterior las aletas.

Figura 37. Momento de inercia del cilindro hueco



Fuente: Autores

$$I_2 = \frac{1}{2} m \cdot (R_2^2 + R_1^2) \quad (6)$$

Donde:

m = masa del tubo hueco de presión = $9.31kg$ (ver anexo C2)

R_2 = Radio exterior = $0.044m$ (ver anexo C2)

R_1 = Radio interior = $0.041m$ (ver Anexo C2)

Remplzando en la ecuacion (6) se obtiene:

$$I_2 = \frac{1}{2} (9.31 kg) \cdot [(0.044m)^2 + (0.041m)^2]$$

$$I_2 = 0.017 Kg \cdot m^2$$

Ahora sumaremos las dos inercias para formar la inercia total del cilindro desgranador.

$$I_T = I_1 + I_2 \quad (7)$$

Remplazando en la ecuación (7) se obtiene:

$$I_T = 1.17 \times 10^{-3} \text{Kg.m}^2 + 0.017 \text{Kg.m}^2$$
$$I_T = 0.0182 \text{Kg.m}^2$$

Cálculo de la aceleración angular mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{w_f - w_0}{t} \quad (8)$$

Donde:

w_f = Velocidad angular de desgrane, en rad/s .

w_0 = Velocidad angular inicial, en rad/s .

t = Tiempo del motor en estabilizar su velocidad angular, en s .

Velocidad angular desgrane w_f : la velocidad final que necesitaremos para nuestro diseño es de 1055 rpm convertido a rad/s tendremos un $w_f = 110.48 rad/s$.

Velocidad angular inicial w_0 : la velocidad inicial $w_0 = 0 rad/s$ porque parte del reposo cuando el motor está apagado.

Tiempo t : el tiempo en que el motor alcanza la máxima velocidad es $t = 2 seg$.

Remplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$\alpha = \frac{110.48 rad/seg - 0 rad/seg}{2 seg}$$
$$\alpha = 55.24 rad/seg^2$$

Ya obtenido todos los parámetros de estudio se procede a calcular la potencia de corte como se indica continuación.

Remplazando en la ecuación (3) se obtiene:

$$Pot = \left[84.525 N \cdot m + (0.0182 Kg \cdot m^2) \cdot \left(55.24 \frac{rad}{seg^2} \right) \right] \left(110.48 \frac{rad}{seg} \right)$$

$$Pot = [85.530 N \cdot m] \left(110.48 \frac{rad}{seg} \right)$$

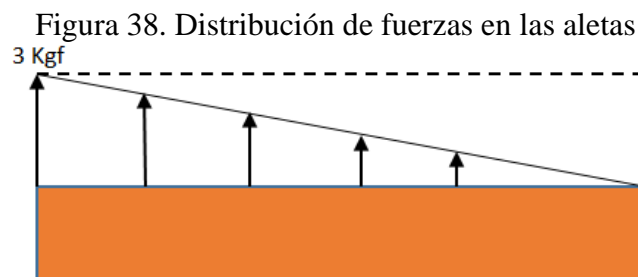
$$Pot = 9449.40 Watt$$

Ahora convertiremos la potencia de watt a Hp con la equivalencia de $1Hp = 746watt$.

$$Pot = 9449.40 watt * \frac{1Hp}{746 watt}$$

$$Pot = 12.67 Hp$$

Esta potencia calculada fuera adecuada si todos los martillos trabajaran a una fuerza de corte de 3 kgf, pero como se muestra en la figura 38, solo las primeras aletas trabajan a esa fuerza de corte, las aletas restantes no producen mucha carga por esta razón la potencia calculada debemos dividir en la mitad. Debido que al encender el motor la maquina se encuentra en vacío es decir sin carga, por tal motivo el eje no genera resistencia, al contrario, por la inercia actúa a favor del movimiento.



Fuente: Autores

De acuerdo a este análisis la potencia que se necesita en la máquina es de:

$$Pot = \frac{12.67}{2} = 6.335 Hp$$

Esta potencia es la necesaria para que el eje desgranador corte las guías de fréjol seco, esta potencia de 6.335 HP se utilizará para la selección del motor mono cilíndrico a diésel.

4.3 Sistema de transmisión de potencia por bandas y cadena

4.3.1 *Selección del motor para la máquina desgranadora de fréjol seco.* Para seleccionar la potencia del motor debemos usar un factor de servicio para motores de combustión interna mono cilíndrico con un tiempo de trabajo de 10 a 16 horas diaria el factor de servicio (ver anexo D1) es: $\eta = 1.3$.

$$Pot_{diseño} = Pot \cdot \eta \quad (9)$$

Remplazando en la ecuación (9) se obtiene:

$$Pot_{diseño} = (6.335Hp)(1.3)$$
$$Pot_{diseño} = 8.23Hp$$

Datos técnicos del motor mono cilíndrico:

EL motor mono cilíndrico que se debe seleccionar deberá ser mayor a la potencia calculada debida que se utilizará en la sierra en la provincia de Cotopaxi, que se encuentra a una altitud entre los 1480 – 3560 msnm (ver anexo C3).

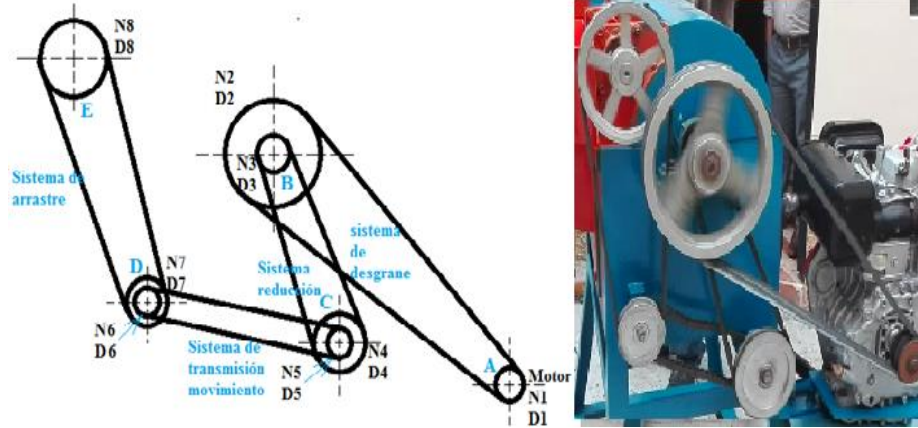
El motor seleccionado es de diésel de 9.3HP, tiene velocidades regulables de 3000 – 3600 rpm (ver anexo C4).

4.3.2 *Cálculo de velocidades en las poleas y catalina.* Como se muestra en la figura 39 el esquema general del sistema de transmisión de potencia, el cual indica los diferentes sistemas que se utiliza para su previa selección de componentes mecánicos que se necesitara para la construcción de la máquina.

El sistema de transmisión de potencia consta de una combinación de correas y cadenas, esto se utiliza para no perder torque en el sistema debido a que al momento de proceder con el proceso de desgrane del fréjol seco no pierda potencia por algún atascamiento o enredo de las guías en el eje de desgrane.

Las correas con poleas se utiliza para reducción de velocidad, las cuales ayudan a unir dos ejes que se encuentran a grandes distancias una de la otra.

Figura 39. Sistema de transmisión de potencia de banda y cadena



Fuente: Autores

Análisis del sistema de transmisión de A-B: la velocidad tangencial de la polea 1 es igual a la velocidad tangencial en la polea 2 por lo tanto la relación de transmisión nos da por la siguiente ecuación.

$$N_1 \cdot D_1 = N_2 \cdot D_2 \quad (10)$$

Donde:

N = Velocidad angular, en *rpm*.

D = Diámetro de las Poleas, en *cm*.

La velocidad angular de la polea 2 y 3 son iguales porque están en el mismo eje B.

Se asume:

D_1 = diámetro de la polea 1 = 8.5cm.

D_2 = diámetro de la polea 2 = 29cm.

$N_2 = N_3$.

$N_1 = N_{A(máxima)} = 3600 \text{ rpm}$.

Para el cálculo de la velocidad angular en rpm de la polea 2 se usará la ecuación (10) y despejamos la velocidad angular de la polea 2 se obtiene:

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot D_1}{D_2} \quad (11)$$

Remplazando en la ecuación (11) se obtiene:

$$N_2 = \frac{(3600 \text{ rpm}) \cdot (8.5 \text{ cm})}{29 \text{ cm}}$$
$$N_2 = 1055 \text{ rpm}$$

Análisis del sistema de transmisión de B-C: La velocidad tangencial de la polea 3 es igual a la velocidad tangencial en la polea 4 por lo tanto la relación de transmisión nos da por la siguiente ecuación.

$$N_3 \cdot D_3 = N_4 \cdot D_4 \quad (12)$$

La velocidad angular de la polea 4 y la catalina 5 son iguales porque las dos están soldadas entre sí por lo tanto $N_4 = N_5$.

Se asume:

$$D_3 = \text{diámetro de la polea 3} = 7.5 \text{ cm.}$$

$$D_4 = \text{diámetro de la polea 4} = 16 \text{ cm.}$$

$$N_4 = N_5.$$

$$N_{3(\text{máximo})} = 1055 \text{ rpm Velocidad máxima.}$$

Para el cálculo de la velocidad angular en rpm de la polea 4 se usa la ecuación (12) despejamos la velocidad angular de la polea 4 se obtiene:

$$N_4 = \frac{N_3 \cdot D_3}{D_4} \quad (13)$$

Remplazando en la ecuación (13) se obtiene:

$$N_4 = \frac{(1055 \text{ rpm}) \cdot (7.5 \text{ cm})}{16 \text{ cm}} = 495 \text{ rpm}$$

Análisis del sistema de transmisión de C-D: la velocidad tangencial de la Catalina 5 es igual a la velocidad tangencial en la catalina 6 por lo tanto la relación de transmisión nos da por la siguiente ecuación.

$$N_5 \cdot D_5 = N_6 \cdot D_6 \quad (14)$$

La velocidad angular de la polea 7 y la catalina 6 son iguales porque las dos están soldadas entre sí por lo tanto $N_6 = N_7$.

Se asume:

$$\phi_5 = \text{diámetro de la polea 5} = 7.5 \text{ cm.}$$

$$\phi_6 = \text{diámetro de la polea 6} = 7.5 \text{ cm.}$$

$$N_6 = N_7.$$

$$N_{5(\text{máximo})} = 495 \text{ rpm Velocidad máxima.}$$

Para el cálculo de la velocidad angular en rpm de la catalina 6 se usa la ecuación (14) y despejamos la velocidad angular de la polea 6 se obtiene:

$$N_6 = \frac{N_5 \cdot \phi_5}{\phi_6} \quad (15)$$

Remplazando en la ecuación (15) se obtiene:

$$N_6 = \frac{(495 \text{ rpm}) \cdot (7.5 \text{ cm})}{7.5 \text{ cm}}$$

$$N_6 = 495 \text{ rpm}$$

Análisis del sistema de transmisión de D – E: la velocidad tangencial de la polea 7 es igual a la velocidad tangencial en la polea 8 por lo tanto la relación de transmisión está dada por la siguiente ecuación.

$$N_7 \cdot D_7 = N_8 \cdot D_8 \quad (16)$$

Se asume:

$$\phi_7 = \text{diámetro de la polea 7} = 7.5 \text{ cm.}$$

$$\phi_8 = \text{diámetro de la polea 8} = 16 \text{ cm.}$$

$$w_{7(\text{máximo})} = 495 \text{ rpm.}$$

Para el cálculo de la velocidad angular en rpm de la polea 8 usaremos la ecuación (16) y despejamos la velocidad angular de la polea 8 se obtiene:

$$N_8 = \frac{N_7 \cdot D_7}{D_8} \quad (17)$$

Remplazando en la ecuación (17) se obtiene:

$$N_8 = \frac{(495 \text{ rpm}) \cdot (11 \text{ cm})}{20 \text{ cm}}$$
$$w_8 = 272 \text{ rpm}$$

4.3.3 Selección de elementos de transmisión de potencia

Sistema de transmisión A – B para el desgrane

Datos:

$$P_D = 9.3 \text{ hp.}$$

$$N_A = 3600 \text{ rpm.}$$

Entonces se utiliza la banda = Perfil B (ver anexo D2a).

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción

Datos:

$$P_D = 9.3 \text{ hp}$$

$$N_B = 1055.17 \text{ rpm}$$

Entonces se utiliza la banda = Perfil B (ver anexo D2b)

Sistema de transmisión C – D para el sistema de transmisión de movimiento

Para este sistema se utiliza catalina y cadena con el fin de transmitir movimiento y no perder torque en la transmisión de potencia (Ver anexo D2c).

Datos:

$$P_D = 9.3 \text{ hp} = 6.93 \text{ KW.}$$

$$N_C = N_D = 494.61 \text{ rpm.}$$

La cadena seleccionada es de rodillos simple ISO 16 B (Ver anexo D2c).

Para la catalina se utiliza el número mínimos, debido que su velocidad es $< 2 \text{ m/s}$ para las cadenas:

$$\text{Numero de dientes minimo } Z_5 = Z_6 = 12 \text{ dientes}$$

Debido que las catalinas son iguales debido que se utilizan como transmisión de movimiento de 1 a 1, por lo tanto, la relación de transmisión es $n=1$.

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre

Datos:

$$P_D = 9.3 \text{ hp}$$

$$N_D = 494.61 \text{ rpm}$$

Entonces se utiliza la banda = Perfil A (ver anexo D2d)

4.3.4 *Selección de las bandas de transmisión de potencia.* Debido que la máquina desgranadora de fréjol seco fue simulada en el software SOLIDWORKS para mayor facilidad del diseño mecánico, por esto las distancias de centro tenemos de dato.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane

Distancias entre centro C:

$$C_1 = 670 \text{ mm}$$

Comprobación:

$$D_2 \leq C \leq 3(D_2 + D_1) \quad (18)$$

Remplazando en la ecuación (18) se obtiene:

$$290 \text{ mm} \leq C_1 \leq 1125 \quad \text{correcto}$$

Longitud primitiva L_P :

$$L_{P1} = 2 * C1 + 1,57 * (D2 + D1) + \frac{(D2 - D1)^2}{4 * C1} \quad (19)$$

Remplazando en la ecuación (19) se obtiene:

$$L_{P1} = 1944.43 \text{ mm}$$

Longitud normalizada L_n :

$$L_{n1} = 1947 \text{ mm}$$

Entonces se utiliza una banda VB 75 (ver anexo D3a).

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción

Distancias entre centro C:

$$C2 = 420 \text{ mm}$$

Comprobación:

$$D4 \leq C2 \leq 3(D4 + D3) \quad (20)$$

Remplazando en la ecuación (20) se obtiene:

$$160 \text{ mm} \leq C2 \leq 705 \quad \text{correcto}$$

Longitud primitiva para bandas normales L_P :

$$L_{P2} = 2 * C2 + 1,57 * (D4 + D3) + \frac{(D4 - D3)^2}{4 * C2} \quad (21)$$

Remplazando en la ecuación (21) se obtiene:

$$L_{P2} = 1213.25 \text{ mm}$$

Longitud normalizada L_n :

$$L_{n2} = 1237 \text{ mm}$$

Entonces se utiliza una banda VB 47 (ver anexo D3b).

Sistema de transmisión C – D para el sistema de transmisión de movimiento

La distancia de centro entre catalina es:

$$C3 = 325 \text{ mm}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de desgrane

Distancias entre centro C:

$$C4 = 400 \text{ mm}$$

Comprobación:

$$D8 \leq C4 \leq 3(D8 + D7) \quad (22)$$

Reemplazando en la ecuación (22) se obtiene:

$$200 \text{ mm} \leq C4 \leq 930 \quad \text{correcto}$$

Longitud primitiva L_p :

$$L_{p4} = 2 * C4 + 1,57 * (D8 + D7) + \frac{(D8 - D7)^2}{4 * C4} \quad (23)$$
$$L_{p3} = 1291.76 \text{ mm}$$

Longitud normalizada L_n :

$$L_{n4} = 1306 \text{ mm}$$

Entonces se utiliza una banda VB 50 (ver anexo D3c).

4.3.5 *Cálculo de distancia corregida*

$$Cc = C \pm \left| \frac{L - Ln}{2} \right| \quad (24)$$

Donde:

L = Lp = Longitud primitiva, en mm.

Ln = Longitud normalizado, en mm.

C = Distancia de centro, mm.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Reemplazando en la ecuación (24) se obtiene:

$$Cc1 = 671.28 \text{ mm}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Reemplazando en la ecuación (24) se obtiene:

$$Cc2 = 431.87 \text{ mm}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Reemplazando en la ecuación (24) se obtiene:

$$Cc = 407.12 \text{ mm}$$

4.3.6 *Cálculo del arco de contacto de la banda sobre la polea menor*

$$\alpha 1 = 180 - 57 \left(\frac{Dp - dp}{Cc} \right) > 120^\circ \quad (25)$$

Donde:

$\alpha 1$ = Ángulo de garganta de la polea menor, en grados.

Cc = Distancia de centro corregida, en mm.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (25) se obtiene:

$$\alpha 1 = 162.59^\circ > 120 \text{ correcto}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (25) se obtiene:

$$\alpha 2 = 168.78^\circ > 120 \text{ correcto}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (25) se obtiene:

$$\alpha 3 = 167.40^\circ > 120 \text{ correcto}$$

4.3.7 Cálculo del número de bandas

$$Z = \frac{Pc}{Pe} \quad (26)$$

Donde:

Pc = Potencia corregida, en HP.

Pe = Potencia efectiva por correas, en HP.

$$Pe = Pbk * Fcl * Fc \quad (27)$$

Donde:

Pbk = Prestación base por correa para arco de contacto, en HP.

Fcl = Factor de corrección de la longitud de la correa.

F_c = Factor de corrección del arco de contacto.

$$P_{bk} = P_b + \text{prestaciones adicionales por relación de transmisión} \quad (28)$$

Donde:

P_b = prestación base, en HP.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

$P_{b1} = 2.93$ HP (Ver anexo D4a).

$\text{prestaciones}_1 = 1.59$ HP (Ver anexo D4a).

Remplazando en la ecuación (28) se obtiene:

$$P_{bk1} = 2.93 \text{ HP} + 1.59 \text{ HP}$$

$$P_{bk1} = 4.58 \text{ HP}$$

Donde:

$F_{c1} = 0.96$ (Ver anexo D4a).

$F_{cl1} = 0.97$ (Ver anexo D4a).

Remplazando en la ecuación (27) se obtiene:

$$P_{e1} = 4.58 \text{ HP} * 0.97 * 0.96$$

$$P_{e1} = 4.25 \text{ HP}$$

Remplazando en la ecuación (26) se obtiene:

$$Z_1 = 2.1 \approx 2 \text{ bandas}$$

La polea para el sistema de desgrane se necesita que tenga dos ranuras para dos bandas.

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

$Pb2 = 2.17 \text{ HP}$ (Ver anexo D4b).
 $prestaciones2 = 1.59 \text{ HP}$ (Ver anexo D4b).

Remplazando en la ecuación (28) se obtiene:

$$Pbk2 = 3.76 \text{ HP}$$

Donde:

$Fc2 = 0.98$ (Ver anexo D4b).
 $Fcl2 = 0.89$ (Ver anexo D4b).

Remplazando en la ecuación (27) se obtiene:

$$Pe2 = 3.27 \text{ HP}$$

Remplazando en la ecuación (26) se obtiene:

$$Z2 = 1 \text{ bandas}$$

Para el sistema de reducción de velocidad se necesita que la polea sea de una ranura.

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre

$Pb3 = 1.08 \text{ HP}$ (Ver anexo D4c).
 $prestaciones3 = 0.10 \text{ HP}$ (Ver anexo D4c).

Remplazado en la ecuación (28) se obtiene:

$$Pbk3 = 1.18 \text{ HP}$$

Donde:

$Fc3 = 0.97$ (Ver anexo D4c).
 $Fcl3 = 0.94$ (Ver anexo D4c).

Remplazando en la ecuación (27) se obtiene:

$$Pe3 = 1.10 \text{ HP}$$

Remplazando en la ecuación (26) se obtiene:

$$\mathbf{Z3 = 1 \textit{ bandas}}$$

Para el sistema de arrastre se necesita que la polea sea de una ranura.

4.3.8 *Cálculo de la velocidad de las bandas*

$$v = \frac{\pi * N * d1}{60 * 1000} \quad (29)$$

Donde:

$$\pi = (pi) = 3.1416.$$

N = Velocidad de la polea motriz, en rpm.

$d1$ = Diámetro primitivo de la polea motriz, en m.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (29) se obtiene:

$$\mathbf{v1 = 16.02 \frac{m}{s}}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (29) se obtiene:

$$\mathbf{v2 = 4.14 \frac{m}{s}}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (29) se obtiene:

$$\mathbf{v3 = 2.848 \frac{m}{s}}$$

4.3.9 *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. Por ello es aconsejable que las correas no superen ciertos valores admisibles de flexiones por segundo.

$$if = 1000 * np * \frac{v}{Ln} \quad (30)$$

Donde:

np = Cantidad de poleas en contacto con las correas.

v = Velocidad de correa, en (m/s).

Ln = Longitud normalizada de la correa, en m.

Las bandas no deberán superar los siguientes rangos para cada perfil:

Donde:

$if = 30 \text{ seg}^{-1}$ perfil normal.

$if = 60 \text{ seg}^{-1}$ perfil estrecho.

$if = 100 \text{ seg}^{-1}$ perfil estrecho de flancos abiertos.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane

Remplazando en la ecuación (30) se obtiene:

$$if = 16.456 \text{ s}^{-1} < 30 \text{ s}^{-1} \text{ correcto}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción

Remplazando en la ecuación (30) se obtiene:

$$if = 6.69 \text{ s}^{-1} < 30 \text{ s}^{-1} \text{ correcto}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre

Remplazando en la ecuación (30) se obtiene:

$$if = 4.36 s^{-1} < 30 s^{-1} \text{ correcto}$$

4.3.10 *Cálculo de las tensiones en las bandas de la transmisión de potencia.* Esta ecuación que fusiona la potencia con la velocidad es:

$$(T1 - T2) = \frac{33000 * H}{V} \quad (31)$$

El segundo criterio relaciona las fuerzas con el ángulo de contacto y en el coeficiente de fricción entre la banda y la polea, se expresa con la siguiente ecuación:

$$\frac{T1}{T2} = e^{\frac{\mu * \theta}{\sin(\alpha/2)}} \quad (32)$$

Donde:

T1 = Tensión en el lado tenso, en N.

T2 = Tensión en el lado flojo, en N.

H = Potencia del motor = 9.3 HP = 9.43 CV.

V = Velocidad de la correa, en ft/min.

μ = Coeficiente entre la banda de cuero y la polea de aluminio = 0.28 (ver anexo D5).

θ = Ángulo de contacto en la polea en radianes.

β = Es la mitad del ángulo de garganta = 38°.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (32) se obtiene:

$$\frac{T1}{T2} = 13.57 \quad (33)$$

Remplazando en la ecuación (31) se obtiene:

$$T1 - T2 = 99.38 \quad (34)$$

Remplazando en la ecuación (34) en la ecuación (33) se obtiene:

$$T1 = 107.28 \text{ lb} = 477.20 \text{ N}$$

$$T2 = 7.9 \text{ lb} = 35.14 \text{ N}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (32) se obtiene:

$$\frac{T1}{T2} = 15.1 \quad (35)$$

Remplazando en la ecuación (31) se obtiene:

$$T1 - T2 = 384.26 \quad (36)$$

Remplazando en la ecuación (36) en la ecuación (35) se obtiene:

$$T3 = 411.51 \text{ lb} = 1830.48 \text{ N}$$

$$T4 = 27.25 \text{ lb} = 121.21 \text{ N}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (32) se obtiene:

$$\frac{T1}{T2} = 14.74 \quad (37)$$

Remplazando en la ecuación (31) se obtiene:

$$T1 - T2 = 558.92 \quad (38)$$

Remplazando en la ecuación (38) en la ecuación (37) se obtiene:

$$T5 = 134.89 \text{ lb} = 600 \text{ N}$$

$$T6 = 40.68 \text{ lb} = 180.95 \text{ N}$$

4.3.11 *Cálculo de las reacciones en el eje de desgrane.* Para calcular las reacciones que produce el contacto de la polea con las correas se calcula con la siguiente ecuación:

$$Rx = (T1 + T2) * \cos\alpha \quad (39)$$

$$R_y = (T_1 - T_2) * \text{sen}\alpha \quad (40)$$

$$\alpha' 1 = \frac{180-\alpha_1}{2} \quad (41)$$

Donde:

$\alpha' 1$ = Ángulo de contacto de la polea motriz y conducida.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (41) se obtiene:

$$\alpha' 1 = 8.5^\circ$$

Remplazando en la ecuación (39) y (40) se obtiene:

$$R_{x1} = 113.86 \text{ lb}$$

$$R_{y1} = 15.03 \text{ lb}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (41) se obtiene:

$$\alpha' 2 = 5.61^\circ$$

Remplazando en la ecuación (39) y (40) se obtiene:

$$R_{x2} = 436.66 \text{ lb}$$

$$R_{y2} = 37.55 \text{ lb}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (41) se obtiene:

$$\alpha' 3 = 6.3^\circ$$

Remplazando en la ecuación (39) y (40) se obtiene:

$$R_{x3} = 636.4 \text{ lb}$$

$$R_{y3} = 61.63 \text{ lb}$$

4.3.12 Cálculo del torque en la polea

$$T = (T1 - T2) * \frac{Dp}{2} \quad (42)$$

Donde:

Dp = Diámetro primitivo de la polea conducida, en m.

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (42) se obtiene:

$$Torq1 = 47.26 \text{ lb} - \text{ft} = 64.1 \text{ N.m}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (42) se obtiene:

$$Torq2 = 100.83 \text{ lb} - \text{ft} = 136.7 \text{ N.m}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (42) se obtiene:

$$Torq3 = 183.33 \text{ lb} - \text{ft} = 248.56 \text{ N.m}$$

4.3.13 *Número de pasadas.* Esto implica el número de vueltas que tendrá las bandas en su vida útil y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Np = \left(\left(\frac{K}{T1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T2} \right)^{-b} \right)^{-1} \quad (43)$$

Donde:

$K = 1193$ (ver anexo D6).

$b = 10\,926$ (ver anexo D6).

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (43) se obtiene:

$$Np1 = 7.1 * 10^8 \text{ pasadas}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (43) se obtiene:

$$Np2 = 2.58 * 10^8 \text{ pasadas}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (43) se obtiene:

$$Np3 = 2.93 * 10^9 \text{ pasadas}$$

4.3.14 *Cálculo de la Vida útil de las bandas*

$$t = \frac{Np * Ln}{720 * v} \tag{44}$$

Sistema de transmisión A – B para el desgrane.

Remplazando en la ecuación (44) se obtiene:

$$t = 51999,55096 \text{ horas}$$

Sistema de transmisión B – C para el sistema de reducción.

Remplazando en la ecuación (44) se obtiene:

$$t = 50152.5 \text{ horas}$$

Sistema de transmisión D – E para el sistema de arrastre.

Remplazando en la ecuación (44) se obtiene:

$$t = 40112.52 \text{ horas}$$

4.4 Diseño del ventilador centrífugo

Para el sistema de limpieza de desperdicios que queda después de desgranar el fréjol seco, es necesario diseñar el ventilador que va a servir como sistema de limpieza, los ventiladores centrífugos funcionan como las bombas centrifugas.

Los ventiladores están constituidos por un rotor que posee un numero de alabes o paletas perpendiculares al eje del rodete, que giran alrededor de 200 a 5000 rpm, los cuales generan grandes caudales de aire.

4.4.1 Selección del ventilador de limpieza. Este sistema de limpieza centrífugo el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración y la descarga se realiza tangencialmente al rotor.

Para la selección del ventilador se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Debe ser diseñados para que la fuerza ascendente del aire supere el peso de impurezas.
- Debe tener velocidad y fuerza necesaria para limpiar todas las impurezas.
- Debe ser diseñados para expulsar las impurezas al exterior.

Debido que se necesita una fuerza de arrastre hacia arriba para las impurezas y que la velocidad relativa entre el aire y la partícula es igual a la velocidad terminal, se utilizara una ecuación propuesta por Moshenin en (1970) para la aerodinámica del grano.

$$F_a = \frac{C_D * A_e * \rho_a * v_y^2}{2} \quad (45)$$

Donde:

Fa = Fuerza de arrastre, en N.

CD = Coeficiente de arrastre aerodinámico de la partícula (adimensional).

Ae = Área proyectada de la partícula, en m².

ρ_a = densidad del aire, en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

v_y^2 = velocidad ascendente de la impureza, en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Debido que se necesita levantar las impurezas dejadas en el desgrane del fréjol seco la fuerza ascendente deberá cumplir con la condición:

$$Fa > Wi$$

Con esta condición logramos que las impurezas asciendan y no caigan por su peso propio, se considera que el ventilador limpiara las impurezas hasta el 90% del peso de la rama de fréjol seco.

El peso promedio que entra en la máquina por bultos de fréjol seco solo en granos es media taza que equivale a 1200 gr o 0.12 kg (ver anexo E1), con esto se deberá calcular el peso propio de las impurezas que equivale hasta 20 % del peso de la guía de planta de fréjol seco.

$$Wi = Wp * \frac{20\%}{100\%} \quad (46)$$

Se reemplaza en la ecuación (46) se obtiene el peso de impureza:

$$Wi = 0.12 \text{ kg} * \frac{20\%}{100\%}$$
$$Wi = 0.024 \text{ kg}$$

Debido que la fuerza ascendente debe ser mayor que al peso de impureza 0.024 kg, para lo cual se asume que $Fa = 0.030 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.29$ que aún sigue siendo el 25% del peso del grano. No se consideró una fuerza mayor debido que la velocidad del viento producido por el ventilador arrastre al grano y esta no es la finalidad sino de limpiar las impurezas producidas por el proceso de desgrane las cuales son guías y vainas destrozadas.

La densidad del aire a una temperatura promedio de 20 °C a nivel del mar $\rho_a = 1.204 \frac{Kg}{m^3}$ (anexo E2), por estudio de altura geodésica de presión se pierde por cada 1000 msnm un 10%, por lo tanto, si trabaja a una altura como la parroquia Pinllopata del cantón pagua perteneciente a la provincia de Cotopaxi se encuentra (2500 msnm) (ver anexo C3), entonces tenemos una pérdida de 25% entonces la densidad será:

$$\rho_{pinllopata} = 1.204 \frac{kg}{m^3} * 75\% = 0.903 \frac{Kg}{m^3}$$

El coeficiente de arrastre aerodinámico de la partícula (adimensional) “CD”, depende de la forma de la partícula que va ser arrastrada en nuestro caso es la forma de las impurezas que quedo después del desgrane de las guías de fréjol seco es de forma de “C”, debido a esto el coeficiente adimensional es $CD = 1.2$ (Anexo E3).

Se midió el diámetro de guía $D = 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m}$, el cual su longitud por guía es al ancho de aleta a aleta que son de 10 cm esto es igual 0.1 m.

$$Ae = 2\pi * r * l \quad (47)$$

Remplazando en la ecuación (47) se obtiene:

$$Ae = 2\pi * \frac{0.005m}{2} * 0.1m$$

$$Ae = 0.0016 \text{ m}^2$$

Debido que se necesita ascender las impurezas, se debe calcular la velocidad en “Y”:

$$V_y = \sqrt{\frac{2 * Fa}{CD * Ae * \rho_a}} \quad (48)$$

Remplazando en la ecuación (48) se obtiene:

$$V_y = \sqrt{\frac{2 * 0.030 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}}{1.2 * 0.0016 \text{ m}^2 * 0.903 \frac{Kg}{m^3}}}$$

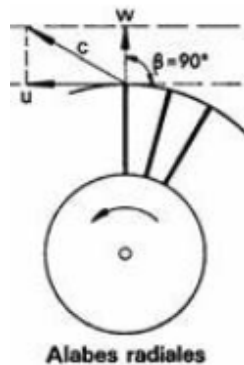
$$Vy = 18.43 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es la necesaria para levantar las impurezas dejadas por el proceso de desgrane del fréjol seco.

Para la máquina desgranadora de fréjol seco se utilizó un ventilador centrífugo radial de alabes rectos, este tipo de ventiladores es utilizado para extracción localizada, que es nuestro caso debido que después del proceso de desgrane quedan impurezas como son fibras secas y vainas quebradas que deberán ser expulsadas al exterior.

En la figura 40 se muestra el triángulo de velocidades a la salida para el ventilador centrífugo radial, la cual se calcula las velocidades mediante las ecuaciones propuestas por EULER como son:

Figura 40. Diagrama de velocidades a la salida del ventilador



Alabes radiales

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/137267279/Ventiladores-Clasificación-Aplicación-y-Cálculo>.

Donde:

c = velocidad absoluta

u = velocidad del álabe

w = velocidad relativa

Debido a que el triángulo de velocidades de entrada es recto (entrada radial, $C_{2u}=0$) entonces:

$$u_1 = \frac{\pi * D_1 * N}{60} \quad (49)$$

Donde:

u_1 = Velocidad de entrada al ventilador, en m/s.

D_1 = diámetro del rodete, en m.

N = Velocidad angular del ventilador, en rpm.

De la ecuación (49) se despeja el diámetro del rodete, debido que se necesita diseñar el rodete para expulsar los desperdicios quedados por el proceso de desgrane.

$$D_1 = \frac{60 \cdot u_1}{\pi \cdot N} \quad (50)$$

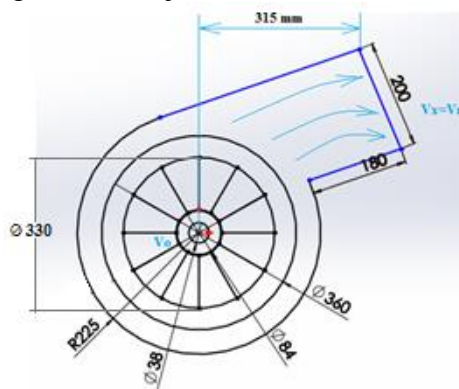
Donde $u_1 = V_y$, debido que es la velocidad de entrada al ventilador y es la necesaria para levantar las impurezas.

Reemplazando en la ecuación (50) se obtiene:

$$D_1 = \frac{60 \cdot 18.43 \frac{m}{s}}{\pi \cdot 1055 \text{ rpm}} = 0.33 \text{ m}$$

En la siguiente figura 41, se muestra la dirección del viento a la salida del ventilador que es el comportamiento de los ventiladores centrífugos radiales, también se indica las dimensiones que tendrá el ventilador centrífugo radial.

Figura 41. Flujo de aire en el ventilador



Fuente: Autores

Para calcular la velocidad de salida de las impurezas se utiliza el triángulo de velocidades que se encuentra en los alabes del ventilador la cual indica que:

$$u_2 = \frac{D_2}{D_1} * u_1 \quad (51)$$

Remplazando en la ecuación (51) se obtiene:

$$u_2 = \frac{360}{330} * 18.43 \text{ m/s}$$

$$u_2 = vx = 20.11 \text{ m/s}$$

Se determina el área por donde sale el flujo de aire, como son a=0.12 m y b=0.2 m.

$$Asal = a * b \quad (52)$$

Remplazando en la ecuación (52) se obtiene:

$$Asal = 0.024 \text{ m}^2$$

Una vez encontrada la velocidad de salida y el área de flujo de expulsión del aire, se debe calcular el caudal de aire.

$$Q = vx * Asal \quad (53)$$

Remplazando en la ecuación (53) se obtiene:

$$Q = 20.11 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.024 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1737.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Con este caudal se selecciona el ventilador centrífugo radial CMT para transporte de polvo y materiales sólidos, (Ver anexo E4). Este ventilador tiene una boca de succión de aire de Ø 210 mm (ver anexo E5), el cual sirve de entrada de aire para aumentar el caudal en la voluta y por ende aumentar la velocidad del aire en la expulsión de los desechos.

4.4.2 *Análisis de potencia del ventilador.* Para determinar la variación de presión total ΔP que provoca el ventilador, viene determinado por la velocidad del rodete y el

caudal en $\frac{m^3}{h}$ se tiene:

Se procede a encontrar la variación de presión mediante los diagramas que tiene el ventilador CMT como es:

$$\Delta P = 110 \text{ mm } H_2O = 1100 \text{ Pa} = 1100 \frac{kg}{s^2 * m} \text{ (Ver anexo E6).}$$

$$Q \text{ aire} = 1500 \text{ cfm (Ver anexo E6).}$$

Se determina la altura de la presión a una temperatura de 20°C

$$h = \frac{\Delta P}{\rho_{aire} * g} \quad (54)$$

Remplazando en la ecuación (54) se obtiene:

$$h = \frac{1100 \frac{kg}{s^2 * m}}{0.903 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h = 124.18 \text{ m}$$

A continuación, se calcula la potencia útil del ventilador:

$$P_{util} = \rho_{aire} * Q * g * h \quad (55)$$

Remplazando en la ecuación (55) se obtiene:

$$P_{util} = 0.903 \frac{kg}{m^3} * 0.48 \frac{m^3}{s} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 124.118 \text{ m}$$
$$Pa = 527.76 \text{ Watt} = 0.53 \text{ KW}$$

4.5 Diseño del eje del sistema de desgrane

4.5.1 Fuerzas generadas por la tensión de las bandas. Para el diseño del eje principal que se encuentra en el sistema de desgrane, se asume un diámetro de eje $d = 1 \frac{1}{2} \text{ in} = 38 \text{ mm} = 0.0038 \text{ m}$.

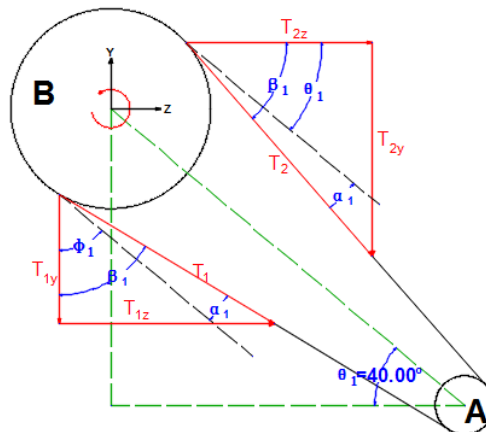
Análisis del elemento A – B (sistema de desgrane) en la polea $d2 = 29cm$.

Se procese a calcular las tensiones en los planos YX y XZ de la figura 42, a partir de las tensiones calculadas en la transmisión de potencia en la selección de bandas:

$$T2 = 7.9 lb = 35.14 N$$

$$T1 = 107.28 Lb = 477.20 N$$

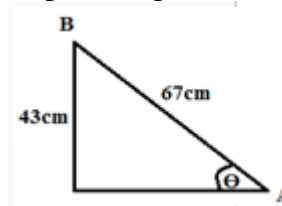
Figura 42. Plano YZ de la polea A vs la polea B



Fuente: Autores

En la figura 43, se ilustra el triángulo de generado con respecto a cada polea A y B.

Figura 43. Triángulo para los planos XY y XZ de la polea 2



Fuente: Autores

Los ángulos generados para encontrar las fuerzas en los planos XY, XZ son:

$\alpha_1 = 8.5^\circ$ calculado en la selección de bandas.

De la figura 43, se calcula Θ por medio de la ecuación de Pitágoras:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 40^\circ \\ \beta_1 &= \theta_1 + \alpha_1 \end{aligned} \tag{56}$$

Remplazado en la ecuación (56) se obtiene:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 48.5^\circ \\ \phi_1 &= 90^\circ - \theta_1\end{aligned}\quad (57)$$

Remplazando en la ecuación (57) se obtiene:

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 50^\circ \\ \beta_2 &= \phi_1 + \alpha_1\end{aligned}\quad (58)$$

Remplazando en la ecuación (58) se obtiene:

$$\beta_2 = 58.5^\circ$$

Se calcula las fuerzas para los planos XY, XZ en la polea 2:

$$T_{1y} = T_1 \cdot \text{sen } \beta_2 \quad (59)$$

Remplazando en la ecuación (59) se obtiene:

$$\begin{aligned}T_{1y} &= \mathbf{406.88 N} \\ T_{1Z} &= T_1 \cdot \cos \beta_2\end{aligned}\quad (60)$$

Remplazando en la ecuación (60) se obtiene:

$$\begin{aligned}T_{1Z} &= \mathbf{249.33 N} \\ T_2Z &= T_2 \cdot \cos \beta_1\end{aligned}\quad (61)$$

Remplazando en la ecuación (61) se obtiene:

$$\begin{aligned}T_2Z &= \mathbf{23.28 N} \\ T_2Y &= T_2 \cdot \text{sen } \beta_1\end{aligned}\quad (62)$$

Remplazando en la ecuación (62) se obtiene:

$$T_2y = \mathbf{26.32 N}$$

El torque producido en el eje debido al sistema de transmisión A – B para el desgrane:

$$Torq1 = 64 N - m$$

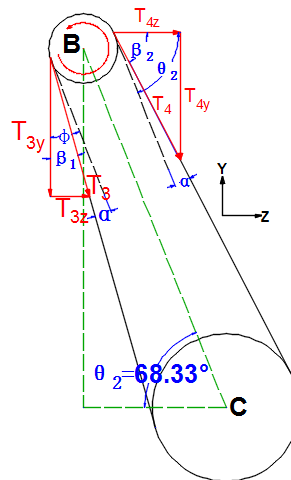
Análisis del elemento B – C (sistema de reducción) en la polea d3=7.5 cm.

$$T3 = 411.51 lb = 1830.49 N$$

$$T4 = 27.25 lb = 121.21 N$$

En la figura 44, se indica los ángulos generados en el espacio de los planos XY, XZ de las poleas B y C.

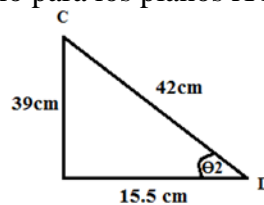
Figura 44. Ángulos generados en las poleas B y C.



Fuente: Autores

$\alpha' 2 = 5.61^\circ$ calculado en la selección de bandas

Figura 45. Triangulo para los planos XY y XZ de la polea 3



Fuente: Autores

De la figura 45, se calcula Θ por medio de la ecuación de Pitágoras para la polea 3:

$$\theta 2 = 68.33^\circ$$

$$\phi = 90^\circ - \theta_2 \tag{63}$$

Remplazando en la ecuación (63) se obtiene:

$$\begin{aligned}\phi &= 21.67^\circ \\ \beta_1 &= \phi - \alpha\end{aligned}\tag{64}$$

Remplazando en la ecuación (64) se obtiene:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 16.06^\circ \\ \beta_2 &= \theta_2 - \alpha\end{aligned}\tag{65}$$

Remplazando en la ecuación (65) se obtiene:

$$\beta_2 = 62.72^\circ$$

Se calcula las fuerzas para los planos XY, XZ en la polea 3:

$$T_3y = T_3 \cdot \cos\beta_1\tag{66}$$

Remplazando en la ecuación (66) se obtiene:

$$\begin{aligned}T_3y &= 1759\text{ N} \\ T_3Z &= T_3 \cdot \sin\beta_1\end{aligned}\tag{67}$$

Remplazando en la ecuación (67) se obtiene:

$$\begin{aligned}T_3Z &= 506.39\text{ N} \\ T_4Z &= T_4 \cdot \cos\beta_2\end{aligned}\tag{68}$$

Remplazando en la ecuación (68) se obtiene:

$$\begin{aligned}T_4Z &= 55.56\text{ N} \\ T_4Y &= T_4 \cdot \sin\beta_2\end{aligned}\tag{69}$$

Remplazando en la ecuación (69) se obtiene:

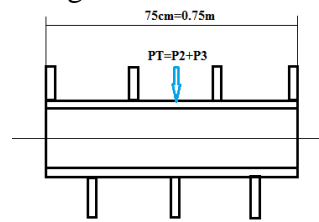
$$T_4y = 107.73\text{ N}$$

El torque producido en el eje debido al sistema de transmisión B – C de la polea 3:

$$\mathbf{Torq2 = 136.7 N - m}$$

4.5.2 *Cálculo del peso del cilindro de aletas para desgranar.* En la figura 46 se indica en el cilindro de aletas el cual se presenta el peso total producido por el eje sólido, el eje hueco y las aletas.

Figura 46. Peso generado en el cilindro de aletas



Fuente: Autores

Donde:

$$L = 75\text{cm} = 0.75\text{m}$$

$$\delta_{total} = 12.93 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{ (Ver anexo C2).}$$

$$P2 = \delta_{total} * L \tag{70}$$

Remplazando en la ecuación (70) se obtiene:

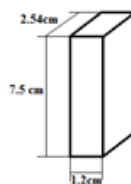
$$P2 = 9.7 \text{ kgf}$$

$$P2 = 9.7\text{kgf} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{P2 = 95.06 N}$$

Las aletas que contiene el cilindro son martillos de platina de $1\frac{1}{2}$ in como se muestra en la figura 47.

Figura 47. Aletas del cilindro de desgrane



Fuente: Autores

Donde:

$$\delta_{alet} = 2.4 \frac{kg}{m} \text{ (Ver anexo F1).}$$

$$n = 25 \text{ aletas.}$$

$$L = 0.075m.$$

$$P3 = \delta_{alet} * L * n \quad (71)$$

Remplazando en la ecuación (71) se obtiene:

$$P3 = 4.2 \text{ kgf}$$

$$P3 = 4.2 \text{ kgf} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{P3 = 41.46 N}$$

El peso total del cilindro con las aletas es:

$$P_{total} = P2 + P3 \quad (72)$$

Remplazando en la ecuación (72) se obtiene:

$$P_{total} = 136.22 \text{ N}$$

$F = 3 \text{ kgf} = 29.4 \text{ N}$ (Ver anexo A). Esta fuerza es la necesaria para cortar las guías de fréjol que fue obtenido experimentalmente.

$$M = F * d \quad (73)$$

Donde:

$$d = \text{radio del sistema desgranador} = 0.114 \text{ m}$$

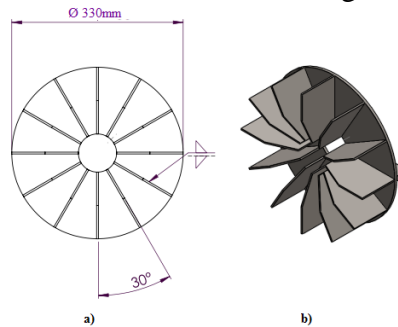
Remplazando en la ecuación (73) se obtiene:

$$\mathbf{M = 3.35 N - m}$$

4.5.3 *Cálculo del peso en el ventilador centrífugo radial.* En la figura 48 se indica

la forma geométrica obtenida mediante software SOLIDWORK, la cual nos proporciona todas las propiedades físicas que tiene el elemento mecánico, con esto se puede encontrar el peso del conjunto.

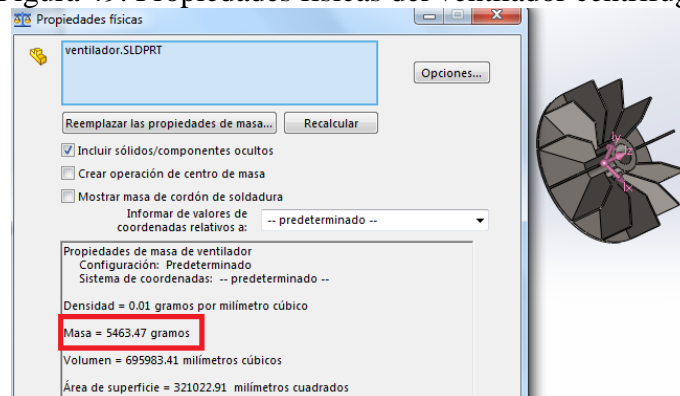
Figura 48. Ventilador centrífugo radial



Fuente: Autores

Para encontrar el peso del ventilador utilizamos el software SOLIDWORK, el cual se indica en la figura 49.

Figura 49. Propiedades físicas del ventilador centrífugo



Fuente: Autores

Donde:

$$P_{vent} = 5.4 \text{ kgf}$$

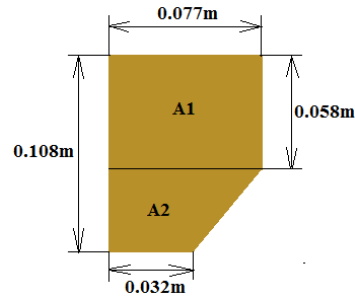
$$P_{vent} = 5.4 \text{ kgf} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P_{vent} = 52.92 \text{ N}$$

Debido que el ventilador produce un momento en el eje, debemos calcular la fuerza que produce por presión de aire producida por el ventilador centrífugo radial, para esto se debe analizar una aleta del ventilador para encontrar la fuerza producida en cada una de las aletas.

En la figura 50, indica la forma geométrica que tiene la aleta del ventilador, el cual tiene la forma de ventiladores CMT que son de media presión y simple aspiración.

Figura 50. Alabes del ventilador



Fuente: Autores

Para encontrar el área total de la aleta se divide a la aleta en sección de formas geométricas conocida las cuales se indica en la figura 50.

$$A1 = b * h \quad (74)$$

Reemplazando en la ecuación (74) se obtiene:

$$A1 = 4.46 * 10^{-3} m^2$$

$$A2 = \left(\frac{b_{mayor} + b_{menor}}{2} \right) * h \quad (75)$$

Reemplazando en la ecuación (75) se obtiene:

$$A2 = 2.73 * 10^{-3} m^2$$

$$AT = A1 + A2 \quad (76)$$

Reemplazando en la ecuación (76) se obtiene:

$$AT = 7.185 * 10^{-3} m^2$$

$$F = \Delta P * AT \quad (77)$$

Reemplazando en la ecuación (77) se obtiene:

$$F = 400 Pa * 7.185 * 10^{-3} m^2$$

$$F = 2.874 N$$

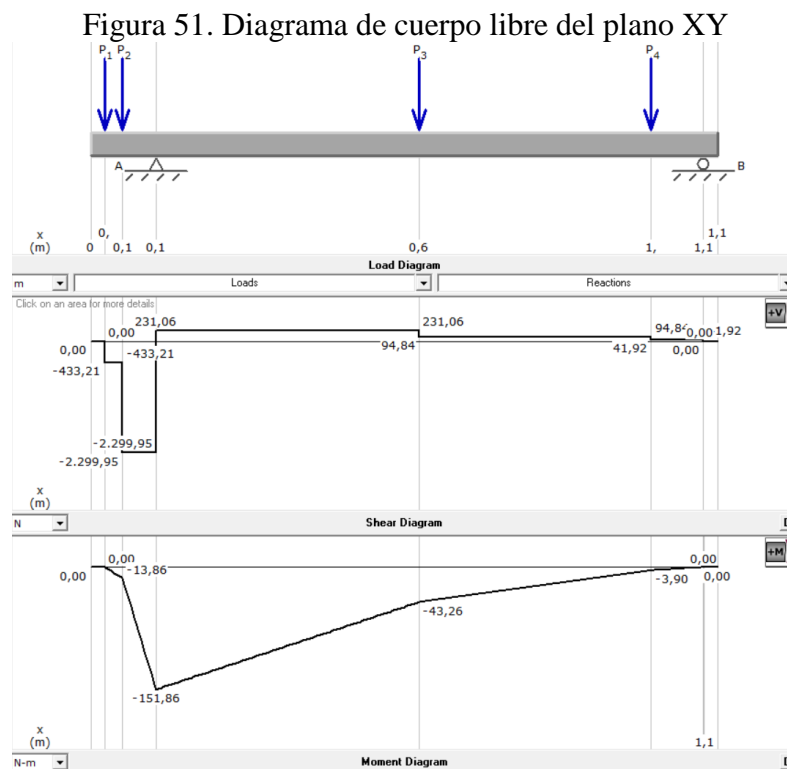
El momento producido por la fuerza de aire generada en el ventilador es de:

$$Mv = F * r \quad (78)$$

Remplazando en la ecuación (77) se obtiene:

$$Mv = 0.4 \text{ N} - \text{m}$$

4.5.4 Diagramas de cuerpo libre del eje de desgrane. Con la ayuda del software MDSolids 3.5 se procede a analizar el eje con las fuerzas que influyen en el mismo como se indica en la figura 51, las cuales se calcula las reacciones en cada apoyo.



Fuente: Autores

En los diagramas de fuerza cortante se encuentra las reacciones en las chumaceras:

$$R_{Axy} = 2531.01 \text{ N}$$

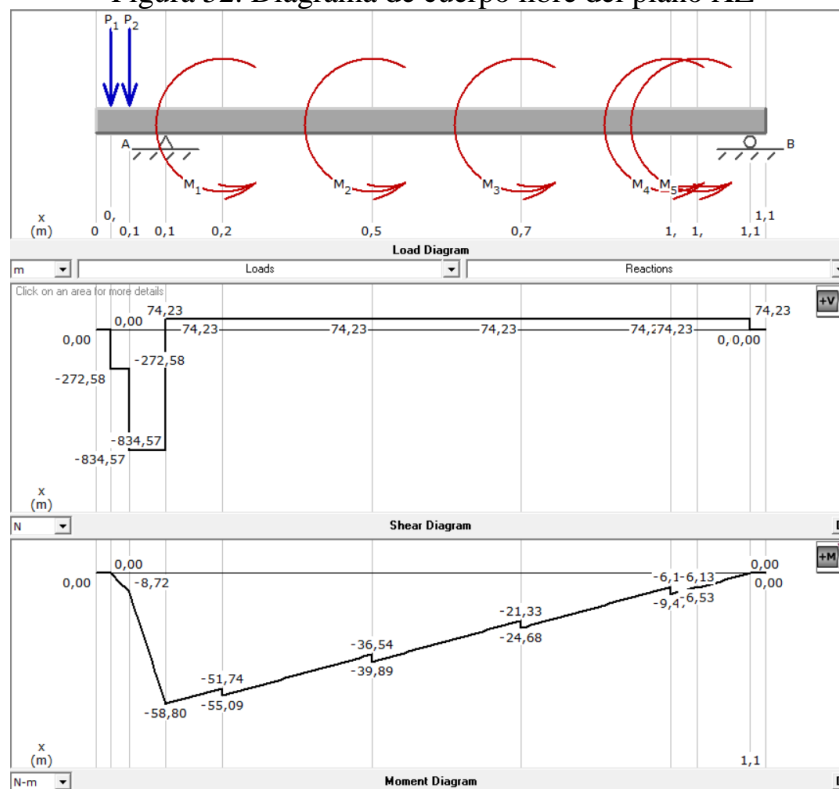
$$R_{Bxy} = 41.92 \text{ N}$$

En el diagrama de momento flector del plano XY el momento máximo se encuentra en la reacción A:

$$M_{Axy} = 151.86 N \cdot m$$

En la figura 52, se indica el eje en el plano XZ en el cual se representa los momentos producidos por las aletas, solo se toman en cuenta las aletas que son visibles en el plano XZ con esto facilita el cálculo y se puede predecir las reacciones presentes en cada apoyo y encontrar los momentos máximos producidos en el mismo, el software MDSolids 3.5 permite someter al eje a fuerzas que generan las partes del cilindro de aletas y encontrar la solución a las reacciones que ejercen en cada apoyo.

Figura 52. Diagrama de cuerpo libre del plano XZ



Fuente: Autores

En los diagramas de fuerza cortante se encuentra las reacciones en las chumaceras:

$$R_{Axz} = 908.80 N$$

$$R_{Bxz} = 74.23 N$$

En el diagrama de momento flector del plano XZ el momento máximo se encuentra en la reacción A:

$$M_{Axz} = 58.80 N \cdot m$$

Para obtener el momento flector máximo se debe obtener el momento máximo en los picos de los diagramas de momento flector de los planos XY y XZ.

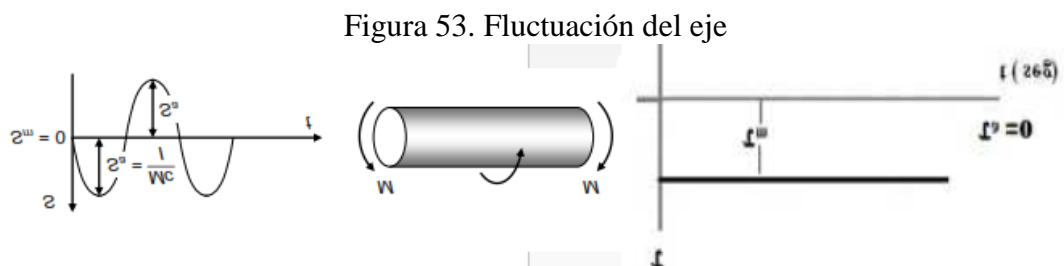
$$M_{max} = \sqrt{(M_{Axy})^2 + (M_{Axz})^2} \quad (79)$$

Remplazando en la ecuación (79) se obtiene:

El momento máximo se da en el punto A, a la distancia de $x = 0.11 \text{ m}$.

$$M_{max} = 162.84 \text{ N} - \text{m}$$

4.5.5 Análisis del eje a fatiga. Los árboles soportan cargas variables, por lo tanto, debe comprobarse su resistencia a la fatiga, unas cargas constantes T, M y F en un árbol, producen esfuerzos normales variables, ya que el momento flector M es giratorio relativo como se muestra en la figura 53.



Fuente: Autores

Secciones de eje solido:

$$\sigma_{max} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (80)$$

Donde:

M = Momento máximo, en N – m.

d = Diámetro del eje asumido, en m.

Remplazando en la ecuación (80) se obtiene:

$$\sigma_{max} = 30.22 \text{ MPa}$$

Tensiones cortantes producidas por esfuerzo cortante.

Sección circular:

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (81)$$

Donde:

T = torque máximo producido en el eje, en N – m.

Remplazando en la ecuación (81) se obtiene:

$$\tau_{max} = 12.68 \text{ MPa}$$

Teoría de Von Misses Henky:

$$\tau_{eq}m = \sqrt{(\tau a)^2 + 3 * (\tau_{max})^2} \quad (82)$$

Debido que en el eje no se producen fuerzas axiales entonces $\tau a = 0$.

Remplazando en la ecuación (82) se obtiene:

$$\tau_{eq}m = 21.96 \text{ MPa}$$

Teoría de Goodman:

$$\frac{\sigma_{max}}{Se} + \frac{\tau_{eq}m}{Sut} = \frac{1}{n} \quad (83)$$

Donde:

Se = limite de fatiga

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Se' \quad (84)$$

Donde:

Ka = factor de superficie

$$K_a = a * S_{ut}^b \quad (85)$$

Donde:

$$S_{ut} = 630 \text{ MPa} \quad (\text{ver anexo F2})$$

$$a = 1.58 \text{ MPa} \quad (\text{ver anexo F3})$$

$$b = -0.085 \quad (\text{ver anexo F3})$$

Remplazando en la ecuación (85) se obtiene:

$$K_a = 0.91$$

Donde:

K_b = Factor de tamaño

$$K_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad (\text{ver Anexo F4}) \quad (86)$$

Remplazando en la ecuación (86) se obtiene:

$$K_b = 0.842$$

Donde:

K_c = Factor de modificación de carga.

$$K_c = 0.59 \quad (\text{ver anexo F5})$$

Donde:

K_d = factor de temperatura.

$$K_d = 1 \quad (\text{ver anexo F6})$$

Donde:

K_e = Factor de confiabilidad.

$$K_e = 0.897 \quad (\text{ver anexo F7})$$

Donde:

S_e = Factor de tensión

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad (87)$$

Remplazando en la ecuación (87) se obtiene:

$$S_e' = 315 \text{ MPa}$$

Remplazando en la ecuación (84) todos los factores calculados se obtiene:

$$S_e = 127.73 \text{ MPa}$$

Se calcula el coeficiente de seguridad para el eje el cual va asegurar que no va a existir falla en el diseño del eje del sistema de desgrane del fréjol seco.

Remplazando en la ecuación (83) se obtiene:

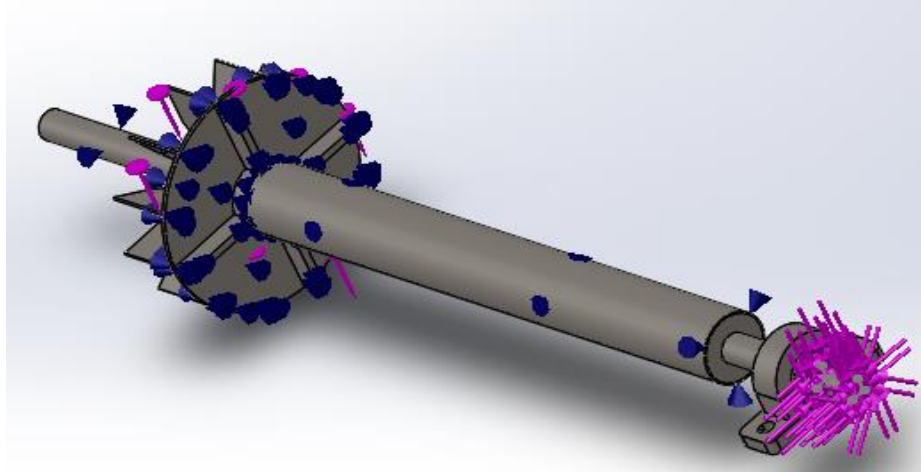
$$\frac{30.22}{127.73} + \frac{21.96}{630} = \frac{1}{n}$$
$$n = 3.7$$

Este coeficiente de seguridad garantiza que el eje para el sistema de desgrane no fallará, el cual garantiza que la máquina funcionará a su mejor rendimiento y cumplirá la función para la cual fue diseñada.

4.5.6 *Verificación de resistencia del eje de desgrane mediante SOLIDWORKS.* Para esta verificación como primer paso debemos modelar el elemento mecánico en SOLIDWORKS, para luego proceder a hacer el análisis poniendo las cargas que se aplican en la pieza y las diferentes sujeciones que se necesitan.

En la figura 54, se muestra el elemento mecánico modelado en SOLIDWORK con sus respectivas cargas. La fuerza que se aplican en las aletas se toman en consideración solo algunas aletas y se las somete a fuerzas de corte, debido que, cada aleta va a estar sometida a la misma fuerza de corte y el eje va a estar sometido a un torque debido a las poleas.

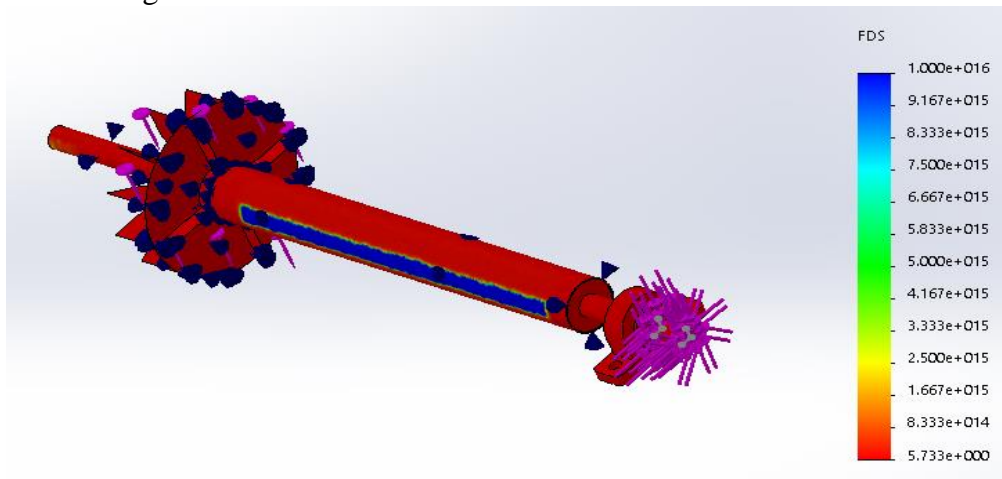
Figura 54. Cargas que actúan en el eje de desgrane.



Fuente: Autores

Luego se procede a ejecutar el programa el cual se busca encontrar el coeficiente de seguridad del elemento mecánico, como se indica en la figura 55.

Figura 55. Resultado obtenido del análisis en SOLIDWORK.



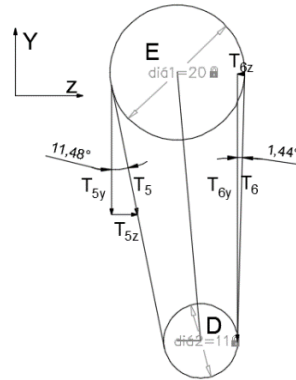
Fuente: Autores

Con el coeficiente de seguridad obtenido podemos afirmar que el elemento mecánico diseñado no colapsara.

4.6 Diseño del eje del sistema de arrastre

En la figura 56, se indica los ángulos generados en el espacio de los planos XY, XZ de las poleas D y E, las cuales se procede a calcular las tensiones generados en estos planos con la finalidad de utilizar estos datos como fuerzas generadas en cada polea y así encontrar las reacciones presentes en el eje de arrastre.

Figura 56. Ángulos generados en la transmisión D E.



Fuente: Autores

Se procesa a calcular las tensiones en los planos YX y XZ, de a partir de las tensiones calculadas en la transmisión de potencia en la selección de bandas:

$$T_5 = 266.893 \text{ N}$$

$$T_6 = 180.95 \text{ N}$$

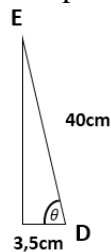
Los ángulos generados para encontrar las fuerzas en los planos XY, XZ.

Donde:

$\alpha = 6.3^\circ$ calculado en la selección de bandas.

En la figura 57, se indica el triángulo que se genera entre las poleas D y E las cuales son las distancias entre ellas.

Figura 57. Triángulo para los planos XY y XZ de la polea



Fuente: Autores

De la figura 57, se procede a calcular θ por medio de la ecuación de Pitágoras:

$$\theta = 84.98^\circ$$

Se calcula las fuerzas para los planos XY, XZ en la polea 2:

$$T_{5y} = T5 \cdot \cos(11.48) \quad (88)$$

Remplazando en la ecuación (88) se obtiene:

$$\begin{aligned} T_{5y} &= 266.89 * \cos(11.48) = 261.55 \text{ N} \\ T_{5z} &= T5 \cdot \text{sen}(11.48^\circ) \end{aligned} \quad (89)$$

Remplazando en la ecuación (89) se obtiene:

$$\begin{aligned} T_{5z} &= 266.89 * \text{sen}(11.48) = -236.18 \text{ N} \\ T_{6z} &= T6 \cdot \text{sen}(1.44^\circ) \end{aligned} \quad (90)$$

Remplazando en la ecuación (90) se obtiene:

$$\begin{aligned} T_{6z} &= 180.94 * \text{sen}(1.44) = 4.55 \text{ N} \\ T_{6y} &= T6 \cdot \cos(1.44^\circ) \end{aligned} \quad (91)$$

Remplazando en la ecuación (91) se obtiene:

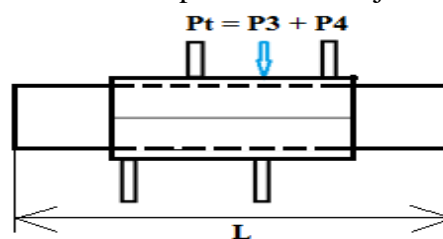
$$T_{6y} = 180.94 * \cos(1.44) = 180.89 \text{ N}$$

El torque producido en el eje debido al sistema de transmisión D – E para el desgrane:

$$Torq3 = 248.56 \text{ N} - m$$

4.6.1 Cálculo del peso del eje de arrastre

Figura 58. Fuerzas aplicadas en el eje de arrastre



Fuente: Autores

Donde:

$$L = 39\text{cm} = 0.39\text{m}$$

$$\phi_{eje} = 1\frac{1}{8}\text{in} = 28.58\text{mm} = 0.02858\text{m}$$

$$\delta_{total} = 5.03 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{ (Ver anexo C1)}$$

$$P3 = \delta_{total} * L \quad (92)$$

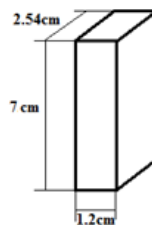
Remplazando en la ecuación (92) se obtiene:

$$P3 = 5.03 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.39\text{m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P3 = 19.22 \text{ N}$$

Las aletas que contiene el eje de arrastre son martillos de platina de $1\frac{1}{2}\text{in}$ de espesor, como se muestra en la figura 59 las dimensiones de los martillos de arrastre.

Figura 59. Martillos de arrastre



Fuente: Autores

Donde:

$$\delta_{alet} = 2.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \text{ (Ver anexo F1)}$$

$$n = 4 \text{ aletas}$$

$$L = 0.07\text{m}$$

$$P4 = \delta_{alet} * L * n \quad (93)$$

Remplazando en la ecuación (93) se obtiene:

$$P4 = 2.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.07\text{m} * 4 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P4 = 6.59 N$$

El peso total del cilindro con las aletas es:

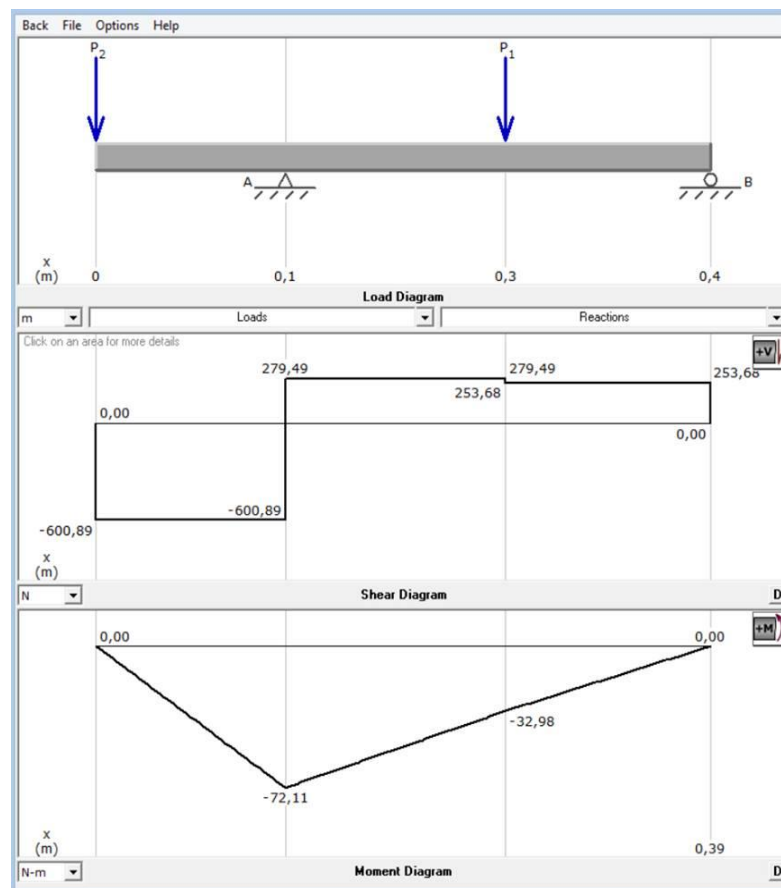
$$P_{total} = P3 + P4 \tag{94}$$

Remplazando en la ecuación (94) se obtiene:

$$P_{total} = 19.22 N + 6.59 = 25.81 N$$

4.6.2 *Diagramas de cuerpo libre del eje de arrastre.* Con la ayuda del software MDSolids 3.5 se procede a analizar el eje con las fuerzas que influyen en el mismo como se indica en la figura 60.

Figura 60. Diagrama de cuerpo libre del plano XY



Fuente: Autores

En los diagramas de fuerza cortante se encuentra las reacciones en las chumaceras para el eje de arrastre:

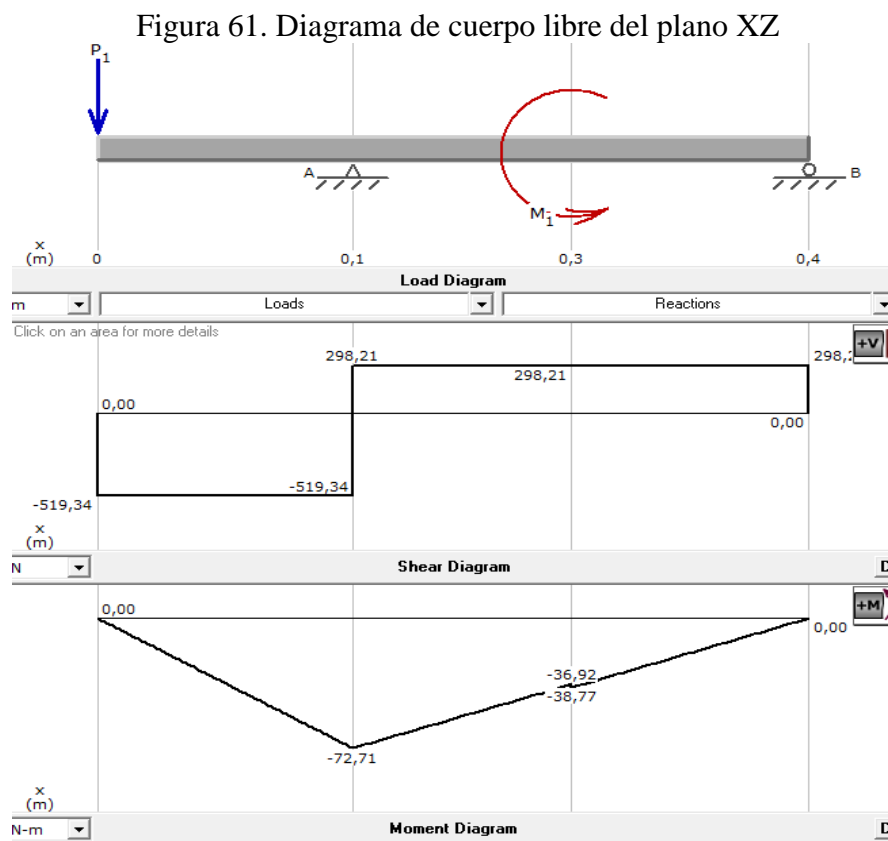
$$R_{Axy} = 838 \text{ N}$$

$$R_{Bxy} = 253.68 \text{ N}$$

En el diagrama de momento flector se encuentra el momento máximo en la reacción A:

$$M_{Axy} = -72.11 \text{ m}$$

En la figura 61, se indica el eje en el plano XZ en el cual se representa los momentos producidos por las aletas de arrastre.



Fuente: Autores

En los diagramas de fuerza cortante se encuentra las reacciones en las chumaceras:

$$R_{Axz} = 817.55 \text{ N}$$

$$R_{Bxz} = 298.21 \text{ N}$$

En el diagrama de momento flector se encuentra el momento máximo en la reacción A:

$$M_{Axz} = -72.71 \text{ N} - \text{m}$$

Para obtener el momento flector máximo se debe obtener el momento máximo en los picos de los diagramas de momento flector de los planos XY y XZ.

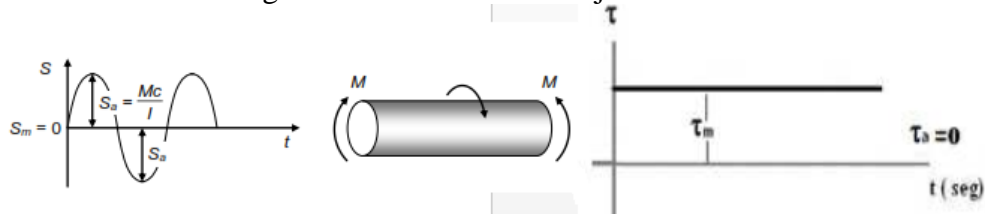
$$M_{max} = \sqrt{(M_{Axy})^2 + (M_{Axz})^2} \quad (95)$$

Remplazando en la ecuación (95) se obtiene:

$$M_{max} = \sqrt{(-72,11)^2 + (-72,71)^2} = 72,71 \text{ N} - \text{m}$$

4.6.3 *Análisis del eje a fatiga.* Los árboles soportan cargas variables y, por lo tanto, debe comprobarse su resistencia a la fatiga. Por ejemplo, unas cargas constantes T, M y F en un árbol, producen esfuerzos normales variables, ya que el momento flector M es giratorio relativo como se muestra en la figura 62.

Figura 62. Fluctuación del eje de arrastre



Fuente: Autores

Secciones de eje solidó:

$$\sigma_{max} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (96)$$

Donde:

M = mometo maximo, en N. m.

d = diamatro del eje asumido, en m.

Remplazando en la ecuación (96) se obtiene:

$$\sigma_{max} = \frac{32 * 72,71 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi * (0,02858 \text{ m})^3} = 0,2 * 10^6 \text{ Pa} = 0,2 \text{ MPa}$$

Tensiones cortantes producidas por esfuerzo cortante.

Sección circular:

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (97)$$

Donde:

T = torque máximo producido en el eje = $248.56N - m$.

Reemplazando en la ecuación (97) se obtiene:

$$\tau_{max} = \frac{16 * 248.56}{\pi * (0.02858)^3} = 5.422 * 10^7 Pa = 54.52 MPa$$

Teoría de Von Misses Henky:

$$\tau_{eqm} = \sqrt{(\tau a)^2 + 3 * (\tau_{max})^2} \quad (98)$$

Debido que en el eje no se producen fuerzas axiales entonces $\tau a = 0$.

Reemplazando en la ecuación (98) se obtiene:

$$\tau_{eqm} = 94.43 MPa$$

Teoría de Goodman:

$$\frac{\sigma_{max}}{Se} + \frac{\tau_{eqm}}{Sut} = \frac{1}{n} \quad (99)$$

Donde:

Se = límite de fatiga

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Se' \quad (100)$$

Ka = factor de superficie

$$Ka = a * Sut^b \quad (101)$$

Donde:

$$Sut = 630 \text{ MPa} \quad (\text{Ver anexo F2})$$

$$a = 1.58 \text{ MPa} \quad (\text{Ver anexo F3})$$

$$b = -0.085 \quad (\text{Ver anexo F3})$$

Remplazando en la ecuación (101) se obtiene:

$$Ka = 0.91 \text{ MPa}$$

Donde:

Kb = Factor de tamaño

$$Kb = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad (\text{Ver Anexo F4}) \quad (102)$$

Remplazando en la ecuación (102) se obtiene:

$$Kb = 0.89$$

Donde:

Kc = Factor de modifiucacion de carga.

$$Kc = 0.59 \quad (\text{Ver anexo F5})$$

Donde:

Kd = factor de temperatura.

$$Kd = 1 \quad (\text{Ver anexo F6})$$

Donde:

K_e = Factor de confiabilidad.

$$K_e = 0.897 \quad (\text{Ver anexo F7})$$

Donde:

S_e = Factor de tensión.

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad (103)$$

Remplazando en la ecuación (103) tenemos:

$$S_e' = 315 \text{ MPa}$$

Remplazando en la ecuación (100) todos los factores calculados se obtiene:

$$S_e = 135.45 \text{ MPa}$$

Se calcula el coeficiente de seguridad para el eje, el cual nos va asegurar que no va a existir falla en el diseño del eje del sistema de arrastre del fréjol seco.

Remplazando en la ecuación (99) se obtiene:

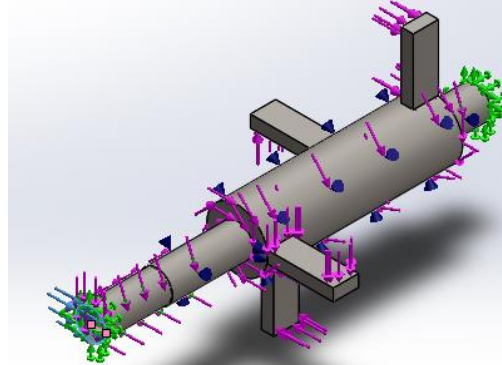
$$\frac{0.5}{135.45} + \frac{93.93}{630} = \frac{1}{n}$$
$$n = 6.54$$

Este coeficiente de seguridad nos garantiza que el eje para el sistema de arrastre no fallará, el cual garantiza que la máquina funcionará a su mejor rendimiento.

4.6.4 *Verificación de resistencia del eje de arrastre mediante SOLIDWORK.* Para esta verificación como se hizo en el análisis anterior se debe modelar el elemento mecánico en SOLIDWORK, para luego proceder a hacer el análisis poniendo las cargas que se aplican en la pieza y las diferentes sujeciones que se necesitan.

En la figura 63, se muestra el elemento mecánico modelado en SOLIDWORK con sus respectivas cargas.

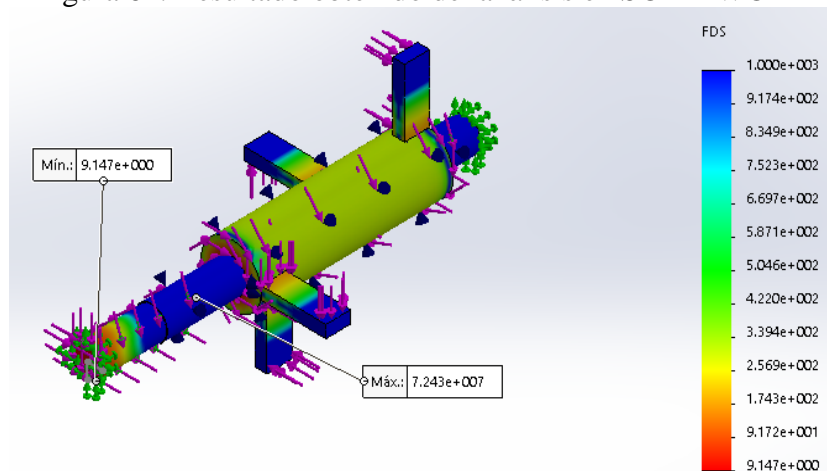
Figura 63. Cargas que actúan en el eje de arrastre.



Fuente: Autores

Luego se procede a ejecutar el programa el cual se busca encontrar el coeficiente de seguridad del elemento mecánico, como se indica en la figura 64.

Figura 64. Resultado obtenido del análisis en SOLIDWORK



Fuente: Autores

Con el coeficiente de seguridad obtenido se puede afirmar que el elemento mecánico diseñado no colapsara.

4.7 Selección de chumaceras

Una adecuada selección de rodamiento en la máquina aumentara la vida útil de las partes de la máquina, debido que los rodamientos reducen la fricción de ejes que se encuentran sometidos a rotación.

Las chumaceras es una combinación de rodamientos de bolas radiales, retenes, y un alojamiento de fundición calidad o de acero estampado, son fabricados de distintas geometrías para ser utilizados en distintos tipos de conexiones. Para la selección de rodamientos se debe tener en cuenta la velocidad de giro del eje, por esta razón se debe calcular la sollicitación estático cuando el rodamiento se encuentra en reposo.

Se debe calcular la sollicitación dinámica cuando el eje ha alcanzado la velocidad máxima de rotación.

Para la máquina desgranadora de fréjol seco se utiliza rodamientos insertables y soportes FAG Black Series de Schaeffler destacan por un montaje sencillo, una gran suavidad de funcionamiento y fiabilidad, lo que los convierte en unos rodamientos especialmente económicos. (SCHAEFFLER pág. 10)

4.7.1 *Selección de rodamientos en el eje de desgrane.* Para seleccionar los rodamientos es necesario tener las reacciones calculadas en los planos XY y XZ del eje de desgrane son:

$$R_{\text{eje de desgrane}} = \sqrt{(R_{xy})^2 + (R_{xz})^2} \quad (104)$$

Remplazando en la ecuación (104) se obtiene:

$$R_{\text{eje de desgrane}} = \sqrt{(2531.01 \text{ N})^2 + (908.80 \text{ N})^2}$$

$$R_{\text{eje de desgrane}} = 2689.22 \text{ N}$$

4.7.1.1 *Análisis dinámico.*

$$P = Fr \quad (105)$$

Para $\frac{Fa}{Fr} \leq e$, entonces $Fa=0$ y $Fr = R_{\text{eje de desgrane}}$.

Remplazando en la ecuación (105) se obtiene:

$$P = 2689.22 \text{ N}$$

Según las tablas de rodamientos rígidos de bolas el factor de velocidad (F_n) se obtiene:

$$n = 1055 \text{ rpm} \quad \text{Entonces} \quad F_n = 0.316 \quad (\text{Ver Anexo H2})$$

Para calcular el coeficiente dinámico (F_L) se obtiene:

$$F_L = \frac{C}{P} * F_n \quad (106)$$

Donde:

C = capacidad de carga dinámica = 32500 N. (Ver anexo H1)

P = carga dinámica equivalente.

Remplazando en la ecuación (106) tenemos:

$$F_L = \frac{32500 \text{ N}}{2689.22 \text{ N}} * 0.316$$
$$F_L = 3.82$$

Para calcular la vida nominal (L_h) debemos utilizar las tablas de rodamiento rígido de bolas tenemos:

$$L_h = 28000 \text{ horas}$$

Para la comprobación de selección de chumaceras de sollicitación dinámica se obtiene:

$$C_{req} \leq C_{din}$$

Donde:

$$C_{req} = \frac{F_L}{F_n} * P \quad (107)$$

Remplazando en la ecuación (107) se obtiene:

$$C_{req} = \frac{3.82}{0.320} * 2689.22 \text{ N}$$

$$C_{req} = 32102.56 N$$

Como $32102.56 \leq 32500$, cumple con la condición.

4.7.1.2 Análisis estático. Para la comprobación de selección de chumaceras de sollicitación estática se obtiene:

$$C_{o_{req}} = F_s * P_o \quad (108)$$

De acuerdo al catálogo de la FAC el factor de esfuerzo estático (Fs) se obtiene:

$F_s = 1.5 \dots \dots 2.5$ para exigencias elevadas.

$F_s = 1.0 \dots \dots 1.5$ para exigencias normales.

$F_s = 0.7 \dots \dots 1.0$ para exigencias reducidas.

Para la máquina desgranadora de fréjol seco se utiliza $F_s = 2$ debido que la velocidad angular es elevada.

$$P_o = X_o * F_r + Y_o * F_a \quad (109)$$

Donde:

Po= carga estática equivalente.

Xo= Factor radial = 1

Fa= Carga axial = 0

Reemplazando en la ecuación (109) se obtiene:

$$P_o = 1 * 2689.22 N + 1 N * 0$$

$$P_o = 2689.22 N$$

Reemplazando en la ecuación (108) se obtiene:

$$C_{o_{req}} = 2 * 2689.22 N$$

$$C_{o_{req}} = 5378.44 N$$

Comprobación del análisis estático se obtiene:

$$C_{o_{req}} \leq C_{o_{est}}$$

Donde:

$C_{o_{est}}$ = capacidad de carga estática = 19800 N (Ver anexo H1)

Como $5378.44 \text{ N} \leq 19800$, cumple con la condición

De acuerdo con las comprobaciones en los análisis dinámico y estático del rodamiento seleccionado, se puede concluir que las chumaceras para el eje principal de desgrane de fréjol seco será **SERIE FAG UC208 – 24**.

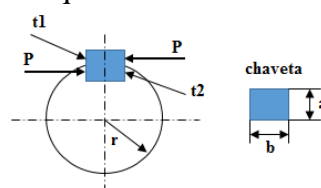
4.8 Diseño de chaveta

Debido que la mayor parte de trabajo que realiza la máquina desgranadora de fréjol seco es en el eje principal de desgrane, también para la transmisión de potencia se tuvo que reducir la velocidad del motor de 3600 rpm a 1055 rpm para no dañar el grano, por estos motivos la selección de la polea para el eje principal de desgrane tiene un diámetro de 29 cm, la cual, es solidaria al eje principal y esto se logra gracias a una chaveta.

Tomando en cuenta las consideraciones iniciales para el diseño de la chaveta; se debe considerar que el material de la chaveta debe ser menos resistente al material del que está compuesto el eje, con el objetivo de prevenir y proteger el eje, que si existiera una fuerza mayor para la que está diseñada la máquina no exista fractura en el eje y la primera que colapse sea la chaveta.

En la figura 65, se muestra las dimensiones de la chaveta la cual se encuentra en la polea del eje de desgrane.

Figura 65. Esquema de la chaveta y chavetero



Fuente: Autores

En la tabla 20, se muestra las dimensiones de la chaveta seleccionada para el chavetero en el eje y en la polea de diámetro de 29 cm.

Tabla 20. Dimensiones de la chaveta y chavetero

D eje (mm)	Chaveta <i>b x a x L</i> (mm)	Chavetero en la polea	Chavetro en el eje		
			<i>t1 (mm)</i>	<i>t2 (mm)</i>	Tolerancia max (mm)
38	8 x 8 x 50	4	4	+0.02	-0.02

Fuente: Autores

4.8.1 *Analisis de esfuerzo a corte en la chaveta.* Después de haber dimensionado la chaveta se procede a calcular la longitud mínima que debe tener la chaveta para que no falle a corte ni ha aplastamiento que son las dos posibles fallas. Para la chaveta se utiliza un acero SAE 1020 estirado en caliente (Ver anexo F2), el cual indica que tiene una resistencia a la fluencia de 210 [MPa].

De acuerdo a los cálculos hechos anteriormente el eje presenta un par torsional máximo de 64.1 [N.m], para el diseño de la chaveta se utiliza un factor de seguridad de 3 para mayor protección al sistema.

La fuerza (P) mostrada en la figura 65, se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T}{r} \quad (109)$$

Remplazando en la ecuación (109) se obtiene:

$$P = \frac{64.1 \text{ N.m}}{19 \text{ mm}} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$P = 3373.68 \text{ N}$$

De acuerdo a la teoría de la energía de la distorsión planteada por Sigley, la resistencia a corte es:

$$\tau_{corte tab} = 0.5 S_y \quad (110)$$

Remplazando en la ecuación (110) se obtiene:

$$\tau_{corte\ tab} = 0.5 * 210\ MPa$$

$$\tau_{corte\ tab} = 105\ MPa$$

La falla por cortante a lo largo del área ($a \times b$) creará un esfuerzo a lo largo de la chaveta el cual se procede a calcular:

$$\tau_{corte\ cal} = \frac{P}{a * L} \quad (111)$$

Remplazando en la ecuación (111) se obtiene:

$$\tau_{corte\ cal} = \frac{3373.68\ N}{0.008\ m * 0.05\ m}$$
$$\tau_{corte\ cal} = 8434200\ \frac{N}{m^2} = 8.43\ MPa$$

Comprobación por corte el diseño de la chaveta:

$$\tau_{corte\ tab} > \tau_{corte\ cal} \quad (112)$$

Remplazando en la ecuación (112) se obtiene:

$$105\ MPa > 8.43\ MPa \quad \text{Correcto}$$

Debido a esto se puede asegurar que la chaveta diseñada no fallara a corte, el cual nos garantiza que cumplirá la función de proteger al motor mono cilíndrico.

4.8.2 *Análisis de esfuerzo por aplastamiento en la chaveta.* Debido que la chaveta es un elemento de unión entre la polea y el eje implica que va a estar sometida a aplastamiento, para esto se debe comprobar el diseño de chaveta por aplastamiento.

El esfuerzo tabulado por aplastamiento es:

$$\sigma_{aplastamiento\ tab} = 0.9 * S_y \quad (113)$$

Remplazando en la ecuación (113) se obtiene:

$$\sigma_{aplastamiento\ tab} = 0.9 * 210\ MPa$$

$$\sigma_{aplastamiento\ tab} = 189\ MPa$$

Para resistir el aplastamiento, se utiliza el área de la mitad de la cara de la chaveta:

$$\sigma_{aplastamiento\ cal} = \frac{P}{\frac{a*L}{2}} \quad (114)$$

Remplazando en la ecuación (114) se obtiene:

$$\sigma_{aplastamiento\ cal} = \frac{3373.68\ N}{\frac{0.008\ m * 0.05\ m}{2}}$$

$$\sigma_{aplastamiento\ cal} = 16868400\ Pa = 16.87\ MPa$$

Comprobación por aplastamiento del diseño de la chaveta:

$$\sigma_{aplastamiento\ tab} > \sigma_{aplastamiento\ cal} \quad (115)$$

Reemplazando en la ecuación (115) se obtiene:

$$189\ MPa > 16.87\ MPa \quad \text{Correcto}$$

Debido a esto se puede asegurar que la chaveta diseñada no fallara a aplastamiento, finalmente podemos decir que la chaveta que se deberá utilizar es: Chaveta paralela de extremos rectos de 8 x 8 x 50 DIN 6885 (Ver anexo G).

4.9 Diseño de la zaranda

Las zarandas tienen como función separar el grano de los desperdicios dejados por el proceso de desgrane, estas zarandas son platinas de acero inoxidable que tienen agujeros de dimensiones distintas de acuerdo al área de trabajo o específicamente para el tipo de grano que se va a desgranar. En la tabla 21 indica las dimensiones de los granos de fréjol seco canario.

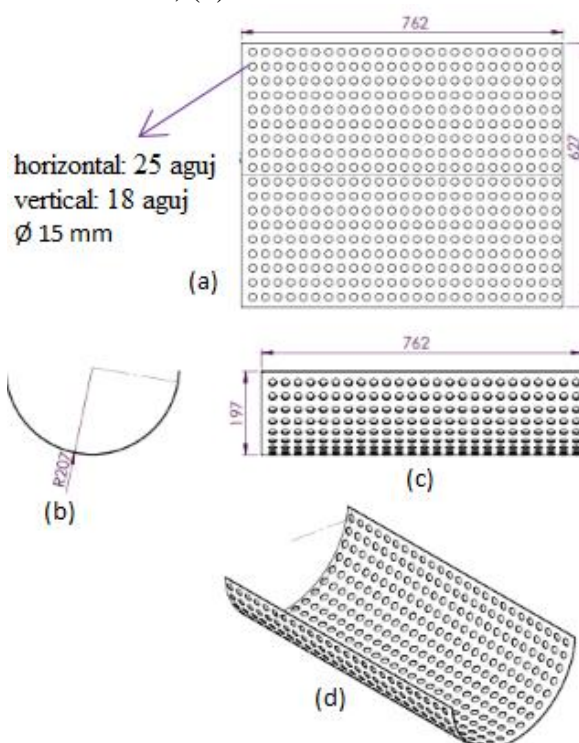
Tabla 21. Dimensiones de fréjol por cada vaina

Ensayo en el laboratorio				
Vainas	Número de granos por vaina	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
1	6	12.9	10	8
2	6	12.85	10.2	8.25
3	6	13.55	10.4	10.3
4	4	14.9	11.4	8
5	5	13.9	10.3	8.35
6	6	13.6	10.5	8.3
7	5	12.7	9.4	7.7

Fuente: Autores

De acuerdo a la tabla 21 se puede observar que los granos de fréjol que se obtuvo por cada vaina presentan diferentes dimensiones, debido a esto se tomara la medida del grano más largo, entonces para la zaranda se utilizará un diámetro de agujero de 15 mm aproximadamente de diámetro.

Figura 66. Diseño de la zaranda, (a) platina estirada, (b) radio de curvatura, (c) vista frontal doblada, (d) vista isométrica de la zaranda.



Fuente: Autores

En la figura 66 se indica el diseño de la zaranda que se utiliza para la máquina desgranadora de fréjol seco.

4.10 Selección de pernos que sujeta la base del motor mono cilíndrico

Existen muchas formas de unir dos o más elementos como son: pernos, tuercas, pasadores, cuñas, remaches, soldaduras y adhesivos, para la unión de un motor con la base donde estará el motor se utilizará tornillos los cuales debemos tener en consideración que los agujeros de los tornillos quizás presenten rebabas o bordes agudos después de su formado, que podrían penetrar en el entalle e incrementar la concentración del esfuerzo. Por lo tanto, para prevenir este problema, siempre deben usarse arandelas debajo de la cabeza del perno. Deben ser de acero endurecido y cargadas en el perno de manera que el borde redondeado del agujero estampado esté de frente al tornillo. Algunas veces también es necesario emplear arandelas debajo de la tuerca.

Para el diseño de los pernos se utilizará la guía del libro de diseño en ingeniería mecánica de Sigley en el capítulo 8.

4.10.1 Esfuerzos debido a la tracción en los pernos

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_t} \quad (116)$$

Donde:

σ_i = Esfuerzo de precarga, en N/m².

F_i = Fuerza de precarga, en N.

A_t = Área de esfuerzo sometido a tensión, en m².

También el esfuerzo alternante es:

$$\sigma_a = \frac{n * C * P}{2 * A_t} \quad (117)$$

Donde:

n = Número de pernos.

C = Constante elástica a tracción.

P = Carga externa de tensión, en N.

La carga máxima es el peso del motor mono cilíndrico que es $P_{max} = 54 \text{ kg}$ o es igual a 119.05 Lb (Ver anexo C4).

Para calcular el esfuerzo medio nos indica que es:

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i \quad (118)$$

Remplazando las ecuaciones (116) y (117) en la ecuación (118) se obtiene:

$$\sigma_m = \frac{n \cdot C \cdot P}{2 \cdot A_t} + \frac{F_i}{A_t} \quad (119)$$

La base del motor sirve de soporte para el motor mono cilíndrico, el cual, da la potencia al sistema de transmisión por medio de un eje, en la base del motor se encuentran 4 tornillos que restringirán el movimiento del motor.

Se elige tornillos UNC de rosca gruesa, de 10 mm o de 3/8 in de diámetro (Ver anexo I).

El área de esfuerzo a tensión es:

$$A_t = 0.0775 \text{ in}^2 \quad (\text{Ver anexo I})$$

Características de los pernos SAE 8 $\left(\frac{1}{4} - 1 \frac{1}{2}\right)$ (Ver anexo I2) seleccionados:

s_p = Resistencia de prueba mínima = 120 Kpsi (Ver anexo I2).

S_{ut} = Resistencia mínima a la tensión = 150 Kpsi (Ver anexo I2).

S_y = Resistencia mínima a la fluencia = 130 Kpsi (Ver anexo I2).

El libro de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley recomienda la fuerza de precarga tanto para la carga estática como para la fatiga:

$F_i = 0.75 F_P$ = Para conexiones no permanentes, sujetadores reutilizados.

$F_i = 0.90 F_P$ = Para conexiones permanentes.

Donde F_P es la carga de prueba, que se obtiene mediante la ecuación:

$$F_p = A_t * S_p \quad (120)$$

Debido que en la base del motor se utilizaran tornillos no permanentes entonces la fuerza de precarga es:

$$F_i = 0.75 F_p \quad (121)$$

Remplazando en la ecuación (120) en la ecuación (121) se obtiene:

$$F_i = 0.75 * A_t * S_p \quad (122)$$

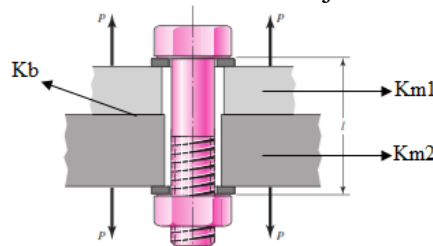
Remplazando los valores en la ecuación (122) se obtiene:

$$F_i = 0.75 * 0.0775 \text{ in}^2 * 120 \text{ KPsi}$$

$$F_i = 6975 \text{ Lbf}$$

En la figura 67, se muestra las fuerzas que está sometido el perno como medio de sujeción del motor y la placa base, estas cargas de sujeción se llaman pre – tensión o precargas del perno, además se observa la rigidez efectiva estimada del perno o tornillo.

Figura 67. Corte en el área de sujeción del perno.



Fuente: Diseño en Ingeniería mecánica – Sigley – Octava edición, Pag. 413.

Para encontrar la rigidez es necesario saber que los sujetadores son largos el área de rosca de los pernos seleccionados es pequeña entonces se utiliza la siguiente ecuación:

$$K_b = \frac{A_d * E}{l_d} \quad (123)$$

Donde:

K_b = Rigidez efectiva, en Lbf/in.

A_d = Área del diámetro mayor del sujetador.

E = Modulo de elasticidad del acero, en Lbf/in².

L_d = Longitud de la parte sin rosca en agarre.

Para calcular el área del diámetro mayor del sujetador la ecuación es:

$$A_d = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (124)$$

Remplazando en la ecuación (124) se obtiene:

$$A_d = \frac{\pi * \left(\frac{3}{8} in\right)^2}{4} = 6.33 in^2$$

Longitud de la parte útil sin rosca es:

$$L_d = L - L_t \quad (125)$$

Donde:

L = Longitud del perno, en pulg.

L_t = Longitud de rosca del perno, en pulg.

Remplazando en la ecuación (125) se obtiene:

$$L_d = 3 in - 1 in = 2 in$$

Remplazando en la ecuación (123) se obtiene:

$$K_b = \frac{6.33 in^2 * 30 * 10^6 Psi}{2 in} = 94950000 \frac{Lbf}{in}$$

Para calcular K_{m1} se utiliza el método de los troncos cónicos es la ecuación:

$$K_m = \frac{0.5774 * \pi * E * d}{2 * \ln\left(5 * \frac{0.5774 * L + 0.5 d}{0.5774 * L + 2.5 * d}\right)} \quad (126)$$

Donde la base del motor tiene un espesor de $\frac{3}{4}$ in y la placa donde se asienta el motor tiene un espesor de $1\frac{1}{2}$ in están sujetas mediante 4 pernos con arandelas 0.095 in de espesor debajo de la turca.

La longitud de agarre es:

$$L = 0.095 \text{ in} + \frac{3}{4} + 1\frac{1}{2} + 0.095 = 2.44 \text{ in}$$

Remplazando en la ecuación (126) se obtiene:

$$K_{m1} = \frac{0.5774 * \pi * 30 * 10^6 \text{Psi} * \frac{3}{8} \text{ in}}{2 * \ln \left(5 * \frac{0.5774 * 2.44 \text{ in} + 0.5 * \frac{3}{8} \text{ in}}{0.5774 * 2.44 \text{ in} + 2.5 * \frac{3}{8} \text{ in}} \right)}$$

$$K_{m1} = 8334164.22 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

Debido que para cada placa representa el mismo valor de K_m , porque se encuentran sujetos al mismo perno, entonces para la segunda placa es:

$$K_{m2} = 8334164.22 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

Para encontrar la rigidez total por cada placa entonces se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} \quad (127)$$

Remplazando en la ecuación (127) se obtiene:

$$\frac{1}{K_{mt}} = \frac{1}{8334164.22} + \frac{1}{8334164.22} = 2.4 * 10^{-7}$$

$$K_{mt} = 4166666.67 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Para determinar la constante de elasticidad de unión se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{K_b}{K_{mt} + K_b} \quad (128)$$

Remplazando en la ecuación (128) se obtiene:

$$C = \frac{94950000 \frac{Lbf}{in}}{4166666.67 \frac{Lbf}{in} + 94950000 \frac{Lbf}{in}}$$

$$C = 0.96$$

4.10.2 Límite de fatiga en los pernos

$$Se = K_c * \frac{1}{K_f} * S_e \quad (129)$$

Donde:

$K_c = 0.897$ para una confiabilidad del 90% (Ver anexo F7).

$K_f = 2.2$ para pernos laminados (Ver anexo I3).

Para calcular el factor de tensiones se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_e = 0.45 * S_{ut} \quad (130)$$

Remplazando en la ecuación (130) se obtiene:

$$S_e = 0.45 * 150 * 10^3 \frac{Lbf}{in^2} = 67500 \frac{Lbf}{in^2}$$

Remplazando en la ecuación (129) se obtiene:

$$Se = 0.897 * \frac{1}{2.2} * 67500 \frac{Lbf}{in^2} = 27521.59 \frac{Lbf}{in^2}$$

El factor de seguridad que protege contra la fatiga utilizando el criterio de Goodman está dado por:

$$n_f = \frac{Se(S_{ut} * A_t - F_i)}{C * P(S_{ut} + Se)} \quad (131)$$

Remplazando los valores calculados en la ecuación (131) se obtiene:

$$n_f = \frac{27521.59 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2} \left(150 * 10^3 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2} * 0.0775 \text{ in}^2 - 6975 \text{ Lbf} \right)}{0.96 * 119.05 \text{ Lbf} \left(150 * 10^3 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2} + 27521.59 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2} \right)}$$

$$n_f = 6.3$$

Este factor evita que el esfuerzo en el perno se vuelva igual a la resistencia de prueba, con el cual se observa que el factor de seguridad es alto por el cual no fallara el perno a fatiga.

4.10.3 Resistencia máxima a corte de los pernos

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{P_{\text{max}}}{A_c} \quad (132)$$

Donde:

τ_{corte} = El esfuerzo de corte en el perno, en Lbf/in².

P_{max} = La suma de cargas que se aplican en el perno, en Lbf.

A_c = Área de corte, en in².

El área proyectada de un remache individual es:

$$A_c = t * d \quad (133)$$

Donde:

t = Es el espesor de la placa más delgada, en in.

d = Es el diámetro del remache o perno, en m.

Remplazando en la ecuación (133) se obtiene:

$$A_c = \frac{3}{4} \text{ in} * \frac{3}{8} \text{ in} = 0.28 \text{ in}^2$$

Remplazando en la ecuación (132) se obtiene:

$$\tau_{corte} = \frac{119.05 \text{ Lbf}}{0.28 \text{ in}^2} = 425.18 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2}$$

El factor de seguridad contra el corte nos indica la ecuación:

$$n_c = \frac{S_{sy}}{\tau_{corte}} \quad (134)$$

$$S_{sy} = \frac{0.0577 * Sy}{z_b} \quad (135)$$

Remplazando en la ecuación (135) se obtiene:

$$S_{sy} = \frac{0.0577 * 130 * 10^3 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2}}{2} = 3750.5 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2}$$

Remplazando en la ecuación (134) se obtiene:

$$n_c = \frac{3750.5 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2}}{425.18 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}^2}}$$

$$n_c = 8.8$$

Por lo tanto, debido que el factor de seguridad se encuentra en un rango aceptable en corte y a tracción, por esto se debe utilizar 4 pernos UNC 3/8 in para sujetar el motor de combustión interna mono cilíndrico.

4.11 Diseño de la estructura base

El diseño de la estructura base de la máquina desgranadora de fréjol seco es muy importante, debido a que tiene como función principal soportar y resistir todos los elementos que conforman la máquina como son:

- El sistema de desgrane
- El sistema de arrastre
- Ventilador centrífugo radial
- La transmisión de potencia
- El motor de combustión mono cilíndrico a diésel
- Carcasa

- Tapa superior
- Tamiz
- Recolector de grano

El análisis de elementos finito predice numéricamente el comportamiento expuesto a diferentes cargas y esfuerzos que se producen en piezas u elementos mecánicos. Esta técnica numérica fiable considera al modelo como una red de elementos discretos interconectados.

Con la ayuda del software SOLIDWORKS 2016 se indica en forma general la configuración que tendrá la estructura base, la cual se muestra en la figura 67.

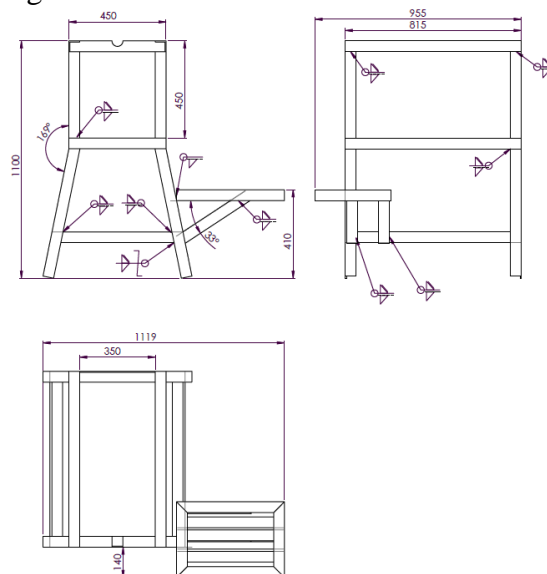
Figura 68. Estructura base



Fuente: Autores

4.11.1 *Características geométricas de la estructura base.* La figura 69 se indica las dimensiones que tiene la estructura base, la cual está conformada de ángulos de acero estructural ASTM A36 y tiene una base donde reposará el motor de combustión.

Figura 69. Dimensiones de la estructura base



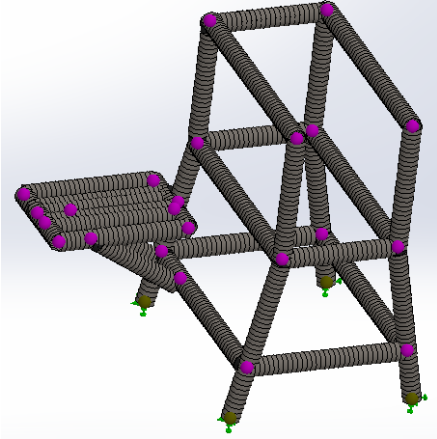
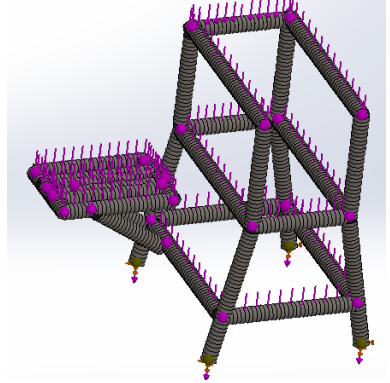
Fuente: Autores

La estructura base se somete a un análisis estático para lo cual se utiliza SOLIDWORKS 2016, en el cual se simula y se verifica si resiste a las cargas que actúan en la estructura base las cuales son las siguientes:

- Peso del motor = 54 Kg. (Ver anexo C4)
- Peso de la estructura y elementos que conforman la máquina = 158,66 kg

4.11.2 Procedimiento del análisis estático. En la tabla 22 se indica el procedimiento que se realizara para verificar que la estructura resiste a cargar generadas por los elementos que conforman la máquina.

Tabla 22. Proceso del análisis estático

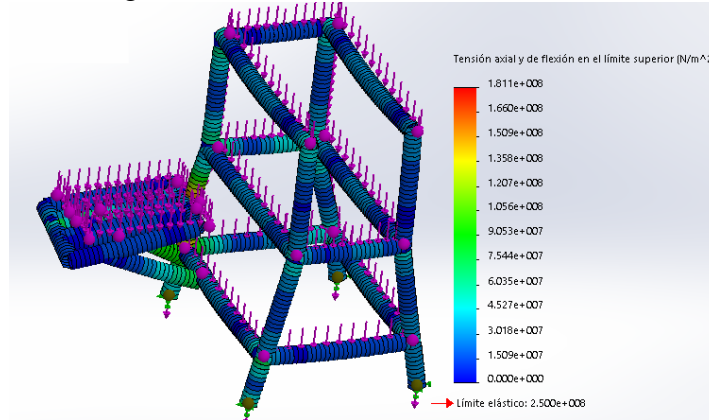
<p>Asignar las sujeciones en los nodos de la base y generar el mallado.</p>	
<p>Asignar cargas y ejecutar análisis</p>	

Fuente: Autores

4.11.3 Resultados del análisis estático. En la figura 70 se indica el resultado de esfuerzos máximos producidos en la estructura base, en la cual el esfuerzo máximo obtenido es:

$$\sigma_{max} = 1,811 \times 10^{008} \frac{N}{m^2} = 1811000 \text{ KPa.}$$

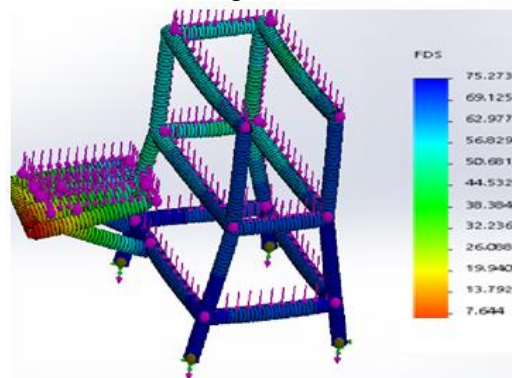
Figura 70. Esfuerzos en la estructura base



Fuente: Autores

Para obtener la resistencia de la estructura a las cargas es necesario obtener el factor de seguridad, el cual se obtiene mediante la simulación del análisis estático como indica en la figura 71.

Figura 72. Factor de seguridad de la estructura base



Fuente: Autores

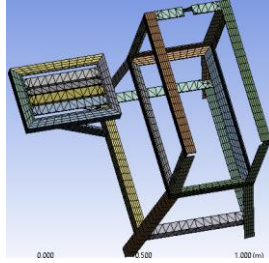
El resultado obtenido mediante el análisis estático en SOLIDWORKS 2016 el factor de seguridad es de 7.6 el cual indica que resistirá las fuerzas ejercidas por los elementos que conforman la máquina desgranadora de fréjol seco.

4.12 Análisis de vibración de la estructura base

Debido que la máquina desgranadora de fréjol seco tiene un motor de combustión interna mono cilíndrico el cual genera vibración en la estructura, también tiene elementos motrices que giran hasta 1050 rpm en el eje por tal motivo es necesario analizar la estructura mediante ANSYS 2015 el módulo de vibración aleatorias, el cual analiza elementos que están sometidos a vibración debido a fuerzas externas.

En la figura 73 se indica el mallado generado mediante ANSYS 2015 el cual obtiene valores fiables del comportamiento mediante métodos de elementos finitos.

Figura 73. Mallado de la estructura base

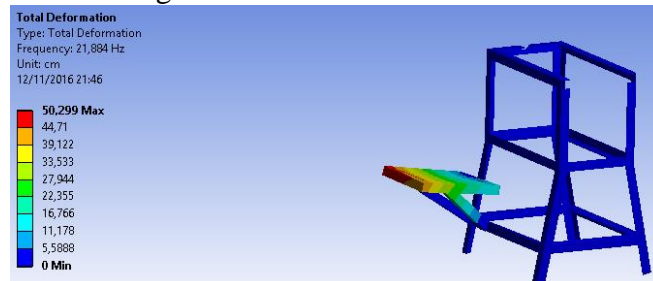


Fuente: Autores

4.12.1 *Resultados de la vibración en la estructura base.* El método de elementos finitos por medio de ANSYS 2015 somete a diferentes grados de frecuencia para obtener la deformación en los elementos que conforman la estructura, con esto se tiene una idea más clara sobre la influencia de vibración en elementos mecánicos.

En la figura 74 se tiene la deformación en la estructura a frecuencias de 20 HZ que son espectros que sobrepasan a la frecuencia normal en maquinaria.

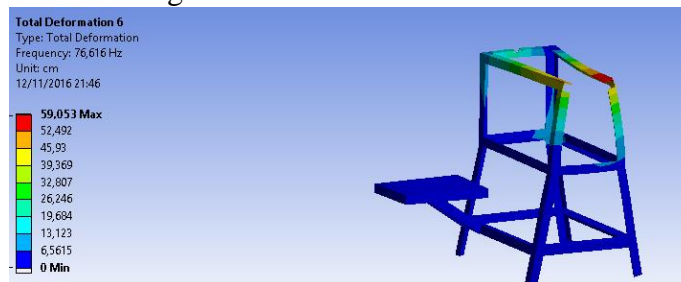
Figura 74. Deformación a 20 Hz



Fuente: Autores

En la figura 75 se tiene la deformación en la estructura a frecuencias de 76 HZ.

Figura 75. Deformación a 76 HZ

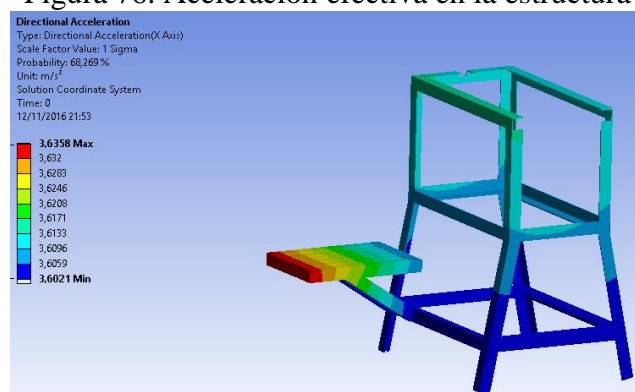


Fuente: Autores

Podemos concluir que la estructura resistirá a frecuencias altas la cual se tiene una deformación de 5 mm en sus elementos estructurales.

En la figura 76 se indica la aceleración eficaz, la cual es la frecuencia que afecta a las personas cuando sobrepasan el nivel de exposición en máquinas que tienen vibración mecánica, la cual son transmitidas mediante mano brazo o vibraciones transmitidas a cuerpo entero el cual supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, problemas vasculares de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares.

Figura 76. Aceleración efectiva en la estructura



Fuente: Autores

Con esto podemos concluir que la aceleración eficaz que produce la estructura es de 3.6 m/s², la cual de acuerdo al decreto 1311/2005 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores establece valor límite de la exposición de vibración mecánica de mano – brazo no debe sobrepasar los 5 m/s² para trabajos de 8 horas, por lo cual la máquina se encuentra en un rango aceptable.

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO

5.1 Máquinas y Herramientas

Las herramientas usadas en el proceso de construcción de la de la maquina desgranadora de fréjol son las siguientes:

- Prensa de banco
- Flexómetro
- Soldadora Eléctrica
- Moladora
- Taladro de mano
- Taladro de pedestal
- Torno
- Calibrador pie de rey
- Cuchilla de torno
- Entenalla
- Escuadra
- Limas
- Llaves
- Brocas
- Machuelo
- Roladora

5.2 Materiales utilizados para la construcción

Los materiales utilizados para la construcción de la máquina desgranadora de fréjol seco se indican en la tabla 23, las cuales desde el punto de vista estética y tomando en cuenta los materiales de las partes que están en contacto directo con el producto alimenticio se requieren esta lista.

Tabla 23. Materiales.

Unidad	Descripción
1	Eje solido de 1½ in de 3 m
3	Angulo de 2x2x1/4
1	Plancha negra de 3mm (4x8)
1	Plancha de acero Inoxidable AISI 304 de 2mm
10	Libra de suelda AGA 6011 1/8
8	Disco grande de corte Nortor
1	Platina de 1´
1	Platina de ½
1	Platina de 1 x ½
6	Pernos acerados de 3/8x1/2
4	Pernos acerados de 1/4 x ½
6	Pernos acerados de 3/8 x 1
1 /2.	Litro de pintura anticorrosiva color celeste
1/4.	Litro de pintura anticorrosiva color naranja
1/4.	Litro de pintura anticorrosiva color amarillo Caterpillar

Fuente: Autores

5.3 Proceso de construcción y ensamble

Se detalla el proceso de construcción de la máquina desgranadora de fréjol paso a paso de acuerdo a la construcción de cada elemento, la medida de cada elemento construido se lo representa en los planos.

5.3.1 Elementos de construcción. La máquina se clasifica en 3 sistemas los cuales son el sistema estructural, el sistema de alimentación de producto y expulsión de los subproductos y el sistema Motriz.

La tabla 24 representa todos los elementos que conforman la máquina desgranadora de fréjol seco clasificado por sistemas, las cuales se detalla el material que se utiliza para la construcción de cada elemento.

Tabla 24. Elementos de construcción

Sistema	Elemento	cantidad	Material/modelo
	Estructura base "Cajón"	1	Perfil L Acero A36 2x2x1/4
	Paredes de la estructura	1	Plancha de acero A36 de 3mm

Sistema estructural	Pared de la tapa	2	Plancha de acero A36 de 3mm
	Parte superior de la tapa rolada	1	Plancha de acero A36 de 3mm
	Soporte de chumaceras de base	2	Perfil L Acero A36 2x2x1/4
	Soporte de chumacera de pared	2	Plancha de acero A36 de 6mm
	Base del motor	1	Perfil L Acero A36 2x2x1/4
	Base corredizo del Motor.	1	Perfil L Acero A36 2x2x1/4
	Patas o base de la estructura	4	Perfil L Acero A36 2x2x1/5
	Pared del caracol fija a la estructura	1	Plancha de Acero A36 de 6mm
	Soporte de polea – piñón	2	Acero A36 de 6mm
	Apoyo soporte para la base del motor	2	perfil L Acero A36 38x38x5mm
Sistema de alimentación del producto y expulsión del subproducto.	Tolva de alimentación	1	Plancha de acero A36 de 3mm
	Zaranda clasificador	1	Acero inoxidable AISI A304
	Tolva guía para salida de grano	1	Acero inoxidable AISI A304
	Tapa de caracol	1	Plancha de Acero A36 de 3mm
	Canal de aspiración del caracol	1	Plancha de Acero A36 de 3mm
Sistema Motriz	Eje principal desgranador	1	Acero AISI 1045 D=1 1/2in
	Cilindro Principal	1	Tuvo de presión 4in
	Aletas despedadores	26	Platina de 1x1/2
	Ventilador	1	Normalizado
	Polea doble canal	1	Aluminio D=29cm
	Aletas ex pulsadores	4	Platina de 1x1/2
	Eje secundario de arrastre	1	Acero AISI 1045 D=1 1/2in
	Cilindro de Arrastre	1	Tuvo de presión 2in
	Aletas de Arrastre	4	Platina de 1x1/2
	Polea de Arrastre	1	Aluminio D=20cm
	Polea – piñón	2	Acero A36
	Chumaceras de piso	2	Normalizado
Chumaceras de pared	2	Normalizado	

	Motor de combustión interna	1	SAETA F400
	Correas	3	Normalizado
	Bandas	1	Normalizado

Fuente: Autores

5.3.2 Operaciones de construcción para cada sistema. En la tabla 25 se indica la operación que se realiza para construir los elementos que conforman la máquina desgranadora de fréjol seco, también para cada proceso se detalla el tiempo empleado en cada operación que conforma cada sistema.

Tabla 25. Operación de construcción de los elementos de la máquina

Sistema	Elemento	N°	Operaciones	Tiempo (h)
Sistema Estructural	Estructura base "Cajón"	1	Toma de medidas	1
		2	Corte	1
		3	Pre soldado	1
		4	Escuadrado	0,5
		5	Soldado	2
		6	Perforado	1
		7	Enroscado	2
		8	Pulido	1
	Paredes de la estructura	9	Toma de medidas	0,5
		10	Corte	1
		11	Soldado	1
		12	Pulido	0,5
	Pared de la tapa	13	Toma de medidas	0,5
		14	Corte	1,5
		15	Pre soldado	0,5
		16	Soldado	0,5
		17	Pulido	0,5
	Parte superior de la tapa	18	Toma de medidas	1
		19	Rolado	1
		20	Perforado	0,5
		21	Soldado	0,5
		22	Pulido	1
	Soporte de chumacera base	23	Toma de medidas	0,25
		24	Corte	0,5
		25	Soldado	0,5
		26	Perforado	0,5
		27	Enroscado	1
		28	Pulido	0,25
			29	Toma de medidas

	Soporte de chumacera pared	30	Corte	0,5	
		31	Soldado	0,5	
		32	Perforado	0,25	
		33	Enroscado	1	
	Soporte del motor	34	Toma de medidas	1	
		35	Corte	0,75	
		36	Soldado	1	
		37	Pulido	0,5	
	Base corredizo del motor	38	Toma de medidas	0,5	
		39	Corte	1	
		40	Soldado	2	
		41	Perforado	0,25	
		42	Pulido	0,5	
	Patas o Base de la estructura	43	Toma de medidas	1	
		44	Corte	0,5	
		45	Pre soldado	0,25	
		46	Escuadrado	0,25	
		47	Soldado	1	
		48	Pulido	0,5	
	Pared del Caracol fija de la estructura	49	Toma de medidas	0,75	
		50	Corte	1	
		51	Pre soldado	0,25	
		52	Soldado	1	
		53	Pulido	0,5	
	Soporte de Polea - Piñón	54	Toma de medidas	0,25	
		55	Corte	0,5	
		56	Soldado	0,5	
		57	Canalado	1	
		58	Pulido	0,25	
	Apoyo soporte para la base del Motor	59	Toma de medidas	0,25	
		60	Corte	0,25	
		61	Pre soldado	0,25	
		62	Soldado	0,5	
		63	Pulido	0,5	
	Sistema de alimentación del producto y expulsión del subproducto	Tolva de alimenticio	64	Toma de medidas	0,5
			65	Corte	0,5
			66	Pre soldado	0,25
			67	Escuadrado	0,25
			68	Soldado	0,5
			69	Pulido	0,5
		Zaranda clasificador	70	Toma de medidas	0,25
			71	Corte	0,5
			72	Perforado	0,5
		Tolva guía para salida de grano	73	Toma de medidas	0,5
			74	Corte	0,5

		75	Doblado	1	
		76	Soldado	1	
		77	Pulido	0,5	
	Tapa de caracol		78	Toma de medidas	1
			79	Corte	1
			80	Doblado	0,5
			81	Soldado	1
			82	Perforado	0,75
			83	Pulido	0,5
	Canal de Aspiración del caracol		84	Toma de medidas	0,75
			85	Corte	1,5
			86	Soldado	1
			87	Perforado	0,25
			88	Pulido	0,5
Sistema Motriz	Eje principal desgranador	89	Toma de medidas	0,25	
		90	Corte	0,25	
		91	Torneado	1,5	
		92	Perforado	0,25	
		93	Enroscado	0,25	
		94	Canal para chavetas	0,75	
	Cilindro principal	95	Toma de medidas	0,25	
		96	Corte	0,5	
		97	Rectificado en torno	1	
		98	Soldado	0,5	
		99	Pulido	0,5	
	Aletas despedazadores	100	Toma de medidas	1	
		101	Corte	2	
		102	Soldado	2	
		103	Pulido	2	
	Ventilador	104	Rectificado en torno	0,5	
		105	Perforado	0,5	
	Polea doble canal	106	Rectificado en torno	0,5	
		107	Perforado	0,25	
	Aletas desgranadoras	108	Toma de medidas	0,25	
109		Corte	0,5		
110		Soldado	0,5		
111		Pulido	0,25		
Eje secundario de arrastre	112	Toma de medidas	0,25		
	113	Corte	0,5		
	114	Torneado	1,5		
	115	Perforado	0,25		
	116	Enroscado	0,25		
Cilindro de Arrastre	117	Toma de medidas	0,25		
	118	Corte	0,5		
	119	Rectificado en torno	1		

		120	Soldado	0,5
		121	Pulido	0,5
	Aletas de Arrastre	122	Toma de medidas	0,5
		123	Corte	0,5
		124	Soldado	0,5
		125	Pulido	0,5
	Polea de Arrastre	126	Rectificado en torno	0,5
		127	Perforado	0,1
	Polea – Piñón	128	Toma de medidas	0,5
		129	Corte	1
		130	Torneado	2
		131	Fresado	1
		132	Soldado	0,5
133		Pulido	0,5	
Total hora (h)				90,1
Total día (8 horas laborables)				11,3

Fuente: Autores

5.3.3 Montaje de la maquina desgranadora de frejol seco. En la tabla 26 se observa el tiempo empleado y simbolizado cada proceso en el montaje de cada elemento que conforma el sistema estructural el cual es necesario para realizar el flujograma para el proceso de ensamble de las partes que conforman la máquina.

Tabla 26. Montaje de elementos de la estructura

Montaje del sistema Estructural		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Traslado de elemento al sitio de trabajo	M1	0,25
Montaje de la estructura	M2	0,25
Montaje de la tapa	M3	0,15
Montaje de la base del motor	M4	0,15
Montaje de las patas o base de la estructura	M5	0,25
Ajuste de perno	M6	0,15
SUBTOTAL		1,2

Fuente: Autores

En la tabla 27 se observa el tiempo empleado en el montaje de cada elemento que conforma el sistema de Alimentación del producto y expulsión del subproducto.

Tabla 27. Montaje del sistema de alimentación

Montaje del sistema de Alimentación del producto y expulsión de los Subproducto		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Traslado de elemento al sitio de trabajo	M7	0,25
Montaje de tolva de Alimentación	M8	0,1
Montaje de zaranda clasificador	M9	0,1
Montaje de la tapa de caracol	M10	0,25
Ajuste de pernos	M11	0,25
SUBTOTAL		0,95

Fuente: Autores

En la tabla 28 se observa el tiempo empleado en el montaje de cada elemento que conforma el sistema motriz.

Tabla 28. Montaje del sistema motriz

Montaje del sistema Motriz		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Montaje del eje principal	M12	0,1
Montaje del eje secundario	M13	0,15
Montaje de las chumaceras de pared	M14	0,15
Montaje del ventilador	M15	0,25
Montaje de las poleas	M16	0,15
Montaje de las Bandas	M17	0,15
Pernos	M18	0,25
SUBTOTAL		1,2

Fuente: Autores

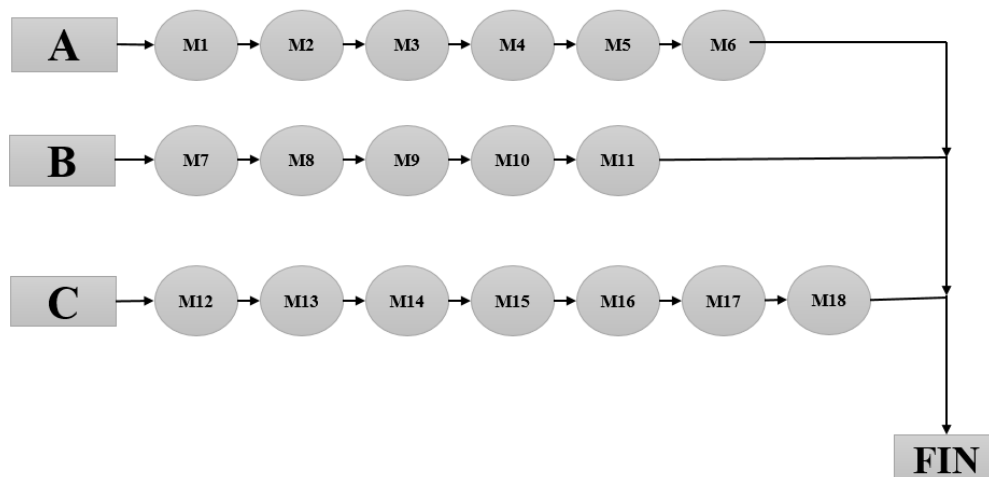
5.3.4 *Flujograma del proceso de montaje de la máquina Desgranadora de fréjol seco.* El diagrama de flujo representa paso a paso el proceso de montaje de cada elemento de acuerdo a los sistemas de la máquina donde se tomó en consideración cada elemento que conforma la máquina desgranadora de fréjol seco como son las siguientes:

A: Montaje del sistema Estructural

B: Montaje del sistema Alimentación del producto y expulsión del Subproducto

C: Montaje del sistema Motriz

Figura 77. Flujograma del proceso de montaje



Fuente: Autores

5.3.5 *Tiempo total de construcción.* En la tabla 29 se indica el tiempo total empleado desde la materia prima hasta su ensamblaje total.

Tabla 29. Tiempo total de construcción y montaje

Tiempo de Montaje y Construcción de la Máquina	
Tiempo de Montaje	2,45
Tiempo de Construcción	90,1
Tiempo total de Construcción (h)	92,55
Tiempo total de Construcción en días (8h laborables)	12

Fuente: Autores

5.4 Proceso de construcción de los elementos de la máquina

5.4.1 *Construcción del cajón base.* En la estructura del cajón base que es el centro de la máquina ya que en ella se encuentra asentada el sistema desgranador de fréjol. Se usó los ángulos de 2x2x1/4 cortados a medidas exacta y soldado con precisión y escuadrado para obtener una simetría perfecta en medidas, además cubre las paredes con plancha negra de 3mm, como se muestra en la figura 78. En el cajón base es la carcasa que tendrá la máquina desgranadora de fréjol seco, el cual cumple la función de protección de los elementos mecánicos que conforman la máquina, también sirve como protección de los operarios que manejan la máquina.

Figura 78. Cajón base



Fuente: Autores

Posteriormente se procede a comprobar que el cajón base este cuadrado perfectamente mediante diagonalmente en cada cara del cajón, como se muestra en la figura 79.

Figura 79. Comprobación de simetrías del cajón



Fuente: Autores

5.4.2 *Construcción de la pared posterior de la máquina.* Para la pared posterior de la estructura se usó una plancha de acero A36 de 6mm de espesor para que resista la temperatura de las soldaduras y el calor producido por el corte con la moladora y así no se tienda a doblar, como se muestra en la figura 80.

Figura 80. Pared posterior



Fuente: Autores

5.4.3 *Tapa del eje desgranador.* La tapa de la desgranadora se ha construido con la plancha negra de 3mm y redondeado con un radio de 198 mm, como se muestra en la figura 81.

Figura 81. Tapa del eje desgranador



Fuente: Autores

La parte de la tapa por donde ingresa el producto para ser desgranado tiene otra simetría, debido que va instalado el eje de desgrane y necesita espacio para rotar, por lo cual se necesita recortar la tapa para que no topen el eje de arrastre y la tapa, como se ve en la figura 82.

Figura 82. Lado posterior de la tapa



Fuente: Autores

Por último, se corta la parte de la tapa para hacer el ingreso del producto y lo acoplamos en la caja base para ver su forma y estética, como se muestra en la figura 83.

Figura 83. Tapa del eje desgranador



Fuente: Autores

5.4.4 *Eje de Arrastre.* El rodillo de arrastre consta de un eje solido de 1 ½' y un cilindro de 65mm de diámetro acoplado perfectamente y centrado con el torno, además este rodillo consta de 4 martillos de arrastre colocado a 90° cada uno, como se muestra en la figura 84.

Figura 84. Eje de arrastre



Fuente: Autores

5.4.5 *Ensamble de polea rodillo y la tapa de la desgranadora.* Esto es el primer conjunto unidas con un par de chumaceras de pared de 1 ¼' y una polea de aluminio de 20cm de diámetro para banda tipo A, como se muestra en la figura 85.

Figura 85. Ensamble del sistema de arrastre



Fuente: Autores

5.4.6 *Construcción de la Zaranda.* Esta plancha es de acero galvanizado de 2mm de espesor con perforaciones de 15mm de diámetro que servirá como clasificador para que el grano pase a la tolva de salida y la basura se quede, como se muestra en la figura 86.

Figura 86. Zaranda desdoblada



Fuente: Autores

Posteriormente se procede a doblar a un radio de 18cm, el cual es el ancho del cajón de la máquina, como se muestra en la figura 87.

Figura 87. Zaranda doblada



Fuente: Autores

5.4.7 *Tolva de Alimentación.* Se ha construido de una forma estética con planchas 3mm y tiene como finalidad recibir las guías de fréjol con guías y sus respectivas vainas para ser arrastrado hacia el rodillo desgranador, como se muestra en la figura 88.

Figura 88. Tolva de alimentación



Fuente: Autores

5.4.8 *Base de catalina.* Esta base va acoplada en la pared del cajón base y sirve como base para la catalina giratoria, como se muestra en la figura 89.

Figura 89. Base de catalina



Fuente: Autores

5.4.9 *Construcción del eje desgranador.* Este eje está compuesto de un eje sólido de 1 ½'' y un cilindro de presión de 3 pulgadas acoplado perfectamente y rectificado en el torno, como se muestra en la figura 90.

Figura 90. Eje de desgrane



Fuente: Autores

Además, este rodillo consta de 26 aletas soldadas en forma de tornillo sin fin de arrastrar y despedazar las guías y vainas del fréjol, los martillos despedazadores están formado de platinas de ½'x1' y por 7.5cm de longitud, como se muestra en la figura 91.

Figura 91. Rodillo de aletas.



Fuente: Autores

5.4.10 *Ensamblado del rodillo desgranador y el ventilador.* El rodillo es acoplado en el eje y es sujetado por medio de 3 sujetadores enroscados, como se muestra en la figura 92.

Figura 92. Elemento principal de desgrane y succión de impurezas



Fuente: Autores

5.4.11 *Construcción de un sistema mixto de catalina y Polea.* Esta catalina está diseñada con la finalidad de transmitir movimiento sin pérdida por patinaje, la relación de catalinas es de 1 a 1, este conjunto está compuesto por una catalina y una polea, como se muestra en la figura 93.

Figura 93. Catalina y polea



Fuente: Autores

5.4.12 *Sistema de transmisión de la desgranadora de fréjol.* El sistema de transmisión de la desgranadora de fréjol está conformado por cadena, dos bandas B75 que transmite movimiento del motor al eje principal, una banda B47 que transmite movimiento del eje principal a un juego de polea y catalina, por ultimo una banda tipo A que transmite movimiento de un juego de piñón catalina hasta la polea de arrastre, como se muestra en la figura 94.

Figura 94. Sistema de transmisión de potencia.



Fuente: Autores

5.4.13 *Construcción de la tolva de salida.* Esta tolva dirigirá el fréjol desgranado hacia el lugar de salida la tolva funciona como guía resbaladiza porque es inclinada, como se muestra en la figura 95.

Figura 95. Tolva de salida



Fuente: Autores

5.4.14 *Ensamble de extractor de impurezas y caracol.* Estos elementos van unidos y soldados perfectamente para que la toma de aire extraiga todas las impurezas que pase por la tolva y pueda tener un producto limpio de impurezas, como se muestra en la figura 96.

Figura 96. Ensamble de extractor y el caracol



Fuente: Autores

5.4.15 *Proceso de pintado.* Una vez terminado de construir la maquina procedemos a pintar cada elemento, usamos fondo para que la pintura se concentre bien en el metal y tener un acabado perfecto, como se muestrara aen la figura 97.

Figura 97. Pintado de piezas de la máquina



Fuente: Autores

5.4.16 *Ensamblaje total.* La máquina armada en su totalidad, como se muestra en la figura 98.

Figura 98. Máquina desgranadora de fréjol seco.



Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

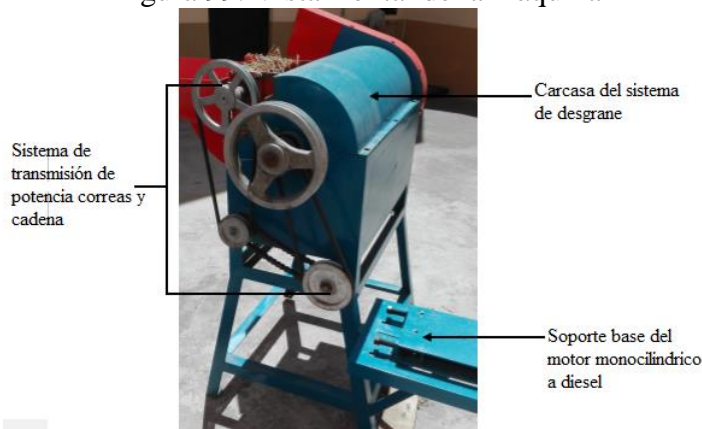
6. MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO

6.1 Manual de operación de la máquina

El manual de operación ayuda al operario de la máquina a tomar precaución al momento de puesta a marcha de la máquina, también indica las especificaciones y pasos a seguir durante el encendido y cuando esté trabajando la máquina desgranadora de fréjol seco.

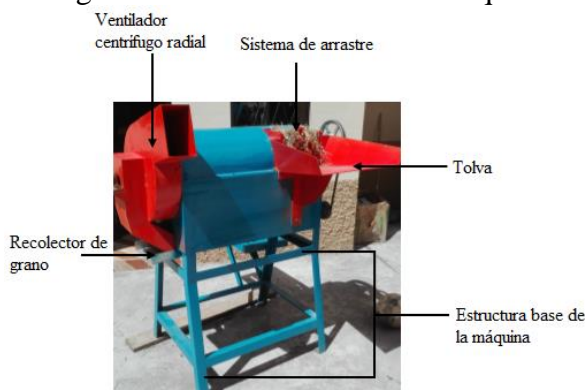
6.1.1 *Vista general de la máquina desgranadora de fréjol seco.* En la figura 99 y figura 100 se indica las vistas generales y sus partes de la máquina desgranadora de fréjol seco.

Figura 99. Vista frontal de la máquina



Fuente: Autores

Figura 100. Vista lateral de la máquina



Fuente: Autores

6.1.2 *Características de la máquina desgranadora de fréjol seco.* En la tabla 30 se indica las características generales las cuales es necesario saber para el operador de la máquina, para no forzar y no cometer errores al momento que esté trabajando la máquina desgranadora de fréjol seco.

Tabla 30. Características generales de la máquina

MÁQUINA DESGRANADORA DE FRÉJOL SECO	
<i>Características generales</i>	Dimensiones de la parte de la máquina: Alto hasta la tolva = 1.25 m Alto hasta el ventilador = 150 m Ancho = 1.75 m Largo = 1.50 m
	Capacidad de la máquina = entre 15 a 20 qq/h
	Materiales de construcción: Estructura base = Ángulos de Acero A36 Tamiz y tolva de recolección = Acero inoxidable AISI 304
	Motor de combustión interna mono cilíndrico a diésel de 10 HP
	Peso total de la máquina = 212.66 Kg

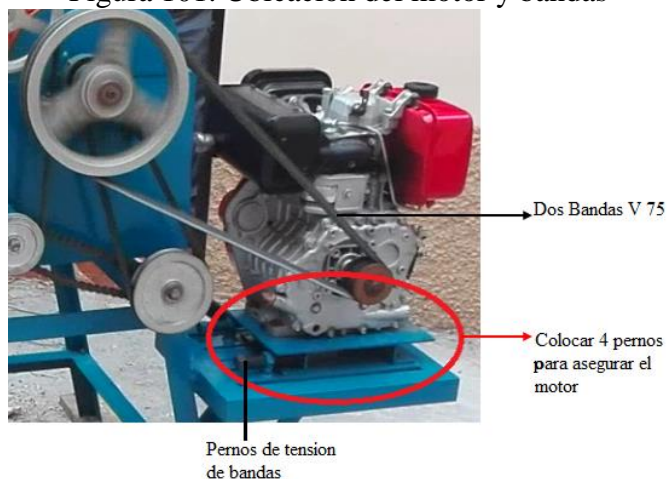
Fuente: Autores

6.2 Instalación de componentes de la máquina

Para que la máquina desgranadora de fréjol seco cumpla con su trabajo con mayor eficiencia, con esto no sufre daños en los componentes de la máquina, para esto se recomienda:

- Colocar la máquina en una superficie plan y amplia en el campo abierto, de modo que las cuatro patas de la estructura base quede en nivel.
- Colocar el motor mono cilíndrico a diésel en la base del motor, colocar las dos bandas V 75 en las poleas, como se indica en la figura 101.
- Para tensar las bandas se debe apretar los pernos tensores de la placa base del motor, la cual ayudara a tensar las correas del sistema de potencia.
- Revisar que la cadena este tensa, si está floja ajustar la rueda loca en la cual se encuentra un perno con un sistema de guía para tensar la cadena.

Figura 101. Ubicación del motor y bandas



Fuente; Autores

6.2.1 *Requisitos para puesta en marcha de la máquina.* Para poner en funcionamiento la máquina se debe hacer lo siguiente:

- Llenar de combustible diésel al motor mono cilíndrico.
- El piso sea estable y en un lugar a campo abierto.
- Usar orejeras y mascarilla.
- Tener apilado las guías de fréjol seco cerca de la máquina.



6.3 Instrucciones de operación de la máquina

Es el procedimiento que debe seguir el patrocinador u operario de la máquina desgranadora de fréjol seco, con esto se indica el proceso para la puesta en marcha de la máquina y para el proceso de desgrane.

6.3.1 *Puesta en marcha de la máquina.* En la tabla 31 indica los pasos a seguir para encender la máquina desgranadora de fréjol seco.

Tabla 31. Puesta en marcha

<p>Este detalle muestra los pernos tensores que se utilizan para ajustar la tensión de las bandas. Una etiqueta 'Pernos tensores' apunta a estos componentes.</p>	<p>1. Tensar las bandas del motor hacia el sistema de desgrane con los dos pernos que tiene la base del motor.</p>
---	--

<p>Válvula de ahogo</p> 	<p>2. Verificar que el motor tenga combustible Diésel, antes de encender poner la válvula de ahogo en posición horizontal.</p>
<p>Válvula de paso de combustible</p>  <p>Mecanismo de aceleración</p>	<p>3. Verificar que la válvula de paso de combustible este en posición horizontal y el mecanismo de aceleración este en posición máxima.</p>
	<p>3. Ubicar un saquillo en la parte de recolección del grano.</p>
<p>Jalar</p> 	<p>4. Encender el motor jalando de la piola o sistema de encendido. Ya cuando este encendido la máquina se debe manipular el mecanismo de aceleración para desacelerar hasta cuando se escuche un sonido constante.</p>

Fuente: Autores

- *Nota.* Al momento de encender la máquina verificar que no haya personas a lado de la máquina y mucho menos que estén apoyados para evitar posibles accidentes.

6.3.2 *Pasos para el proceso de desgrane con la máquina.* En la tabla 32 indica el procedimiento que deberán seguir los operarios de la máquina desgranadora de fréjol seco.

Tabla 32. Proceso de desgrane con la máquina

 <p>Bultos de guías de fréjol seco</p>	<p>1. Apilar las guías de fréjol seco cerca de la máquina, con esto ayuda a desgranar más rápido.</p>
	<p>2. Ubicar las guías de fréjol en la tolva, con la ayuda de una vara o palo empujar hacia dentro para evitar acumulación de guías en la tolva.</p>
	<p>3. Con la ayuda de un trabajador debe sostener el saquillo en la parte de recolección del grano para no tener pérdida de producto.</p>

Fuente: Autores

- *Nota.* Verificar que las guías de fréjol seco tengan un porcentaje de humedad no máximo de 15 %, también realizar el proceso de desgrane con la máquina un día soleado y que sea al medio día donde el sol se encuentra en lo más alto vertical a las personas.

6.4 Manual de mantenimiento de la máquina

La máquina desgranadora de fréjol seco, los elementos que conforman la máquina están en constante movimiento, debido a esto con el pasar del tiempo sus elementos y sistemas sufren desgaste y degradación por muchos factores debido al uso continuo de la máquina. Para esto se debe planificar un correcto mantenimiento de las piezas y sistemas que la

conforman, con esto asegurar un buen funcionamiento y garantizar la vida útil de la máquina.

En la tabla 33, se presenta la guía de mantenimiento para mantener la máquina desgranadora de fréjol seco en correcto funcionamiento.

Tabla 33. Guía de mantenimiento.

Tiempo de trabajo	Elementos de la máquina								Trabajo a realizar
	Motor	Poleas	Correas	Cadena	Cuchillas	Chumaceras	Recolector	Pernos	
D					X				Cortar las guías enredadas
							X		Limpieza de impurezas
	X								Revisar el combustible diésel
M			X						Tensionar
				X					Aceitar con aceites SAE 30
	X	X				X		X	Revisar y ajustar
					X				Afilar las cuchillas
T	X								Cambiar el aceite
						X			Engrasar
A						X			Cambiar rodamientos
	X								Revisión y reparación de calentamiento

Fuente: Autores

Donde:

D = Diario, todos los días.

M = Mensual, cada mes.

T = Trimestral, cada tres meses.

A = Anual, cada año.

6.5 Riesgos y medidas preventivas

Con la finalidad de que el operador de la máquina desgranadora de fréjol seco no sufra ningún accidente alguno, por lo cual es necesario identificar los posibles riesgos presentes en la máquina.

6.5.1 Riesgos físicos. Este tipo de riesgo se aplica a peligros donde intervienen máquinas y herramientas, superficies de trabajo, espacios cerrados, también donde intervienen ruido, vibración, iluminación, electricidad entre otras, debido a esto los riesgos físicos se dividen en dos como son riesgos mecánicos y riesgos no mecánicos.

6.5.1.1 Riesgos físicos Mecánicos. Este tipo de riesgo en el caso de la máquina desgranadora de fréjol seco se encuentra en la parte de la transmisión de potencia debido que se encuentra sin protección.

Figura 102. Riesgo de atrapamiento



Fuente: <http://www.serior.com/productos/2/12/?page=2>

No acercarse a la máquina en la parte de la transmisión debido que se encuentra en velocidades altas, las cuales pueden producir atrapamiento.

Figura 103. Transmisión de potencia en movimiento



Fuente: Autores

Existe riesgo físico mecánico en el proceso de abastecimiento de guías de fréjol a la máquina.

Figura 104. Abastecimiento de guías de fréjol



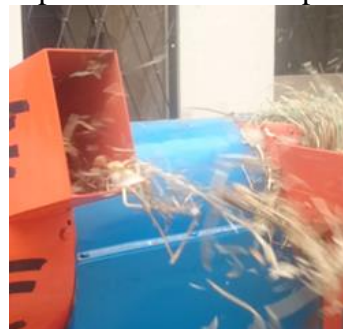
Fuente: Autores

Como indica la figura 104 el sistema de arrastre tiene aletas las cuales están girando 272 rpm la cual es peligroso para el operador de la máquina, para evitar este riesgo utilizar una vara como elemento para empujar los bultos de guía de fréjol hacia el interior de la máquina.

6.5.1.2 Riesgos físicos no mecánicos. Este tipo de riesgo físico se encuentra en el ruido que provoca el motor de combustión interna mono cilíndrico a diésel, para trabajos más de 1 horas es necesario utilizar orejeras para evitar posibles lecciones en la vía auditiva.

- Existe riesgo físico no mecánico en la parte del ventilador centrífugo radial, el cual expulsa desechos producidos por el desgrane de guías y vainas, como se indica en la figura 105.

Figura 105. Expulsión de desechos por el ventilador



Fuente: Autores

Para evitar posibles lesiones nasales es necesario utilizar mascarillas o pañuelos para tapar la nariz y boca.

6.6 Análisis de costos

Se detalla todos los gastos requeridos para la fabricación de la máquina desgranadora de fréjol seco, están basados en tres parámetros fundamentales como son costos directos, costos indirectos y costos ingenieriles.

6.6.1 Costos directos. Para esta sección se especifica todos los gastos hechos por materia prima y materiales utilizados para la fabricación de la máquina, como se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Costos directos.

Unidad	Descripción	Valor Unitario (dólar)	Valor Total (dólar)
1	Motor mono cilíndrico de 10 HP	\$ 550,00	\$ 550,00
1	Eje solido de 1½ in de 3 m	\$ 50,00	\$ 50,00
1	Polea de doble canal en V de Ø29cm	\$ 75,00	\$ 75,00
1	Polea de aluminio con canal en V de Ø20 cm	\$ 15,00	\$ 15,00
3	Angulo de 2x2x1/4	\$ 24,27	\$ 72,81
1	Plancha negra de 3mm (4x8)	\$ 45,44	\$ 45,44
1	Plancha perforada de acero inoxidable A304 de 2mm de diámetro de agujero 15 mm	\$ 140,00	\$ 140,00
1	Plancha de acero inoxidable A304 de 2mm	\$ 80,00	\$ 80,00
10	Libra de suelda AGA 6011 1/8 in	\$ 2,00	\$ 20,00
8	Disco grande de corte Nortto	\$ 2,00	\$ 16,00
1	Platina de 1 in	\$ 8,50	\$ 8,50
1	Platina de 1/2in	\$ 5,00	\$ 5,00
1	Platina de 1 x ½	\$ 15,00	\$ 15,00
6	Pernos acerados de 3/8x1/2 in	\$ 0,25	\$ 1,50
4	Pernos acerados de 1/4 x ½ in	\$ 0,50	\$ 2,00
6	Pernos acerados de 3/8 x 1 in	\$ 0,50	\$ 3,00
8	Pernos acerados de 3/8 x 2 in	\$ 0,75	\$ 6,00
2	Pernos acerados de ½ x 3*1/2 in	\$ 1,25	\$ 2,50
1	½ Litro de pintura anticorrosiva color celeste	\$ 10,00	\$ 10,00
1	¼ Litro de pintura anticorrosiva color naranja	\$ 10,00	\$ 10,00
1	¼ Litro de pintura anticorrosiva color amarillo Caterpillar	\$ 10,00	\$ 10,00
TOTAL			\$ 1137,75

Fuente: Autores

6.6.2 Costos indirectos. Para esta sección se muestra el costo por máquinas y herramientas que se utilizaron para la construcción de los elementos mecánicos, los cuales se especifica el proceso que se hizo en cada máquina y el costo que tiene por cada conformado de la pieza, como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Costos indirectos

Cantidad	Elemento	Descripción	Costo
1	Eje solido principal	Torneado y rebajado para acoplar polea y rodamiento	\$ 45,00
1	Eje solido de arrastre	Torneado y rebajado para acoplar rodamiento de pared	\$ 35,00
1	Cilindro principal	Embocinado y rectificado en el torno	\$ 60,00
1	Cilindro de arrastre	Embocinado y rectificado en el torno	\$ 40,00
1	Rolado de la tapa de la máquina	Rolado en plancha de 3mm	\$ 20,00
2	Poleas mixtas con catalinas	Torneado y fresado adecuadamente	\$ 150,00
1	Mano de obra	Soldar, cortar y ensamblar la maquina desgranadora de fréjol	\$ 900,00
	Viáticos	Pasaje comida durante el proceso de construcción	\$ 200,00
Total:			\$ 1.450,00

Fuente: Autores

6.6.3 Costos ingenieriles. Para esta sección se indica los costos utilizados para la investigación de campo, debido que se necesita información del producto que se va a utilizar, también la investigación de máquinas que cumplan esta función de desgranar el fréjol seco, como se muestra en la tabla 36.

Tabla 36. Costos de investigación.

Números de horas	Descripción	Valor unitario	Valor total
3	Investigación de campo	\$ 50,00	\$ 150,00
150	Investigación de internet	\$ 0,80	\$ 120,00
1	Impresiones de planos	\$ 65,00	\$ 65,00
Total:			\$ 335,00

Fuente: Autores

6.6.4 Gasto total. En esta sección se muestra el costo que tendrá la máquina para su diseño, construcción y montaje, como se muestra en la tabla 37.

Tabla 37. Gastos totales.

Cantidad	Descripción	Valor total
1	Costos directos	\$ 1.047,75
1	Costos indirectos	\$ 1.450,00
1	Costos ingenieriles	\$ 335,00
Total:		\$ 2.922,75

Fuente: Autores

CAPITULO VII

7. RESULTADOS Y PRUEBAS

Los resultados dependen mucho del tipo de guías, el número de vainas por guías y el número de granos que contengan cada guía, para esto se analiza el desgrane en bruto, el desgrane con solo vainas y por último se compara los resultados obtenidos de acuerdo al método de desgrane bien sea manual o con máquina, con el fin de demostrar los beneficios de tener una máquina para el proceso de desgrane de fréjol seco.

7.1 Desgrane en bruto

Este tipo de desgrane se refiere a la materia prima que se utiliza para desgranar, es decir que se introduce a la máquina las plantas recién cosechadas las cuales deben tener un porcentaje de humedad no máximo de 15 %, las cuales el producto que sirve de desgrane en la máquina tienen guías, vainas y sogas.

Factores que ingresa a la máquina:

- Guías
- Vainas
- Piolas
- Granos
- Montes

Datos técnicos de la materia prima:

- Número promedio de vainas por guías = 11 a 16.
- Número de grano por guías = 4 a 5.
- Peso en 100 granos secos = 48 a 55 gramos.

En la tabla 38 se indica el resultado obtenido experimentalmente con la máquina desgranadora de fréjol seco, el cual se toma 6 lecturas en un tiempo de 1 minuto, donde los factores que entran a la máquina son guías, vainas a una temperatura de 15% de humedad el cual es un dato obtenido por los fabricantes de estas máquinas, la cual ayuda al desprendimiento del grano.

Tabla 38. Desgrane de guías experimental con máquina

N°	(N° de guías desgranado)/min	$\frac{kg}{min}$	$\frac{kg}{h}$	$\frac{qq}{h}$	$\frac{qq}{día}$
1	40	0,36	21,6	0,48	3,81
2	40	0,85	51	1,12	9,00
3	40	0,98	58,8	1,30	10,37
4	40	0,76	45,6	1,01	8,04
5	40	0,54	32,4	0,71	5,72
6	40	0,62	37,2	0,82	6,56

Fuente: Autores

Los resultados qq/h varían de acuerdo al número de vainas que contiene cada guía, ya que esto depende del tipo de cuidado que tuvo durante la madurez de la planta, por esto cada guía varía el número de vainas y también el número de granos por vaina.

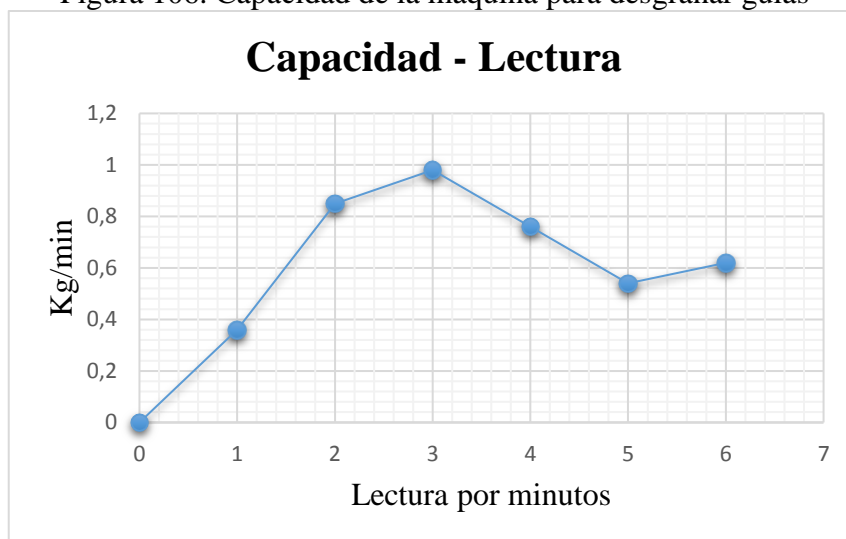
Número de qq/h promedio obtenido por la máquina desgranadora.

$$Quintales\ hora\ promedio = \left(\frac{0.48 + 1.12 + 1.30 + 1.01 + 0.71 + 0.82}{6} \right) qq/h$$

$$Quintales\ hora\ promedio = 0.91\ qq/h$$

En la figura 106 indica la capacidad que desgrana la máquina desgranadora de fréjol seco por minutos, la cual son datos experimentales tomados a lazar en un minuto.

Figura 106. Capacidad de la máquina para desgranar guías



Fuente: Autores

7.2 Desgrane clasificado solo vaina

Este tipo de desgrane se refiere a la materia prima que se utiliza para desgranar, es decir que se introduce a la máquina solo vainas, las cuales deben tener un porcentaje de humedad no máximo de 15 %.

Factores que ingresa a la máquina

- Vainas
- Granos

Datos experimentales analizados en el desgrane:

Donde:

n_b = Número de baldes a desgranar por minuto = 4

V_b = Volumen del balde = 20 L = 20000 cm³

V_f = Volumen del fréjol en vaina = 9.43 cm³

El número de vaina desgranada por minuto se calcula con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{n_b * V_b}{V_f} \quad (136)$$
$$n = \frac{4 * 20000}{9.43} = 8483.6 \text{ vainas}$$

Debido que las vainas tienen forma irregular por tal motivo no ocupan todos los espacios en el balde de carga, debido a esto se resta 500 cm³ por cada balde los cuales son el volumen vacío.

$$n = (8483.6 - 2000) \text{ vainas} = 6483 \text{ vainas}$$

En la tabla 39 se indica el resultado obtenido experimentalmente con la máquina desgranadora de fréjol seco utilizando para desgranar solo vainas, la cual debe tener un contenido aproximado del 15% de humedad el grano se marca con la presión con la uña, se debe tener precaución en este parámetro para no dañar el producto.

Tabla 39. Desgrane de solo vaina experimental con máquina

N°	vainas/min	$\frac{kg}{min}$	$\frac{lb}{min}$	$\frac{qq}{h}$
1	6000	14,9	32,85	19,71
2	6050	12,3	27,12	16,27
3	6100	14,25	31,42	18,85
4	6150	9,12	20,11	12,07
5	6200	14,35	31,64	18,99
6	6250	15,4	33,96	20,37

Fuente: Autores

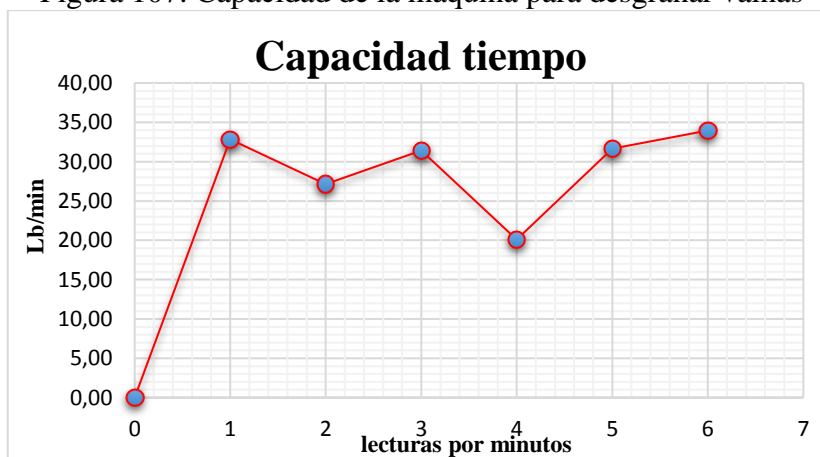
Número de qq/h promedio en vainas mezcladas.

$$\text{Quintales hora promedio} = \left(\frac{19.71 + 16.27 + 18.85 + 12.07 + 18.99 + 20.37}{6} \right) qq/h$$

$$\text{Quintales hora promedio} = 17.71 qq/h$$

En la figura 107 se indica la capacidad de la máquina para desgranar solo vainas en 1 minuto, el cual se ha tomado 6 lecturas a lazar en un minuto.

Figura 107. Capacidad de la máquina para desgranar vainas



Fuente: Autores

7.3 Comparación entre el desgrane por aporreo y desgrane con máquina

Datos técnicos del productor de fréjol seco de la parroquia Pinllopata en rendimiento de cosecha y desgrane por persona mediante el método por aporreo.

- Libras desgranadas por hora = 20Lb
- Tiempo de trabajo diario (11am –5pm) = 6h

En la tabla 40 indica la capacidad de desgrane de fréjol seco mediante dos métodos, el cual el método de aporreo se utiliza en la parroquia Pinllopata.

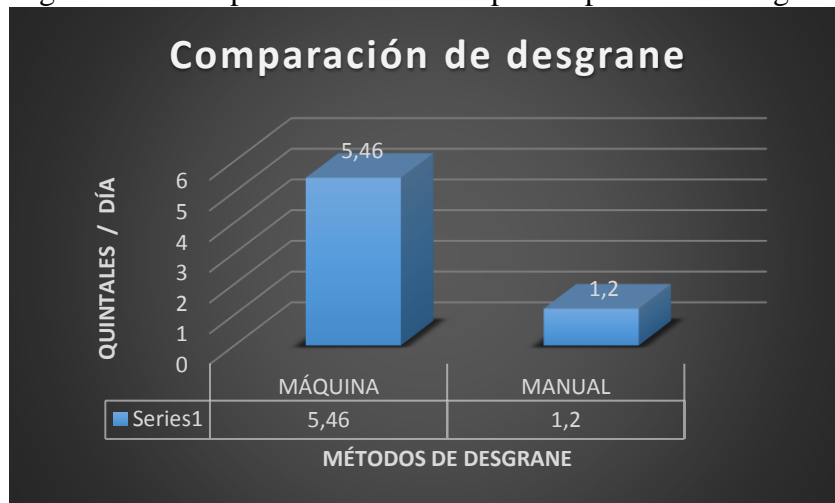
Tabla 40. Comparación de desgrane por método

Método	$\frac{Lb}{h}$	$\frac{qq}{día}$
Máquina	91	5.46
Manual	20	1.20

Fuente: Autores

En la figura 108 indica la comparación gráficamente entre el desgrane por máquina y el desgrane manual, el cual ayuda a verificar los beneficios que tiene utilizar una máquina para realizar el proceso de desgrane de fréjol seco.

Figura 108. Comparación de método para el proceso de desgrane



Fuente: Autores

Como podemos observar la comparación entre el desgrane manual y el desgrane con máquina es recomendable utilizar una máquina desgranadora de fréjol seco, la cual nos indica que tendrá 5 veces más quintales en un día laborable de 6 horas.

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Se ha investigado todo el funcionamiento y las componentes de las máquinas de desgranado de fréjol seco que encontramos en el mercado "internacional" mediante el estado del arte de todas las máquinas desgranadoras de fréjol que existen en la actualidad, desde las máquinas artesanales hasta máquinas industriales tecnificadas con el fin de obtener un diseño que cumpla con los requisitos mínimos pedidos por el beneficiario.
- Después de analizar estado de arte la máquina consta de un sistema de un rodillo desgranador soldado con martillos despedazadores en forma de tornillo sin fin que despedaza y transporta el desecho hacia el ventilador centrífugo radial que se encarga de expulsar los desechos.
- El uso del software Solidworks 2015 nos permitio tener una geometria adecuada y estabilizada para cada elemento encaje perfectamente mediante los planos elaborados de cada elemento que conforma en la máquina desgranadora de fréjol y así tener una vista estética de la máquina a construir.
- El software Solidworks 2015 permitio realizar simulaciones y analisis de los coeficientes de seguridad en todos los ejes para poder tener la seguridad perfecta del funcionamiento.
- Una vez hecho los analisis de diseño pertinentes y los planos de la máquina desgranadora de fréjol, la construccion se lo ha hecho de una forma rapida, segura y precisa.
- La máquina desgranadora de fréjol funciona correctamente cumpliendo con todos los requerimientos necesarios, tanto como, para protección del operador de la máquina como para el personal necesario que se encuentra trabajando en el proceso de desgrane del fréjol seco.

8.2 Recomendaciones

- Se recomienda que el producto de fréjol que va a ser desgranado sea secado hasta que tenga una humedad máxima al 20% de humedad, debido que la máquina está diseñada para cortar las guías de fréjol para una resistencia de 3kgf y si se supera este rango se podría haber atascamiento en el eje de desgrane.
- El operador debe cumplir las normas mínimas de seguridad industrial como usar guantes, mascarillas y tapones de oído.
- Se recomienda que el operador revise todo el manual de operaciones de la máquina desgranadora fréjol antes de poner en funcionamiento.
- Se recomienda que este proyecto de titulación es un principio para el desarrollo de las máquinas agrícolas como iniciativa para el proceso productivo que se encuentra encaminado a nuestro país y podemos fabricarlo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTIN. *Los chutes o tolvas* [En línea]. Arequipa - Peru, 2015. [Consulta: 01 diciembre 2015]. Disponible en: <<http://es.slideshare.net/mauricioantonio1291/tolvas>>.

BIBLIOTECA VIRTUAL LUIS ÁNGEL ARANGO. *Funcionamiento del motor de combustión interna* [en línea]. Bogota - Colombia, 2005. [Consulta: 15 diciembre 2015]. Disponible en: <<http://www.banrepcultural.org/node/92121>>.

CAMACHO YANEZ, Miguel Fredy. *Estudio del sistema mecánico aplicado al desgranado de maíz suave seco para mejorar tiempos de producción en el cantón san miguel provincia de bolívar* [En línea] (tesis). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.pp.18-20. [Consulta:15 diciembre 2015]. Disponible en: <<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1267/1/Tesis%20I.%20M.%20112%20-%20Y%C3%A1nez%20Camacho%20Fredy%20Miguel.pdf>>.

DIRECTINDUSTRY. *Correa de Transmisión Industrial* [En línea]. Argentina, 2000. [Consulta: 09 enero 2016]. Disponible en: <http://www.elementosindustriales.com/web/pdf/jason/Correas_Dunlop.pdf>.

ALVARADO S. Juan S. *El Frijol: Cultivo, Plagas e importancia* [En línea]. Universidad de Santander (UDES), Colombia, 2002. pp. 1-2. [Consulta: 25 enero 2016]. Disponible en: <<https://plagas-de-importancia.wikispaces.com/file/view/Articulo+cultivo+del+Frijol.pdf>>.

El MAQTRON Importación y Exportación Ltd. *Desgranadoras de cereales* [En línea]. Brasil, 1995. [Consulta: 30-01-2016]. Disponible en: <http://www.vencedoramaqtron.com.br/site/espanhol/aempresa_informacao.php>.

VILLAMIL GARCÍA Enrique, & GARCÍA HERNÁNDEZ Miguel J. *Introducción al proyecto de ingeniería* [En línea]. Universidad de Buenos Aires UBA, Buenos Aires, 2003. pp. 1-2. [Consulta: 02-02-2016]. Disponible en: <<http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/introduccion-al-proyecto-de-ingenieria>>.

EDILBERTO RINCÓN, Juan. *Estado del arte: desgranadora de maíz* [En línea]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2009. pp 11-12. [Consulta: 25-01-2016]. Disponible en <tallerdeproyectosinterdisciplinarios.wikispaces.com/file/view/Estado+del+arte.docx>

FAG. *Rodamiento de bolas, Rodamiento de rodillos* [En línea]. Alemania, 2000. pp 30-200. [Consulta: 02-06-2016]. Disponible en: <<http://www.baleromex.com/catalogos/C-FAG.pdf>>.

FALCÓN Silva. *Máquina desgranadora de fréjol* [En línea]. Colombia, 2015. Disponible en: <<https://plus.google.com/106759341146257461757>>.

FLORES, ING. Verónica. *Elementos de Transmisión de Potencia Mecánica* [En línea]. España, 2010. págs. 1-43. [Consulta: 25-02-2016]. disponible en: <<http://es.slideshare.net/vfloresg/elementos-de-transmisin-de-potencia-mecnica>>.

INDUSTRIAS UNITOOL LTDA. *Desgranadora de maíz y frijol* [En línea]. Colombia, 2010. Disponible en: <<http://industriasunitool.com/image.ashx?i=98428.pdf&fn=>>.

INFANTE, Celi. *El motor de combustión interna* [En línea]. Argentina, 2009. Disponible en: <<https://es.scribd.com/doc/17297785/MOTORES-DE-COMBUSTION-INTERNA>>

INGEMECÁNICA. *Correas de Transmisión. Cálculo y Diseño* [En línea]. Mexico, 2012. pp. 1-5. Disponible en: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>>

GARCÍA Flores Rodolfo. *Ingeniería concurrente y tecnologías de la información* [En línea]. México, 2004. pp. 39-43. [Consulta: 05-06-2016]. Disponible en: <<http://ingenierias.uanl.mx/22/ingenieriaconcu.PDF>>

INIAP. *Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas* [En línea]. Quito, 2010. pp 22-29. Disponible en <<http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>>.

8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA. *Máquina desgranadora de arveja y frijol* [En línea]. Medellín, Colombia, 2007. pp. 1-2. [Consulta: 30-02-2016]. disponible en: <<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/14/14-04.pdf>>

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA DE CUBA (MINAG) Y EL PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. *Postcosecha del grano de frijol, prácticas alternativas para su manejo* [En línea]. La Habana : Lilian Sabina Roque, 2014 pp. 9-26. [Consulta: 20-02-2016]. Disponible en: <<http://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/Desarrollo%20humano/Palma-Agrocadenas/Poscosecha%20de%20granos-Folleto.pdf>>

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas-Un enfoque integrado.4ª ed. *Mexico* : Sergio Saldaña, 2005 pp 428-436.

RED SICTA. *Validación a escala comercial de la máquina trilladora de frijol* [En línea]. Nicaragua, 2009. Disponible en: < <http://repiica.iica.int/docs/B2239e/B2239e.pdf> >

SCHAEFFLER. *Rodamientos insertables y soportes* [En línea] FAC. [Consulta: 13 de 07 de 2016.]. Disponible en: http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_219_es__es.pdf.

SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO (SENPLADES). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pangua* [En línea]. Cotopaxi, 2014. Disponible en: < http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0560017780001_DIAGNOSTICO%20PDyOT%20PINLLOPATA_15-05-2015_11-06-06.pdf >

GUDYNAS Richard & NISBETT Keith. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.8ª ed. Mexico : Miguel Angel Rios, 2008 pp. 346-913.

TARIRA OCHOA Emilio José. *Evaluación agronómica de 120 cultivares de fréjol arbustivo (phaseolus vulgaris l.) En la zona de taura, provincia del guayas* (tesis). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2013 pp. 20-30.