

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESVAINADORA DE
FRÉJOL SECO”

AUTOR: LUIS HERNÁN ÁLVAREZ JÁTIVA

DIRECTOR: ING. CARLOS VILLARREAL

IBARRA – ECUADOR

JULIO - 2014



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad:	100227367 - 8
Apellidos y Nombres:	Álvarez Játiva Luis Hernán
Dirección:	San Juan Bosco s/n y Obispo Mosquera, Chaltura
Email:	luis_hernan@hotmail.es
Teléfono Fijo:	062533187
Teléfono Móvil:	0982554419

DATOS DE LA OBRA	
Título:	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO"
Autor:	Álvarez Játiva Luis Hernán
Fecha:	21 de Julio del 2014
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniería en Mecatrónica
Director:	Ing. Carlos Alfonso Villarreal Bolaños

Firma

Nombre: Álvarez Játiva Luis Hernán

Cedula: 1002273678

Ibarra, 21 de Julio del 2014

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Álvarez Játiva Luis Hernán, con cédula de identidad Nro. 100227367 - 8, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

Firma



Nombre: Álvarez Játiva Luis Hernán

Cedula: 1002273678

Ibarra, 21 de Julio del 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Álvarez Játiva Luis Hernán, con cédula de identidad Nro. 100227367 - 8, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO"**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA MECATRÓNICA**, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Álvarez Játiva Luis Hernán

Cédula: 100227367 - 8

Ibarra, 21 de Julio del 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros

En la ciudad de Ibarra, 21 de Julio del 2014

EL AUTOR:

Luis Hernán Álvarez Játiva

C.I.: 100227367 - 8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Álvarez Játiva Luis Hernán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado calificación profesional; y certifica la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Álvarez', is written over a horizontal line.

ÁLVAREZ JÁTIVA LUIS HERNÁN

C.I.: 100227367 – 8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

En calidad de Director de Trabajo de Grado, presentado por el señor Álvarez Játiva Luis Hernán, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado por mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Carlos Alfonso Villarreal Bolaños', is written over a horizontal line.

Ing. Carlos Alfonso Villarreal Bolaños

DIRECTOR DE PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado está dedicado a mi familia, que con su apoyo incondicional, han hecho posible el culminar exitosamente mi carrera profesional, a mi madre Mery Játiva por su confianza y sustento, durante todos estos años como estudiante, a mi abuelita Beatriz Vásquez, que en paz descansa, quien fue un pilar en mi desarrollo personal y me siento bendecido por ello, a mi padre Hernán Álvarez quién me enseñó la disciplina y rectitud, a mis hermanas Mery Álvarez y María Sol Álvarez, a mis sobrinos María Sol Villegas, Nicolás Flores y a mi sobrino que está en camino, quienes han sido y serán un empuje en mi vida.

A todos mis amigos y colegas universitarios, con quienes se han compartido buenos y duros momentos en este largo proceso como estudiantes.

Luis Hernán Álvarez Játiva



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta tan anhelada en mi vida, por medio del apoyo de mis padres Mery y Hernán, ya que sin ellos nada fuese tan bueno.

Por supuesto agradezco a mi familia que siempre han confiado en mí y han estado presentes apoyándome durante estos años de estudio.

Como no agradecer a la Universidad Técnica del Norte, a sus autoridades, su personal administrativo y docente quienes han demostrado que lo más importante es el desarrollo personal y profesional de los estudiantes, que durante el transcurso de mi carrera me han brindado un lugar acogedor y lleno de respeto que se ha transformado en mi segundo hogar.

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la Sra. Mery Páez a quien estimo y admiro por ser una persona trabajadora y de bien, que siempre está pendiente del bienestar de los estudiantes.

Además agradezco al Ing. Carlos Villarreal quién ha estado día a día en proceso de la realización de mi tesis, con sus aportes y conocimientos tan importantes que han hecho posible culminar el presente proyecto.

A todos mis amigos que han contribuido en mi vida personal, haciendo que yo sea una persona de bien y siga el camino de valores y responsabilidad.

Luis Hernán Álvarez Játiva

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iv
CONSTANCIA.....	v
DECLARACIÓN	vi
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xxii
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxv
PRESENTACIÓN	xxvi
CAPÍTULO I	1
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL FRÉJOL EN EL NORTE DEL ECUADOR.....	3
1.2.1 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN.....	3
1.2.1.1 Productivos de Fréjol en Imbabura	6
1.2.2 COMERCIALIZACIÓN	11
1.2.2.1 Productores Tipo 1: sin seguridad de venta, sin afiliación a una organización, mercado de destino local y nivel tecnológico bajo	12
1.2.2.2 Productores Tipo 2: sin seguridad de venta, sin afiliación a una organización, mercado de destino local y de exportación y nivel tecnológico medio 12	
1.2.2.3 Productores Tipo 3: con relativa seguridad de venta, sin afiliación a una organización, mercado de destino de exportación y nivel tecnológico alto	13
1.3 CARACTERÍSTICAS DEL FRÉJOL SECO	14

1.3.1	VARIETADES DE FRÉJOL EN EL ECUADOR	14
1.3.1.1	Fréjol Arbustivo	14
1.3.1.2	Fréjol Voluble o Trepador.....	17
1.4	PROCESO AGROINDUSTRIAL DEL FRÉJOL	18
1.4.1	COSECHA:	19
1.4.2	CLASIFICACIÓN DE VAINA HÚMEDA Y VAINA SECA.....	19
1.4.3	PROCESO DE DESVAINADO DEL FRÉJOL SECO	19
1.4.4	LIMPIEZA Y SELECCIÓN.....	20
1.4.5	ALMACENAMIENTO.....	20
1.4.6	COMERCIALIZACIÓN	20
1.5	INVESTIGACIÓN DE MÁQUINAS DESVAINADORAS DE FRÉJOL SECO 21	
1.5.1	MEDIANTE RODILLOS.....	21
1.5.2	MEDIANTE PALETAS.....	22
	CAPÍTULO II.	25
	PREDISEÑO DE LA MÁQUINA	25
2.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO	25
2.1.1	FUENTE DE ENERGÍA.....	25
2.1.2	CAPACIDAD	26
2.1.3	TIEMPO DE PROCESO.....	26
2.1.4	OPERACIÓN.....	26
2.1.5	CALIDAD Y SALUBRIDAD DEL PRODUCTO	26
2.1.6	TAMAÑO DE LA MÁQUINA.....	26
2.1.7	MATERIALES A UTILIZAR	27
2.1.8	SEGURIDAD.....	27
2.1.9	ERGONOMÍA.....	27
2.1.10	FACILIDAD DE OPERACIÓN.....	27
2.1.11	MANTENIMIENTO.....	27
2.1.12	COSTO DE LA MÁQUINA	28
2.2	ALTERNATIVAS DE DISEÑO, SELECCIÓN DE ALTERNATIVA Y DE SUS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS	28
2.2.1	ALTERNATIVA DE DISEÑO 1	28

2.2.1.1	Ventajas	29
2.2.1.2	Desventajas	30
2.2.2	ALTERNATIVA DE DISEÑO 2	30
2.2.2.1	Ventajas	31
2.2.2.2	Desventajas	31
2.2.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE DISEÑO Y DE SUS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS	31
2.2.3.1	Selección de los elementos constitutivos	37
2.2.3.1.1	Aceros Inoxidables	37
2.2.3.1.2	Eje de acero inoxidable AISI 304	38
2.2.3.1.3	Tubo estructural cuadrado Norma ASTM A-500 GRADO A	38
2.2.3.1.4	Plancha de acero laminada al caliente Norma ASTM A-588M GRADO A	39
2.2.3.1.5	Plancha de acero inoxidable Norma AISI 304	39
2.2.3.2	Selección de los componentes mecánicos	40
2.2.3.2.1	Sistema de transmisión	40
2.2.3.2.2	Bandas de transmisión	43
2.2.3.2.3	Cojinetes con contacto de rodadura	46
2.3	CARACTERÍSTICAS GENERALES	51
	CAPÍTULO III.	53
	DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS SISTEMAS DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO	53
3.1	DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO	53
3.1.1	ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA	53
3.1.1.1	Tolva de alimentación	54
3.1.1.1.1	Cálculo de la estructura de la zona de carga del producto	54
3.1.1.1.2	Cálculo del espesor de la plancha que cubre la zona de carga del producto	63
3.1.1.1.3	Selección de la estructura de la cavidad de entrada	66
3.1.1.1.4	Cálculo de columnas	67
3.1.1.2	Zona del sistema de desvainado de fréjol seco y zona contenedora del motor	72
3.1.1.3	Zona de salida del grano de fréjol seco y zona de salida de la vaina ..	76

3.1.1.4	Análisis Estático de la Estructura de la Máquina mediante SOLIDWORKS PROFESIONAL.....	77
3.1.2	Diseño del sistema de desvainado.....	81
3.1.2.1	Selección del tubo cédula 40	82
3.1.2.2	Diseño de las paletas de impacto	82
3.1.2.3	Diseño del ventilador de centrifugado.....	83
3.1.2.4	Diseño de la malla filtradora.....	84
3.1.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	85
3.1.3.1	Motor.....	85
3.1.3.2	Eje de transmisión, polea motriz y polea conducida	97
3.1.3.2.1	Diseño del eje de transmisión.....	97
3.1.3.2.2	Diseño de la polea motriz y polea conducida	110
3.1.3.3	Selección de cojinetes con contacto de rodadura.....	112
3.1.3.4	Diseño de cuñas	116
3.2	DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	120
3.2.1	ARRANCADORES.....	121
3.2.2	PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS.....	123
3.2.2.1	Relevador de estado sólido para sobrecargas.....	124
3.2.3	CAJAS PARA CONTROLES DE MOTOR	124
3.3	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	125
3.3.1	Unidad programable de control	125
3.3.2	Selección del Microcontrolador	127
3.3.3	SELECCIÓN DEL SENSOR	131
3.4	PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 8.....	133
3.4.1	FLUJOGRAMA DE LA PROGRAMACIÓN.....	133
3.4.2	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	134
3.4.3	DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN.....	134
3.4.4	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO.....	134
3.5	INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	135
3.5.1	ESQUEMA DE CONEXIONES	135
	CAPÍTULO IV.....	136

CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO	136
4.1 CONSTRUCCIÓN	136
4.1.1 MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS.....	136
4.1.1.1 Maquinaria	136
4.1.1.2 Herramientas	137
4.2 EQUIPO DE SEGURIDAD	138
4.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA 138	
4.2 MONTAJE FÍSICO DE LOS SISTEMAS DE LA MÁQUINA	139
4.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL.....	140
4.4 MONTAJE Y SINCRONIZACIÓN DE ACTUADORES	140
4.5 PRUEBAS Y AJUSTES.....	141
4.6 TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	142
4.6.1 RPM ÓPTIMAS DE DESVAINADO.....	142
4.6.1.1 Pruebas realizadas en base a la calidad del grano del fréjol seco.....	143
4.6.1.2 Pruebas realizadas en base a la producción de la máquina desvainadora de fréjol seco.....	144
4.7 COMPARACIÓN DEL TIEMPO ENTRE EL PROCESO DE DESVAINADO MANUAL Y UTILIZANDO LA MÁQUINA.....	145
CAPITULO V	147
ANÁLISIS DE COSTOS	147
5.1 COSTOS DIRECTOS.....	147
5.1.1 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....	147
5.1.2 SISTEMA DE DESVAINADO	148
5.1.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	148
5.1.4 SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL	149
5.1.5 COSTOS DE FABRICACIÓN.....	149
5.2 COSTOS INDIRECTOS	149
5.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA	150
5.4 5.4 CÁLCULO DEL VAN Y DEL TIR	151
CONCLUSIONES.....	153
RECOMENDACIONES	154
BIBLIOGRAFÍA	155

REFERENCIAS.....	156
ANEXOS DE TABLAS Y FIGURAS	157
ANEXOS DE FOTOGRAFÍAS.....	172
ANEXOS DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	184
ANEXO PLANOS MECANICOS Y ELECTRICOS	196

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1. 1 Tabla de superficie, producción y rendimiento de fréjol seco en Imbabura.....	4
Tabla 1. 2 Tabla de superficie, producción y rendimiento de fréjol tierno en Imbabura	5
Tabla 1. 3 Variedades mejoradas de fréjol arbustivo	16
Tabla 1. 4 Variedades mejoradas del fréjol voluble o trepador	18

CAPITULO II

Tabla 2. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio de la selección de alternativa33	
Tabla 2. 2 Evaluación del peso específico del criterio tiempo	34
Tabla 2. 3 Evaluación del peso específico del criterio capacidad.....	34
Tabla 2. 4 Evaluación del peso específico del criterio costo.....	34
Tabla 2. 5 Evaluación del peso específico del criterio ergonomía.....	35
Tabla 2. 6 Evaluación del peso específico del criterio seguridad.....	35
Tabla 2. 7 Evaluación del peso específico del criterio producto.....	35
Tabla 2. 8 Evaluación del peso específico del criterio desechos	36
Tabla 2. 9 Evaluación del peso específico del criterio tamaño.....	36
Tabla 2. 10 Tabla de conclusiones de selección de alternativa	36
Tabla 2. 11 Características mecánicas del acero inoxidable	37
Tabla 2. 12 Características mecánicas del eje acero inoxidable AISI 304	38
Tabla 2. 13 Características mecánicas del tubo estructural cuadrado ASTM A-500 Grado A	38
Tabla 2. 14 Características mecánicas de la plancha de acero laminada al caliente Norma ASTM A-588 GRADO A	39
Tabla 2. 15 Características mecánicas de la plancha de acero inoxidable Norma AISI 304	39
Tabla 2. 16 Evaluación del peso específico de cada criterio del sistema de transmisión. 41	
Tabla 2. 17 Evaluación del peso específico del criterio reducción.....	41
Tabla 2. 18 Evaluación del peso específico del criterio costo bajo.....	41
Tabla 2. 19 Evaluación del peso específico del criterio ensamblaje	42
Tabla 2. 20 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	42
Tabla 2. 21 Tabla de conclusiones de sistema transmisión.....	42
Tabla 2. 22 Evaluación del peso específico de cada criterio de las bandas de transmisión	43
Tabla 2. 23 Evaluación del peso específico del criterio fricción	44
Tabla 2. 24 Evaluación del peso específico del criterio resistencia.....	44
Tabla 2. 25 Evaluación del peso específico del criterio transmisión	44
Tabla 2. 26 Evaluación del peso específico del criterio costo	45
Tabla 2. 27 Tabla de conclusiones de bandas de transmisión.....	45
Tabla 2. 28 Evaluación del peso específico de cada criterio de los cojinetes con contacto de rodadura	47

Tabla 2. 29 Evaluación del peso específico del criterio carga radial	47
Tabla 2. 30 Evaluación del peso específico del criterio empuje	48
Tabla 2. 31 Evaluación del peso específico del criterio lubricación	48
Tabla 2. 32 Evaluación del peso específico del criterio costo	49
Tabla 2. 33 Evaluación del peso específico del criterio accesibilidad	49
Tabla 2. 34 Evaluación del peso específico del criterio auto alineamiento	50
Tabla 2. 35 Tabla de conclusiones de los cojinetes con contacto de rodadura.....	50

CAPITULO III

Tabla 3. 1 Esfuerzos admisibles para tornillos	74
Tabla 3. 2 Información del modelo	79
Tabla 3. 3 Propiedades del material	80
Tabla 3. 4 Cajas y sujeciones	80
Tabla 3. 5 Información 2 del modelo.....	81
Tabla 3. 6 Voltajes de motores de CA.....	86
Tabla 3. 7 Velocidades de motor de CA para corriente de 60 Hz	87
Tabla 3. 8 Tabla para seleccionar las rpm óptimas	95
Tabla 3. 9 Características del motor seleccionado.....	97
Tabla 3. 10 Factores de tamaño.....	99
Tabla 3. 11 Factores de confiabilidad aproximados CR	100
Tabla 3. 12 Comparación de los tipos de rodamientos.....	114
Tabla 3. 13 Duración recomendada para rodamientos.....	115
Tabla 3. 14 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje.....	117
Tabla 3. 15 Determinación del material de la polea de acuerdo a las rpm.....	118
Tabla 3. 16 Capacidades de arrancadores a voltaje total, de corriente monofásica	123
Tabla 3. 17 Cajas para el control del motor	124
Tabla 3. 18 Evaluación del peso específico de cada criterio de la unidad programable de control.....	126
Tabla 3. 19 Evaluación del peso específico del criterio eficiencia	126
Tabla 3. 20 Evaluación del peso específico del criterio economía	126
Tabla 3. 21 Evaluación del peso específico del criterio espacio	127
Tabla 3. 22 Evaluación del peso específico del criterio consumo.....	127
Tabla 3. 23 Tabla de conclusiones de la unidad programable de control.....	127
Tabla 3. 24 Evaluación del peso específico de cada criterio de la selección del microcontrolador	128
Tabla 3. 25 Evaluación del peso específico del criterio lenguaje.....	129
Tabla 3. 26 Evaluación del peso específico del criterio interfaz.....	129
Tabla 3. 18 Evaluación del peso específico del criterio voltaje	129
Tabla 3. 18 Evaluación del peso específico del criterio oscilador	130
Tabla 3. 29 Evaluación del peso específico del criterio costo	130
Tabla 3. 30 Tabla de conclusiones de la selección del microcontrolador.....	130
Tabla 3. 31 Evaluación del peso específico de cada criterio de la selección del sensor	131
Tabla 3. 32 Evaluación del peso específico del criterio distancia	132

Tabla 3. 33 Evaluación del peso específico del criterio salida	132
Tabla 3. 34 Evaluación del peso específico del criterio funcionamiento.....	132
Tabla 3. 35 Tabla de conclusiones de la selección del sensor.....	132

CAPITULO IV

Tabla 4. 1 Proceso de fabricación de los elementos de la máquina.	138
---	-----

CAPITULO V

Tabla 5. 1 Costo de la estructura de la máquina	147
Tabla 5. 2 Costo del sistema de desvainado.....	148
Tabla 5. 3 Costo del sistema de transmisión.....	148
Tabla 5. 4 Costo del sistema electrónico de control.....	149
Tabla 5. 5 Costo de fabricación	149
Tabla 5. 6 Costos indirectos.....	150
Tabla 5. 7 Costo total de la máquina	151
Tabla 5. 8 Cálculo del VAN y del TIR	151

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1. 1 Gráfico de producción de fréjol seco en Imbabura	3
Figura 1. 2 Gráfico de producción de fréjol tierno en Imbabura.....	5
Figura 1. 3 Callejones agroproductivos del Cantón Antonio Ante	6
Figura 1. 4 Callejones agroproductivos del Cantón Otavalo	7
Figura 1. 5 Callejones agroproductivos del Cantón Cotacachi	8
Figura 1. 6 Callejones agroproductivos del Cantón Ibarra.....	9
Figura 1. 7 Callejones agroproductivos del Cantón Pimampiro.....	10
Figura 1. 8 Callejones agroproductivos del Cantón Urcuquí	11
Figura 1. 9 Fréjol arbustivo	15
Figura 1. 10 Formas de desarrollo del fréjol voluble o trepador.....	18
Figura 1. 11 Principio mediante rodillos	22
Figura 1. 12 Principio mediante paletas.....	23

CAPITULO II

Figura 2. 1 Alternativa de diseño 1	29
Figura 2. 2 Alternativa de diseño 2	30

CAPITULO III

Figura 3. 1 Estructura de la máquina.....	53
Figura 3. 2 Estructura de la tolva de alimentación	54
Figura 3. 3 Estructura de la zona de carga del producto	55
Figura 3. 4 Viga de la tolva de alimentación	55
Figura 3. 5 Equilibrio de momentos en las juntas I y K	58
Figura 3. 6 Diagrama de fuerzas de la viga FB	59
Figura 3. 7 Diagrama de cortes de la viga FB	60
Figura 3. 8 Diagrama de momentos de la viga FB.....	60
Figura 3. 9 Perfil cuadrado hueco.....	62
Figura 3. 10 Esquema de la plancha de acero de la tolva de alimentación.....	63
Figura 3. 11 Diagrama de fuerzas de la viga CF AB	64
Figura 3. 12 Diagrama de cortes de la viga CF AB.....	64
Figura 3. 13 Diagrama de momentos de la viga CF AB.....	65
Figura 3. 14 Sección transversal de la viga CF AB.....	65
Figura 3. 15 Estructura de la cavidad de entrada.....	66
Figura 3. 16 Esquema de la plancha de acero de la cavidad de entrada	67
Figura 3. 17 Columna BB' de la estructura de la tolva de alimentación	68
Figura 3. 18 Valores de K para obtener longitud efectiva	69

Figura 3. 19 Zona del sistema de desvainado de fréjol seco y zona contenedora del motor.....	73
Figura 3. 20 Plancha de acero perfilada de la zona del sistema de desvainado	73
Figura 3. 21 Tapa lateral de la zona contenedora del motor	74
Figura 3. 22 Plancha de acero inoxidable de la zona de salida del grano de fréjol seco .	76
Figura 3. 23 Plancha de acero de la zona de salida de la vaina	77
Figura 3. 24 Desplazamiento estático de la estructura de la máquina	78
Figura 3. 25 Tensiones de Von Mises.....	78
Figura 3. 26 Molde de las paletas de impacto	83
Figura 3. 27 Elementos del ventilador de centrifugado	84
Figura 3. 28 Forma general de la curva de operación de un motor	88
Figura 3. 29 Curvas de operación de los cuatro tipos de motores eléctricos monofásicos	89
Figura 3. 30 Motor de fase partida.....	90
Figura 3. 31 Motor de arranque por capacitor	91
Figura 3. 32 Motor de capacitor y fase partida permanente	91
Figura 3. 33 Motor de polos sombreados	92
Figura 3. 34 Motores montados de pie, con diversos tipos de caja	93
Figura 3. 35 Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie.	98
Figura 3. 36 Diagrama de fuerzas en las poleas motriz e impulsada	102
Figura 3. 37 Diagrama de fuerzas del eje 1 3.....	106
Figura 3. 38 Diagrama de cortes de la viga 1 3.....	106
Figura 3. 39 Diagrama de momentos de la viga 1 3.....	107
Figura 3. 40 Diagrama de los diferentes diámetros del eje	107
Figura 3. 41 Chumacera de brida para cuatro tornillos	113
Figura 3. 42 Cojinete de una hilera de bolas con ranura honda	113
Figura 3. 43 Factores por duración y por velocidad, para rodamientos de bolas y de rodillos	115
Figura 3. 44 Fuerzas sobre una cuña	116
Figura 3. 45 Diagrama de bloques de un control de motor.....	121
Figura 3. 46 Diagrama de arranque manual de un motor monofásico.....	122
Figura 3. 47 Flujograma de la programación	133
Figura 3. 48 Diagrama de bloques.....	134
Figura 3. 49 Diagrama esquemático electrónico	134
Figura 3. 50 Diagrama eléctrico	135

CAPITULO IV

Figura 4. 1 Relación entre calidad y producción en base a las rpm.....	142
Figura 4. 2 rpm óptimas a las que se puede trabajar	143
Figura 4. 3 Pruebas realizadas en base a la calidad del grano de fréjol seco	144
Figura 4. 4 Pruebas realizadas en base a la producción de la máquina desvainadora de fréjol seco.....	145

Figura 4. 5 Relación entre calidad y producción en base a las rpm..... 146

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Ecuación del momento del extremo fijo.....	56
Ecuación 2	Ecuación general de pendiente deflexión	57
Ecuación 3	Ecuación del momento interno en el extremo cercano del claro $F''F$	57
Ecuación 4	Momento interno en el extremo cercano del claro FF''	57
Ecuación 5	Momento interno en el extremo cercano del claro FB	57
Ecuación 6	Momento interno en el extremo cercano del claro BF	57
Ecuación 7	Momento interno en el extremo cercano del claro BB'	58
Ecuación 8	Momento interno en el extremo cercano del claro $B'B$	58
Ecuación 9	Ecuación de equilibrio en la junta F	58
Ecuación 10	Ecuación de equilibrio en la junta B	58
Ecuación 11	Ecuación despejada de la ecuación de equilibrio en la junta F	58
Ecuación 12	Ecuación despejada de la ecuación de equilibrio en la junta B	59
Ecuación 13	Ecuación despejada de las ecuaciones de equilibrio de las juntas I y K	59
Ecuación 14	Ecuación del módulo de sección requerido 1.....	61
Ecuación 15	Ecuación del módulo de sección requerido 2.....	61
Ecuación 16	Ecuación del momento de inercia de un perfil cuadrado hueco.....	62
Ecuación 17	Ecuación de la distancia del eje neutro a la fibra más alejada.....	62
Ecuación 18	Ecuación despejada de la ecuación del módulo de sección requerido 2 ...	62
Ecuación 19	Ecuación despejada de la ecuación del módulo de sección requerido 1 ...	63
Ecuación 20	Ecuación del módulo de sección transversal para un perfil rectangular	65
Ecuación 21	Fórmula de Euler alternativa	68
Ecuación 22	Ecuación de la carga admisible	69
Ecuación 23	Ecuación del valor de I despejado de la fórmula de Euler	69
Ecuación 24	Ecuación despejada de la ecuación del momento de inercia de un perfil cuadrado hueco	70
Ecuación 25	Ecuación del radio de giro de la sección transversal	71
Ecuación 26	Ecuación de la relación de esbeltez.....	71
Ecuación 27	Ecuación de la constante de columna	72
Ecuación 28	Ecuación del área que requiere el perno	75
Ecuación 29	Ecuación del diámetro necesario del perno.....	75
Ecuación 30	Torque.....	94
Ecuación 31	Ecuación para calcular la potencia del motor.....	96
Ecuación 32	Factores de tamaño.....	99
Ecuación 33	Ecuación de la resistencia a la fatiga modificada	100
Ecuación 34	Ecuación del par torsional sobre la polea impulsada.....	101
Ecuación 35	Ecuación de la relación de fuerzas	102
Ecuación 36	Ecuación del par torsional neto sobre B	103
Ecuación 37	Ecuación despejada del par torsional neto sobre B	103
Ecuación 38	Ecuación del intervalo de distancias nominales entre centros	103

Ecuación 39 Ecuación del ángulo de contacto de la banda en la polea de diámetro menor	104
Ecuación 40 Ecuación de la relación de velocidades angulares:.....	104
Ecuación 41 Ecuación del diámetro requerido del eje	107
Ecuación 42 Ecuación de diseño para ejes	108
Ecuación 43 Ecuación de la longitud de paso.....	110
Ecuación 44 Ecuación de la distancia entre centros	111
Ecuación 45 Ecuación de la carga equivalente.....	114
Ecuación 46 Ecuación de la capacidad de carga dinámica básica requerida.....	115
Ecuación 47 Ecuación para calcular la longitud mínima de la cuña, con base en el esfuerzo de empuje.....	118
Ecuación 48 Ecuación para calcular la longitud mínima de la cuña, con base en el corte sobre la cuña.....	119

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Tendido de frejol seco en las carreteras.....	2
Fotografía 2 Desvainado de fréjol seco en las carreteras.....	2
Fotografía 3 Tubo cédula 40 de 8,89 cm	82
Fotografía 4 Malla filtradora	85
Fotografía 5 Cálculo del torque máximo	94



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño y construcción de una máquina desvainadora de fréjol seco, con el objetivo de aumentar la rapidez de desgranado de fréjol, reduciendo el costo de la mano de obra y mejorando las condiciones de vida de los agricultores.

Para conseguir el objetivo planteado se inició con el diseño del sistema mecánico y de control para la máquina desvainadora de fréjol seco; se procedió con su construcción optimizando costos en la fabricación de la máquina enfocándose en los agricultores y pequeños comerciantes que deseen adquirirla a un precio conveniente. Una vez construida la maquina se procedió a realizar pruebas de funcionamiento y manejo de la misma permitiendo corregir errores y realizar ajustes necesarios para lograr el funcionamiento óptimo de la máquina. Finalmente, se elaboró un manual de usuario y mantenimiento de la máquina para que las personas que la adquieran tengan el soporte necesario al momento de utilizarla sin problema alguno.

La máquina desvainadora de fréjol seco ocupará un área física de $2m^2$ aproximadamente; el proceso de desvainado empezará con el ingreso del fréjol seco a la tolva de alimentación soportando una capacidad de 25 libras de fréjol seco incluida su vaina. Posteriormente entrará en una cámara donde será desvainado por un sistema de paletas que girarán a altas velocidades generando impactos y así provocara la separación de la vaina con el frejol; la vaina será expulsada de la máquina a través de la zona de ventilado mediante centrifugado mientras que el frejol caerá por gravedad hacia una malla ubicada en la salida.

Esta máquina estará accionada por un motor de CA a 110/220 V que proporcionará movimientos a un eje mediante un sistema de transmisión por bandas al sistema de desgranado de fréjol. Poseerá un tablero de encendido, apagado y parada de emergencia de la máquina con su respectivas seguridades; adicional se podrá

controlar la máquina a través de un sensor el que verificara si la máquina está siendo utilizada por el usuario caso contrario se apagara automáticamente beneficiando el ahorro de energía.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ABSTRACT

This Project presents the design and construction of a husking machine for dry beans, its objective is to increase the shelling speed of the beans, reducing the labor cost and improving the living conditions of farmers.

To achieve the stated goal, it was started with the mechanical system design and control of the husking machine for dry beans; it was proceed with its construction by optimizing the machine manufacturing costs focusing on farmers and small traders who wish to purchase it at an affordable price. Once the machine was constructed we proceeded to test the functioning and management of it allowing correcting errors and performing necessary adjustments to achieve the optimal operation of the machine. Finally, a user manual and machine maintenance for people who have acquired the machine have the necessary support when the use it without any problem was developed.

The husking machine of dry beans will occupy approximately a physical area of 2m²; the shucked process will start with the entry of the dry beans to a feeding hopper supporting a capacity of 25 pounds of dry beans including its sheath. Subsequently it enters into a chamber where it will be shelled by a system of vanes that rotate at high speeds and generates impacts causing the separation of the beans from the sheath; the sheath will be expelled from the machine through the ventilated area by centrifugation while the beans will fall by gravity towards a mesh located at the exit of the machine.

This machine will be operated by an AC motor at 110/220 V to provide motion to an axle via a transmission system by bands to the husking beans system. It will have an on, off and an emergency stop table of the machine with their respective securities; additional, the machine will be controlled through a sensor that checks whether the machine is being used by the user or on the contrary it will automatically turn off benefiting the energy save.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

PRESENTACIÓN

La zona más alta en siembra y comercialización de fréjol es el norte del Ecuador, por sus condiciones climáticas idóneas y suelos apropiados, tal es el caso que los agricultores de esta zona se han dedicado a esta labor desde hace décadas cómo fuente de ingresos económicos para sus familias.

En el proceso de desvainado del fréjol seco, se tienen problemas como un excesivo tiempo de desvainado, pérdidas en la producción, dependencia del estado climático y calidad de vida de los trabajadores.

Mediante esta máquina se reducirá notablemente el tiempo y la mano de obra en el proceso de pelado de fréjol seco y a la vez aumentará la producción del mismo.

La máquina desvainadora está diseñada para que cualquier tipo de trabajador la pueda manipular, ya que su manejo es sumamente fácil, no hay riesgos que atenten contra la integridad física del operario y es ergonómica de manera que la postura de la persona que la use sea la más adecuada posible mejorando sus condiciones de trabajo.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

El fréjol o *Phaseolus vulgaris* es un alimento que se ha cultivado desde hace alrededor de 8 mil años, formando parte de la dieta de las personas por sus propiedades alimenticias ricas en proteínas y en fibra.

En nuestro país, se lo conoce como fréjol o poroto y es muy común servirlo con arroz y carne de res, pollo cerdo o pescado.

En el Norte del Ecuador un alto porcentaje de los agricultores se dedican a la siembra de esta planta por su buena comercialización y rentabilidad. Se lo puede sembrar en climas fríos y cálidos por su característica de adaptabilidad de sus diferentes variedades, las cuales son 150 en todo el mundo y 50 en el Ecuador.

La cosecha de esta leguminosa se la realiza 4 meses después de su siembra, cuando las vainas se abran fácilmente al presionarlas con la mano.

Una vez extraída la vaina de la planta se procede a seleccionar el fréjol tierno y el seco; el fréjol tierno se lo encostala para su comercialización al mayorista y el fréjol seco entra en un proceso de desvainado, el cual es arduo, conlleva tiempo, dinero y es muy trabajoso. Tradicionalmente los agricultores lo realizan tendiendo el fréjol seco en un área extensa sobre el piso y lo dejan al sol varias horas para que la cáscara que lo cubre se deshidrate y luego el desvainado se lo realiza mediante golpes con trozos de madera durante horas dependiendo de la cantidad a desvainar.



Fotografía 1 Tendido de frejol seco en las carreteras

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Este método que utilizan los agricultores no es ergonómico, puesto que en el momento que realizan los golpes al fréjol, tienen que agacharse o arrodillarse, afectando su postura, provocando dolores fuertes de espalda, cansancio e incomodidad en esta labor agrícola.



Fotografía 2 Desvainado de fréjol seco en las carreteras

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Todo este proceso afecta en el rendimiento diario de fréjol disponible para que el comerciante lo puedan sacar a la venta; otro inconveniente es que dependiendo de su contenido de humedad el fréjol seco corre el riesgo de dañarse ocasionando pérdidas económicas.

1.2 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL FRÉJOL EN EL NORTE DEL ECUADOR

1.2.1 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN

En 1999, las principales zonas productoras de fréjol en el Ecuador fueron: la cuenca del Río Chota, con alrededor de 18.100 hectáreas, repartidas en las provincias de Imbabura (11.200 ha) y Carchi (6.900 ha) con fréjol de tipo de arbustivo; seguidas en orden de importancia por Azuay 10.200 ha, Loja 8.500 ha, Bolívar 4.900 ha y Chimborazo con 4.700 ha; y en menor escala Cañar, Pichincha y Cotopaxi, con fréjol voluble asociado con maíz, principalmente. Los productores de fréjol arbustivo de menos recursos obtienen rendimientos menores a 1 t/ha (tonelada métrica por hectárea) de grano seco, los que usan insumos y mejor tecnología alcanzan hasta 1,5 t/ha y algunos agricultores progresistas cosechan hasta 2 t/ha, (...). (Peralta, et al., 2001, pp. 10, 11)

Se ha realizado un análisis de once años, en el año 2002 hubo el mayor decrecimiento de la producción de fréjol seco con aproximadamente 1000 toneladas métricas y en el 2008 el mayor crecimiento de producción de fréjol seco con aproximadamente 4000 toneladas métricas, además podemos analizar que hubo una media de producción de 2000 toneladas métricas en todos los años. Véase la Figura 1.1

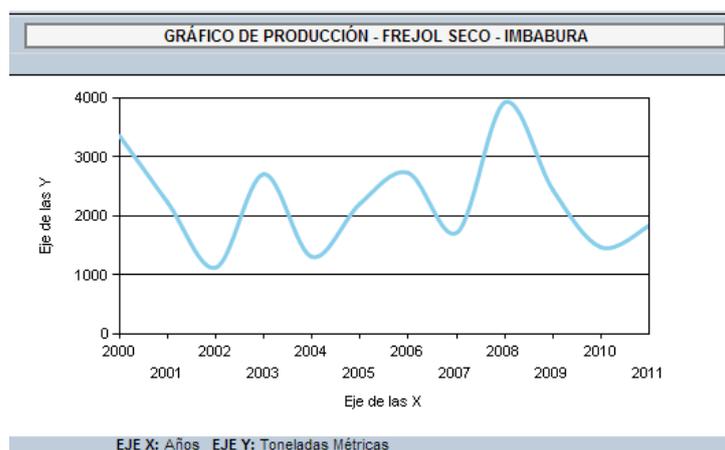


Figura 1. 1 Gráfico de producción de fréjol seco en Imbabura

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/site-map/2-produccion>

En el año 2002 la superficie sembrada con fréjol seco fue de 2853 hectáreas, produciendo 1120 toneladas métricas y el año 2010 la superficie sembrada con fréjol seco fue de 2381 hectáreas, produciendo 1464 toneladas métricas, analizando éstas cifras, en el transcurso de estos años se ha visto una mejora en la producción de fréjol seco ya que con un área menor de siembra se ha obtenido una producción mayor, esto se debe a los estudios tecnológicos y científicos que han permitido a los agricultores poco a poco ir mejorando sus métodos de siembra y cosecha del fréjol. Véase la Tabla 1.1

Tabla 1. 1 Tabla de superficie, producción y rendimiento de fréjol seco en Imbabura

TABLA DE SUPERFICIE, PRODUCCION Y RENDIMIENTO -FREJOL SECO - IMBABURA					
Año	Provincia	Sup_Sembrada	Sup_Cosechada	Produccion	Rendimiento
2000	Imbabura	12,467	10,018	3,342	0.33
2001	Imbabura	7,660	6,354	2,231	0.35
2002	Imbabura	2,853	2,689	1,120	0.42
2003	Imbabura	5,304	5,270	2,706	0.51
2004	Imbabura	3,284	3,262	1,308	0.40
2005	Imbabura	3,501	3,484	2,209	0.63
2006	Imbabura	5,316	5,243	2,728	0.52
2007	Imbabura	3,138	2,969	1,716	0.58
2008	Imbabura	6,159	5,464	3,920	0.72
2009	Imbabura	4,805	4,209	2,439	0.58
2010	Imbabura	2,381	1,685	1,464	0.87
2011	Imbabura	3,159	3,048	1,847	0.61

UNIDADES:
 Superficie Cosechada / Superficie Sembrada (Hectáreas)
 Producción (Toneladas Métricas)
 Rendimiento(Toneladas Métricas/Hectáreas)

El Total Nacional, no necesariamente será igual a la sumatoria de los datos provinciales, ya que en la mayoría de los casos se presentan cifras parciales, o están ocultas debido a razones de confiabilidad y confidencialidad estadística.

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/site-map/2-produccion>

La producción de fréjol tierno en Imbabura ha ido en crecimiento a través de los años con ciertos puntos bajos de producción como en los años 2000, 2003 y 2009 pero con picos en los años 2004, 2006 y 2011, esto quiere decir que en la Provincia de Imbabura el cultivo y la comercialización de fréjol tierno están aumentando constantemente. Véase la Figura 1.2

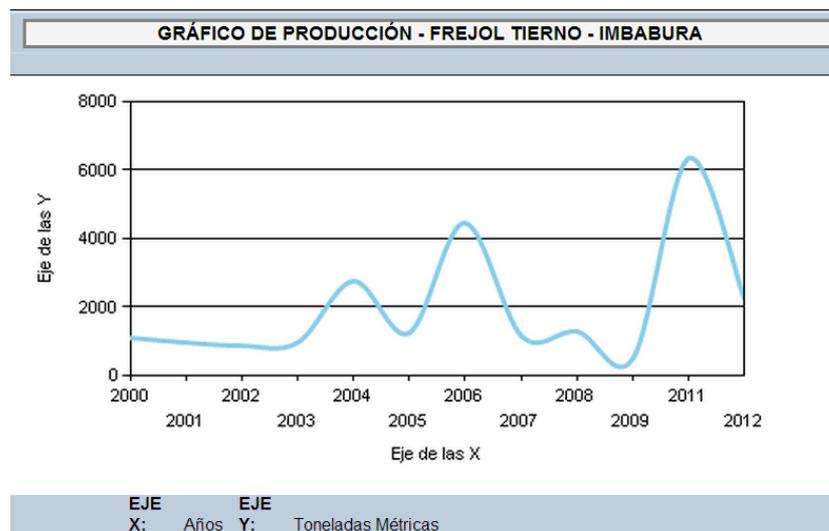


Figura 1. 2 Gráfico de producción de fréjol tierno en Imbabura

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/site-map/2-produccion>

En el año 2011 la producción de fréjol tierno es de 6335 toneladas métricas, la cantidad más alta en once años de análisis y la cantidad más baja fue en el año 2009 con 527 toneladas métricas de producción. Véase la Tabla 1.2

Tabla 1. 2 Tabla de superficie, producción y rendimiento de fréjol tierno en Imbabura

TABLA DE SUPERFICIE, PRODUCCION Y RENDIMIENTO -FREJOL TIERNO - IMBABURA					
Año	Provincia	Sup_Sembrada	Sup_Cosechada	Produccion	Rendimiento
2000	Imbabura	1,530	1,190	1,087	0.91
2001	Imbabura	1,064	886	988	1.12
2002	Imbabura	597	582	889	1.53
2003	Imbabura	539	499	986	1.98
2004	Imbabura	1,349	1,312	2,767	2.11
2005	Imbabura	1,749	1,746	1,219	0.70
2006	Imbabura	2,495	1,735	4,431	2.55
2007	Imbabura	848	789	1,142	1.45
2008	Imbabura	586	586	1,296	2.21
2009	Imbabura	659	637	527	0.83
2011	Imbabura	1,968	1,936	6,335	3.27
2012	Imbabura	1,636	1,543	2,228	1.44

UNIDADES:
 Superficie Cosechada / Superficie Sembrada (Hectáreas)
 Producción (Toneladas Métricas)
 Rendimiento (Toneladas Métricas/Hectáreas)

El Total Nacional, no necesariamente será igual a la sumatoria de los datos provinciales, ya que en la mayoría de los casos se presentan cifras parciales, o están ocultas debido a razones de confiabilidad y confidencialidad estadística.

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/site-map/2-produccion>

1.2.1.1 Productivos de Fréjol en Imbabura

Los dos callejones agroproductivos más extensos del Cantón Antonio Ante son el Callejón C1 de Fréjol Tierno, compuesto por las Parroquias de Imbaya y Chaltura, y el Callejón C2 de Maíz Suave Choclo, compuesto por las Parroquias de Natabuela, Andrade Marín y San Roque; y el callejón más corto es el Callejón C3 de Tomate de Árbol, compuesto por las Parroquias de Chaltura, Andrade Marín y Pucará. Véase la Figura 1.3

CALLEJONES AGROPRODUCTIVOS DEL CANTÓN ANTONIO ANTE

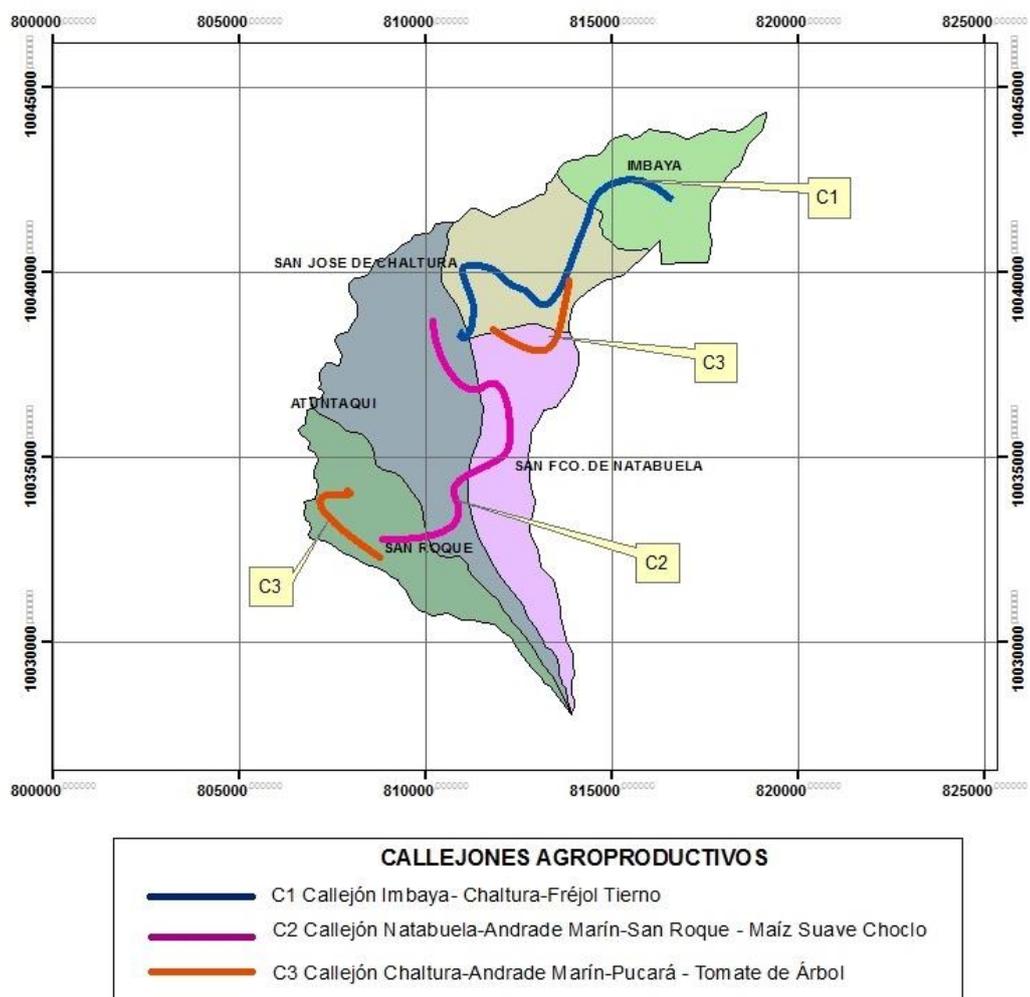


Figura 1. 3 Callejones agroproductivos del Cantón Antonio Ante

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - Ibarra

En el Cantón Otavalo existen callejones agroproductivos de frutilla, maíz suave choclo y maíz suave seco, resaltando en la producción con mayores cantidades de maíz suave choclo y maíz suave seco en los Callejones C3, C4, C5 y C5 de las Parroquias Iluman, San Rafael, Peguche y Quichinche; además se puede observar que no existe producción de fréjol en el Cantón. Véase la Figura 1.4

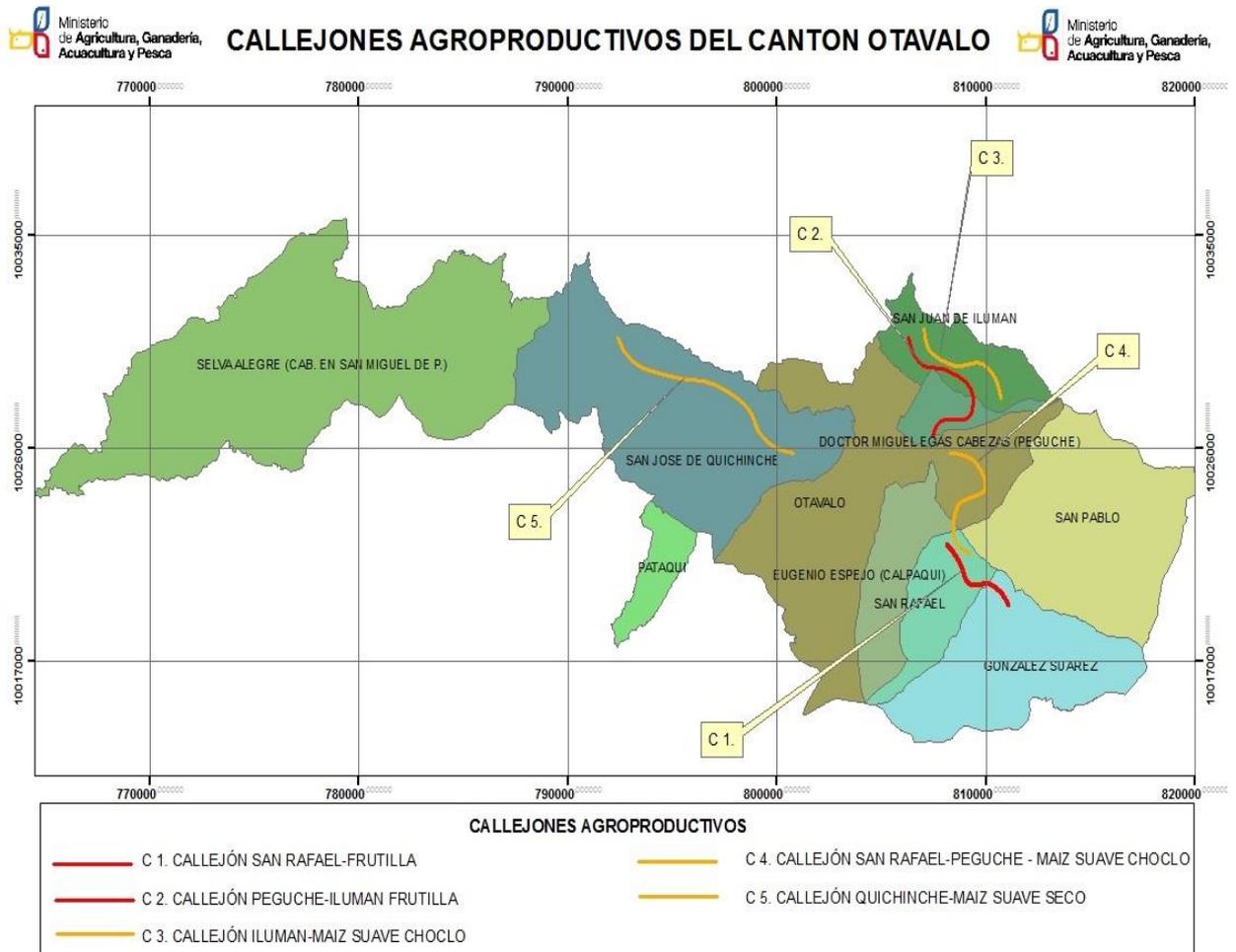


Figura 1. 4 Callejones agroproductivos del Cantón Otavalo

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - Ibarra

En el Cantón Cotacachi los callejones agroproductivos más extensos son el Callejón C3 de Fréjol Seco, compuesto por las Parroquias García Moreno y Vacas Galindo, los Callejones C4 y C5 de Fréjol Tierno, compuestos por las Parroquias Quitumba, Pucalpa, Ambi y Colimbuela; y el callejón más corto es el Callejón C1 de Tomate de Árbol, compuesto por la Parroquia Cuellaje. Véase la Figura 1.5

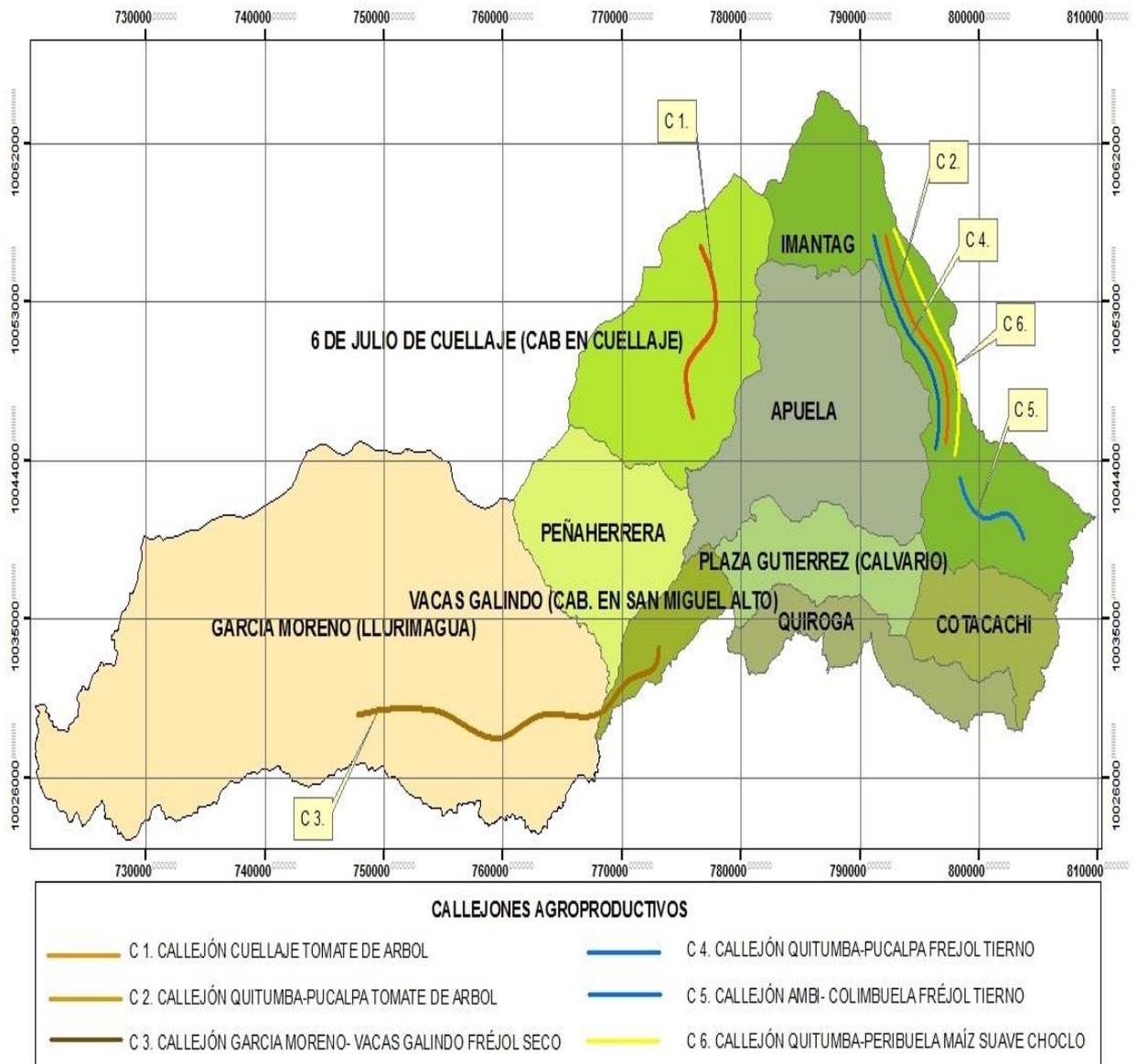


Figura 1. 5 Callejones agroproductivos del Cantón Cotacachi

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - Ibarra

En el Cantón Ibarra, el Callejón Agroproductivo C3 de Caña de Azúcar, compuesto por la Parroquia Salinas es el más extenso, seguido por el Callejón C2 de Fréjol Tierno, compuesto por las Parroquias Carpuela, San Clemente y Ambuquí. Véase la Figura 1.6

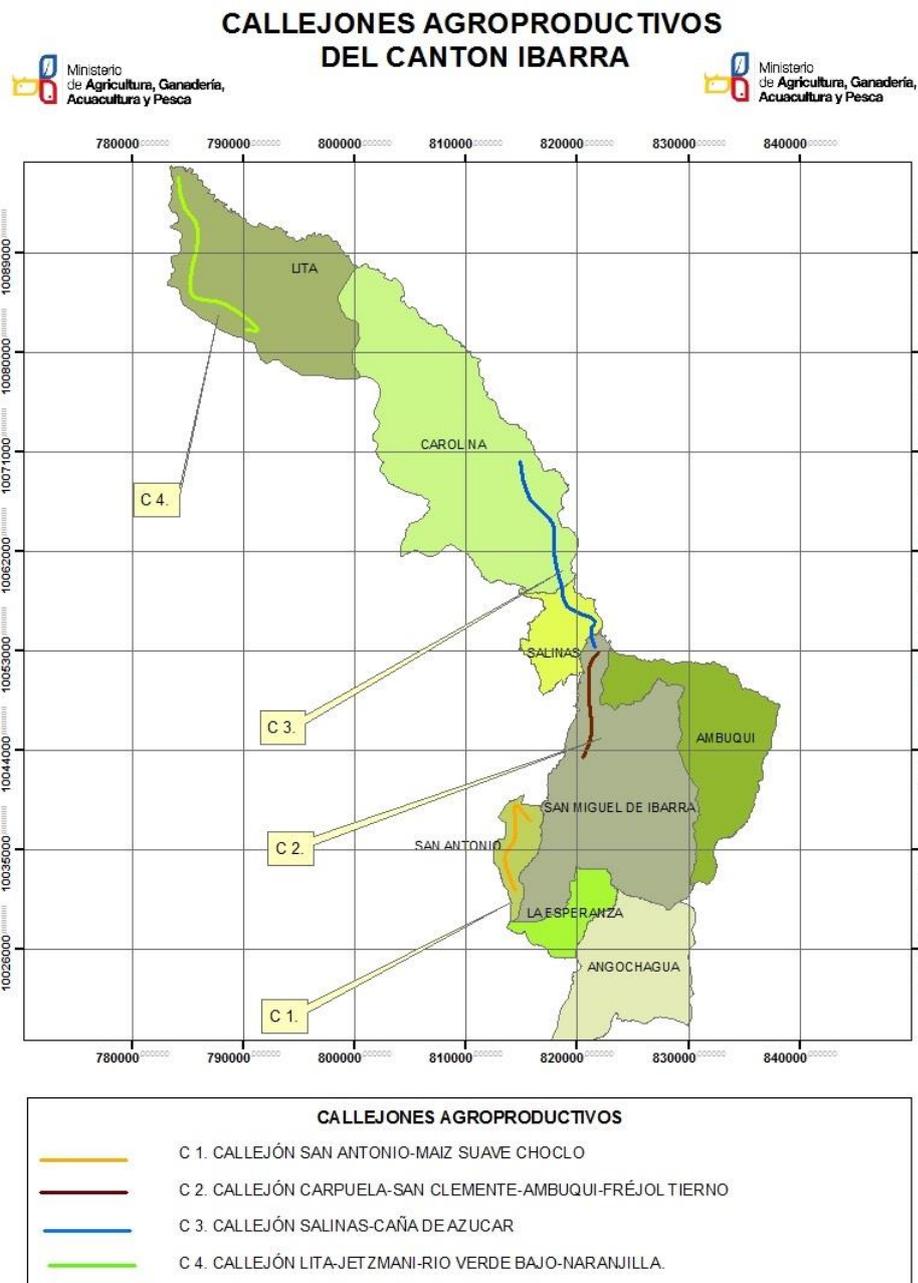


Figura 1. 6 Callejones agroproductivos del Cantón Ibarra

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca – Ibarra

En el Cantón Pimampiro la producción de fréjol es escasa, sobresale el tomate riñón en el Callejón Agroproductivo C3 compuesto por la Parroquia San Francisco de Sigsipamba y la Cabecera Cantonal, seguido de arveja tierna y tomate de árbol en las Parroquias de San Juan El Tejar, Sigsipamba y El Cedral. Véase la Figura 1.7

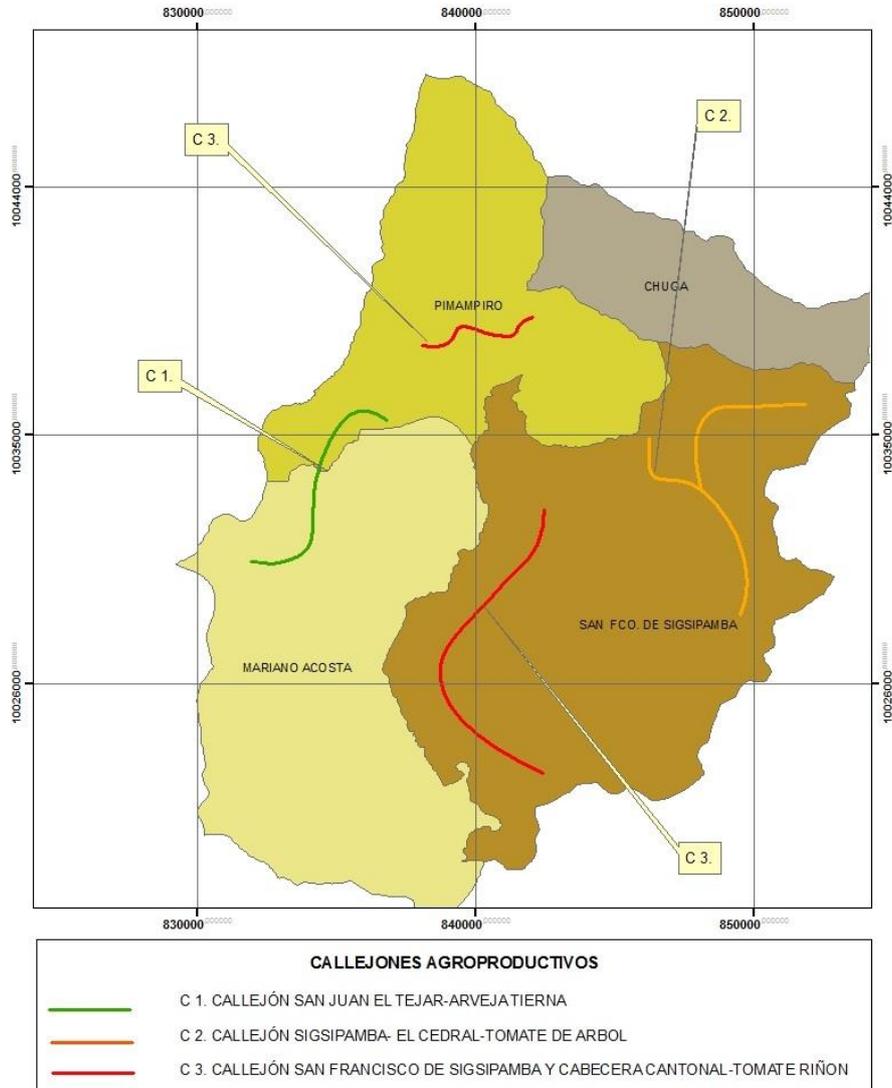


Figura 1. 7 Callejones agroproductivos del Cantón Pimampiro

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – Ibarra

En el Cantón Urcuquí, la producción de fréjol tierno y seco corresponde a uno de los Callejones Agroproductivos más extensos del sector, compuesto por las Parroquias Pablo Arenas, San Blas y Cabecera Cantonal , además se visualiza producciones de arveja tierna, maíz suave choclo, tomate riñón de campo, tomate riñón de invernadero, tomate de árbol y caña de azúcar. Véase la Figura 1.8

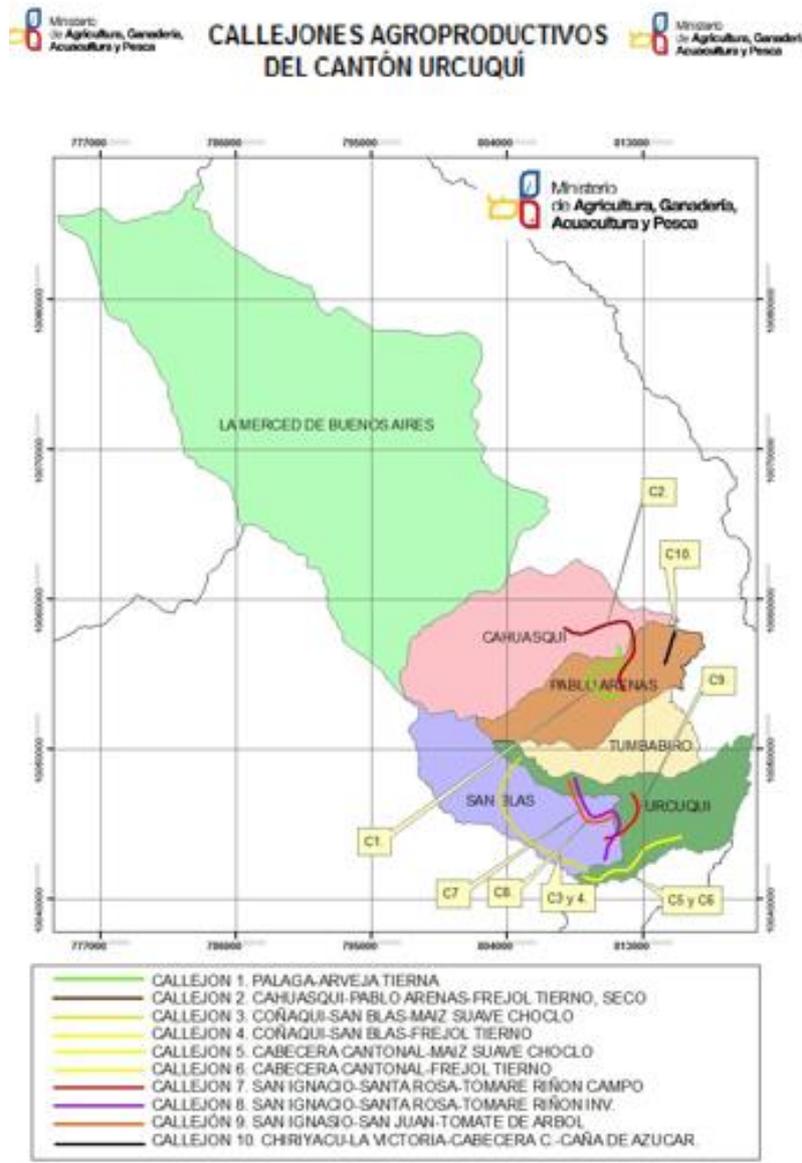


Figura 1. 8 Callejones agroproductivos del Cantón Urcuquí

Nota. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – Ibarra

1.2.2 COMERCIALIZACIÓN

(Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-INIAP , 2001)

Para el siguiente análisis se tomó en consideración la seguridad de venta del fréjol por parte de los agricultores, la afiliación de los agricultores a una organización, el mercado de destino de la producción, el nivel tecnológico que se usó en la producción y la productividad establecida para el cultivo, se definieron tres tipos de productores, los cuales se presentan a continuación:

1.2.2.1 Productores Tipo 1: sin seguridad de venta, sin afiliación a una organización, mercado de destino local y nivel tecnológico bajo

Los productores de este grupo pertenecen a las Provincias del Carchi e Imbabura, 25% en el Cantón Ibarra, 45% en el Cantón Bolívar y 30% en el Cantón Mira.

El 60% de los productores son propietarios de sus fincas, con un tamaño total de las fincas de 3.5 ha en promedio, el área promedio dedicada al cultivo de fréjol es 2.3 ha, lo cual representa el 65% del área total de la finca ocupada por la actividad; en cambio, el 40% de los productores son arrendatarios de los terrenos en los que se cultiva diferentes productos, cuyo tamaño de finca es 2.8 ha en promedio y el área promedio dedicada al fréjol es de 2.2 ha, representa el 79% del área total de la finca.

Estos productores tipo 1 se caracterizan por dedicarse en un 43% exclusivamente al cultivo del fréjol, el 57% restante tiene como actividades complementarias el cultivo de maíz, pimiento, yuca, ají, cebolla, tomate riñón, arveja, etc.

En cuanto al nivel tecnológico que tienen los agricultores de este grupo, el 100% de los productores utilizan bomba de espalda o mochila, que es usada principalmente para el control químico de plagas y enfermedades, el 10% de los productores poseen vehículo y como maquinaria disponible, el 5% dispone de tractor.

Esto quiere decir que este grupo de productores no son precisamente especializados en la actividad del cultivo de fréjol y por esta razón no tienen maquinaria que les represente eficiente para cumplir esta labor.

1.2.2.2 Productores Tipo 2: sin seguridad de venta, sin afiliación a una organización, mercado de destino local y de exportación y nivel tecnológico medio

De igual manera que el grupo de productores tipo 1, la totalidad de productores que se incluyen en este grupo se ubican en las Provincias del Carchi e Imbabura, 20% en el Cantón Ibarra, 41% en el Cantón Bolívar y 39% en el Cantón Mira. Estos productores están ubicados en lugares donde intervienen los intermediarios, los

cuales tienen como objetivo la compra del producto para la venta local y la exportación.

El 85% de los productores son propietarios de sus fincas, con un tamaño total de las fincas de 4.9 ha en promedio y el área promedio del área dedicada al cultivo de fréjol de 2.4 ha, que representa el 49% del área total de la finca ocupada por la actividad; en cambio, el 15% de los productores son arrendatarios de los terrenos en los que se cultiva diferentes productos, con un área total de las fincas de 3.4 ha en promedio y el tamaño promedio del área dedicada a fréjol de 2 ha, que representa el 59% del área total de la finca.

De todos los productores de este grupo, para el 27% su única fuente de ingresos es el fréjol, mientras que el restante 73% de los productores, combinan el cultivo del fréjol con maíz, pimiento, yuca, ají, caña de azúcar, cebolla, tomate riñón, arveja, etc.

En cuanto al nivel tecnológico que tiene este grupo, el 100% de los productores tiene bomba de mochila o espalda, que es usada para el control químico de plagas y enfermedades, el 20% de los productores posee vehículo y como maquinaria disponible, el 12% dispone de tractor.

En conclusión, en este grupo ya existe un porcentaje de agricultores que se dedican únicamente al cultivo de fréjol y por ende ya son especializados en esta labor agrícola y por eso cuentan con cierta maquinaria útil que mejoran la producción de fréjol.

1.2.2.3 Productores Tipo 3: con relativa seguridad de venta, sin afiliación a una organización, mercado de destino de exportación y nivel tecnológico alto

Los productores que se incluyen en este grupo, de igual manera que los dos anteriores se ubican en las Provincias del Carchi e Imbabura, 16% en el Cantón Ibarra, 68% en el Cantón Bolívar y 16% en el Cantón Mira. Se puede indicar que estos productores están incentivados con el rubro, ya que tienen como objetivo la venta del producto al mercado colombiano, principalmente.

El 67% de los productores son propietarios de sus fincas, con un tamaño total de las fincas de 30.3 ha en promedio y un área promedio de producción de fréjol de 5 ha, que corresponde al 17% del área de la finca ocupada por la actividad; en cambio, el 33% de los productores son arrendatarios de los terrenos en los que se cultiva diferentes productos, con un área total de las fincas de 5.8 ha en promedio y el tamaño promedio del área dedicada a fréjol de 4.5 ha, que representa el 78% del área total de la finca.

El 33% de los productores tienen como actividad principal el cultivo del fréjol, mientras que el 67% lo complementan con otras actividades, como son el cultivo de maíz, pimiento, yuca, ají, caña de azúcar, cebolla, tomate riñón, arveja, etc.

En cuanto al nivel tecnológico que tiene este grupo, el 100% de los productores disponen de bomba de espalda y el 17% dispone de bomba a motor, que son usadas para el control químico de plagas y enfermedades, el 70% de los productores posee vehículo y como maquinaria disponible, el 33% posee tractor.

Se puede concluir que un mayor porcentaje de productores se dedican específicamente al cultivo del fréjol, por ende ya cuentan con equipos automáticos y tienen mayor uso de su maquinaria mecánica como son los vehículos y tractores, los cuales aumentan la producción notablemente.

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL FRÉJOL SECO

1.3.1 VARIEDADES DE FRÉJOL EN EL ECUADOR

Entre las variedades de fréjol más cultivadas en el Ecuador tenemos las siguientes:

- Fréjol arbustivo
- Fréjol voluble o trepador

1.3.1.1 Fréjol Arbustivo

El nombre científico de esta variedad de fréjol es *Phaseolus vulgaris* L., su centro de origen es en América (Mesoamérica, Zona Andina). En el Ecuador se lo cultiva en los valles: El Chota, Salinas y Mira (Imbabura, Carchi), Guayllabamba y Tumbaco (Pichincha), Patate (Tungurahua), Gualaceo y Yunguilla (Azuay), Vilcabamba, Catamayo, Malacatos (Loja) y en las estribaciones de cordillera: Intag

(Imbabura), Noroccidente de Pichincha, El Corazón (Cotopaxi), Chanchán y Huigra (Chimborazo), Pallatanga (Chimborazo y Bolívar) y Chillanes (Bolívar), Javin y Chontamarca (Cañar), con altitudes de 1200 a 2500 m. (áreas de valle) y 1000 a 2200 m. (estribaciones).

Los climas de estos sectores varían entre lluvias de 300 a 700 mm de precipitación en el ciclo y temperaturas de 16 a 20° C.

Los suelos son Franco, arenosos, con buen drenaje y un pH: 5.5 a 7.5.

Los ciclos de cultivo del fréjol arbustivo en tierno es de 80 a 90 días en valles y estribaciones; y en seco es de 110 a 115 días en valles y estribaciones y 150 a 165 días en Guaranda (Bolívar).

La época de siembra es desde febrero a abril y septiembre a noviembre en Valles y abril a julio en estribaciones (Peralta, et al. 2010).

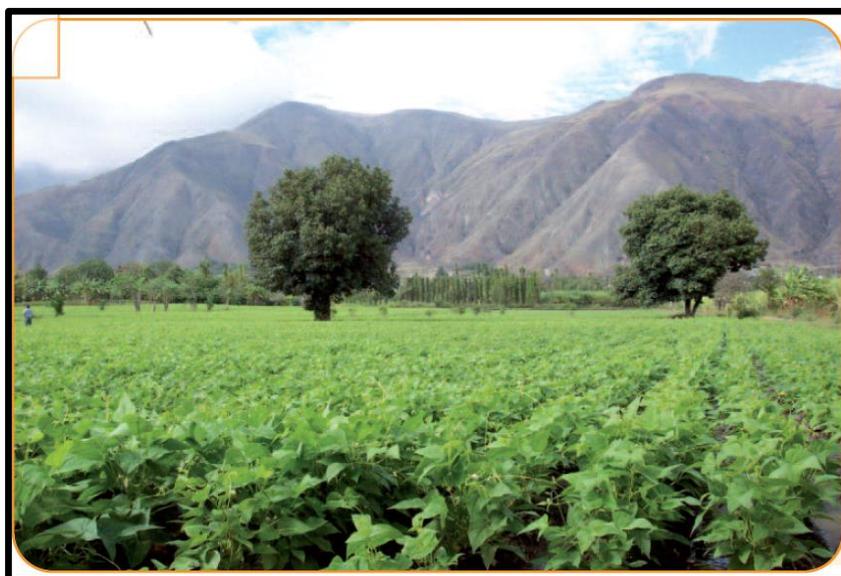


Figura 1. 9 Fréjol arbustivo

Nota. Fuente: Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas*. (p. 2). Recuperado de:
<http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>

Entre las variedades mejoradas del fréjol Arbustivo tenemos las siguientes:

Tabla 1. 3 Variedades mejoradas de fréjol arbustivo

Nombre	Color de grano
INIAP 414 Yunguilla	rojo moteado
INIAP 418 Je.Ma.	rojo moteado
INIAP 420 Canario del Chota	amarillo
INIAP 422 Blanco Belén	blanco
INIAP 423 Canario	amarillo (canario)
INIAP 424 Concepción	morado moteado
INIAP 425 Blanco Fanesquero	blanco
INIAP 427 Libertador	rojo moteado
INIAP 428 Canario Guarandeño	amarillo
INIAP 429 Paragachi Andino	rojo moteado con crema
INIAP 430 Portilla	rojo moteado
INIAP 480 Rocha	amarillo (canario)
INIAP 481 Rojo del Valle	rojo moteado
INIAP 482 Afroandino	negro

Nota. Fuente: Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas*. (p. 4). Recuperado de: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMINOSAS%202010.pdf>. Elaboración: propia



Figura 1.10 Variedades de fréjol arbustivo

Nota. Fuente: Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas*. (p. 2). Recuperado de:
<http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMINOSAS%202010.pdf>

1.3.1.2 Fréjol Voluble o Trepador

El nombre científico de esta variedad de fréjol es *Phaseolus vulgaris* L., su centro de origen es en América (Mesoamérica, Zona Andina). En el Ecuador se lo cultiva en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar, con altitudes entre 2000 a 3000 metros sobre el nivel del mar.

Los climas de estos sectores varían entre lluvias de 500 a 900 mm de precipitación en el ciclo y temperaturas de 12 a 18° C.

Los suelos son Franco y franco arcilloso con buen drenaje y un pH: 5.6 a 5.7.

Los ciclos de cultivo del fréjol voluble variedad INIAP 412 Toa en tierno es de 160 días y en seco es de 180 días, de la variedad INIAP 421 Bolívar en tierno es de 155 y en seco es de 185 días y de la variedad INIAP 426 Canario Siete Colinas en tierno es de 100 días y en seco es de 160 días.

La época de siembra en la Sierra, es de septiembre a enero, dependiendo de la zona y en estribaciones de cordillera es de abril a mayo (Peralta, et al. 2010).



Figura 1. 10 Formas de desarrollo del fréjol voluble o trepador

Nota. Fuente: Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas*. (p. 15). Recuperado de: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>

Entre las variedades mejoradas del fréjol Voluble o Trepador tenemos las siguientes:

Tabla 1. 4 Variedades mejoradas del fréjol voluble o trepador

Nombre	Color de grano
INIAP 412 Toa	rojo moteado
INIAP 421 Bolívar	rojo
INIAP 426 Canario Siete Colinas	Amarillo

Nota. Fuente: Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas*. (p. 16). Recuperado de: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>. Elaboración: propia

1.4 PROCESO AGROINDUSTRIAL DEL FRÉJOL

El proceso agroindustrial del fréjol desde la cosecha contempla las siguientes etapas:

1. Cosecha
2. Clasificación de vaina húmeda y vaina seca
3. Proceso de desvainado del fréjol seco
4. Selección y limpieza
5. Almacenamiento
6. Comercialización

1.4.1 COSECHA:

La cosecha en vaina seca debe realizarse cuando las plantas hayan alcanzado la madurez fisiológica, es decir, cuando las hojas de las plantas se hayan caído, las vainas secas estén de color amarillo y con un contenido aproximado de 18 a 20% de humedad en las semillas, esto se puede saber marcando a presión con la uña.

Para arrancar las plantas es necesario verificar que un 90% de todas las plantas hayan cambiado de color.

La trilla, dependiendo de la cantidad, puede hacerse manualmente, por pisoteo con animales o por golpe sobre el piso, usando varas de madera. Para cosechas grandes, se recomienda el uso de trilladoras mecánicas (Peralta, et al. 2010).

1.4.2 CLASIFICACIÓN DE VAINA HÚMEDA Y VAINA SECA

La clasificación de las vainas se lo realiza mediante el tacto y la observación, comúnmente los agricultores lo hacen insertando la uña en la vaina y dependiendo del grado de presión que tuvieron que hacer se la clasifica como vaina húmeda o seca.

Otra manera de hacerlo es mediante el color que presente la vaina, de modo que cuando se la observa de color verde, la vaina está húmeda y cuando se la observa de color amarillo, la vaina está seca.

1.4.3 PROCESO DE DESVAINADO DEL FRÉJOL SECO

El proceso de desvainado del fréjol seco empieza tendiendo las vainas secas sobre una superficie plana de forma uniforme y a la intemperie, de modo que la luz solar

llegue directamente hacia la vaina para que ésta se deshidrate y así se extraiga el grano por pisoteo con animales o por golpe sobre el piso usando varas de madera, cuando se trate de cantidades pequeñas (1 a 2 ha). El uso de trilladoras mecánicas es recomendado para cosechas grandes. La práctica tradicional de pisoteo con camión, daña la semilla por aplastamiento y la calidad del grano se reduce significativamente (Peralta, et al. 2010).

1.4.4 LIMPIEZA Y SELECCIÓN

Esta etapa consiste en eliminar los residuos de las vainas que quedaron después del proceso de desvainado, es decir, los restos de grano que se dañaron en dicho proceso y las impurezas del medio. Esto se lo realiza por medio de ventilado natural o usando un ventilador.

El ventilado natural es el tradicional y consiste en levantar hacia el aire de modo sistemático ciertas cantidades del grano utilizando una pala, de modo que el viento se lleve las impurezas y caiga el fréjol limpio.

1.4.5 ALMACENAMIENTO

Una vez seleccionado el fréjol de mejor calidad, se procede a almacenarlo en costales para proceder a su comercialización.

El grano para consumo y la semilla se deben almacenar en lugares frescos de 10 a 12°C y secos, con 70% de humedad relativa (cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está), libre de gorgojo (plagas en los cultivos) y con humedad en el grano inferior al 13% (Peralta, et al. 2010).

1.4.6 COMERCIALIZACIÓN

Se están realizando pruebas para la industria de enlatado con las variedades de color rojo sólido (ICA Quimbayá, INIAP 402, BRB 194, BRB 195, DRK 105), negros (G21-212, L88-63, A-55, Cóndor, Negro San Luis) y amarillos INIAP 420 Chota e INIAP 480 Rocha).

Para la elaboración de harina se han evaluado seis variedades comerciales y sobresalen por su rendimiento harinero INIAP 480 Rocha (74%), INIAP 481 Rojo del Valle (69%), INIAP Canario del Chota (68%), INIAP 430 Portilla (67%), INIAP 482 Afroandino (66%), INIAP 424 Concepción (65%).

Los granos de color rojo y morado moteado, son usados por los programas de alimentación del Gobierno.

Para los granos de color rojo moteado y morado moteado (con crema), en grano seco, el mercado potencial es Colombia.

Para los granos de color amarillo (canario) en grano seco o tierno el mercado es el nacional.

Para los granos de color blanco de tamaño grande el mercado es el nacional, con énfasis en Semana Santa (abril) en donde se acostumbra comer la conocida fanesca. No hay consumo de los granos de color blanco, en grano seco de tamaño grande.

La variedad INIAP 421 Bolívar, de color rojo entero, ha presentado buenas características y está siendo adoptado por la agroindustria para enlatado (Peralta, et al. 2010).

1.5 INVESTIGACIÓN DE MÁQUINAS DESVAINADORAS DE FRÉJOL SECO

En el Ecuador existe maquinaria especializada en el pelado de leguminosas y se llaman trilladoras, las cuales funcionan incorporándolas en tractores, su uso es directamente para cantidades industriales de cultivos y su costo es muy elevado.

Existen máquinas para desvainar fréjol con diferentes principios de funcionamiento, las cuales se detallan a continuación:

1.5.1 MEDIANTE RODILLOS

Aguilar & Haro (2010) en su investigación, informan que este diseño funciona utilizando un motor eléctrico y un reductor que hace girar a un eje acoplado a un

rodillo motriz o principal, el mismo que hace girar una banda de distribución, la cual está sostenida por varios rodillos conducidos ubicados en serie; en el extremo del mismo eje se encuentra acoplado otro rodillo, el cual transmite movimiento en sentido contrario mediante un engrane a un mecanismo similar en la parte superior.

El fréjol que entra a este sistema es desvainado por medio del giro y la aplicación de fuerza de los rodillos conducidos.

Esta máquina tiene un rendimiento de 2 quintales de fréjol en grano cada hora, de acuerdo a las medidas con las que ha sido diseñada por los autores antes mencionados.

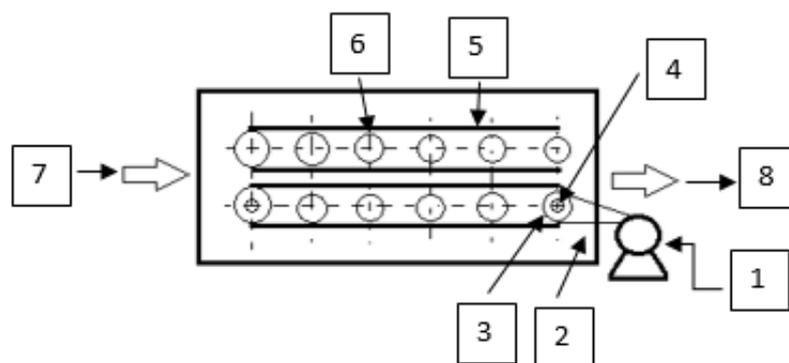


Figura 1. 11 Principio mediante rodillos

Nota. Fuente: Adaptado de Aguilar, D., & Haro, D. (2010). *Diseño y construcción de una máquina desvainadora de fréjol para los pequeños agricultores de la parroquia de Ambuquí en la provincia de Imbabura.* (p. 26). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- 1 Motor eléctrico
- 2 Banda de transmisión
- 3 Rodillo principal
- 4 Eje
- 5 Banda
- 6 Rodillos
- 7 Entrada
- 8 Salida

1.5.2 MEDIANTE PALETAS

Este principio de funcionamiento ha sido extraído de una investigación de campo, es decir, tomándola de otras máquinas que cumplen funciones similares en desvainado de diferentes productos, por lo cual las medias físicas con las cuales se obtendrá un diseño óptimo serán elegidas en base a la experimentación o ensayo y error.

Este sistema funciona mediante un eje que tiene acoplado a él una especie de paletas, ubicadas en forma de tornillo sin fin alrededor de dicho eje, las cuales giran a determinada velocidad de modo que el fréjol que entra sea golpeado y sometido a fuerzas centrífugas, pero que no sufra daños, por tal motivo, esta máquina está dirigida a desvainar solamente el fréjol seco, ya que el grano del fréjol tierno podría sufrir daños y su calidad no sería la más apropiada para la comercialización, por tal motivo éste es el principio de funcionamiento con el que vamos a diseñar la máquina desvainadora de fréjol seco, ya que cumple con los objetivos del presente proyecto que es desvainar el fréjol seco únicamente.

Una vez que el fréjol seco sea sometido al sistema de desvainado cae por una malla o plancha perforada y su cáscara sale por medio de un ventilador acoplado al final del mismo eje, de esta manera se separa el grano de su cáscara.

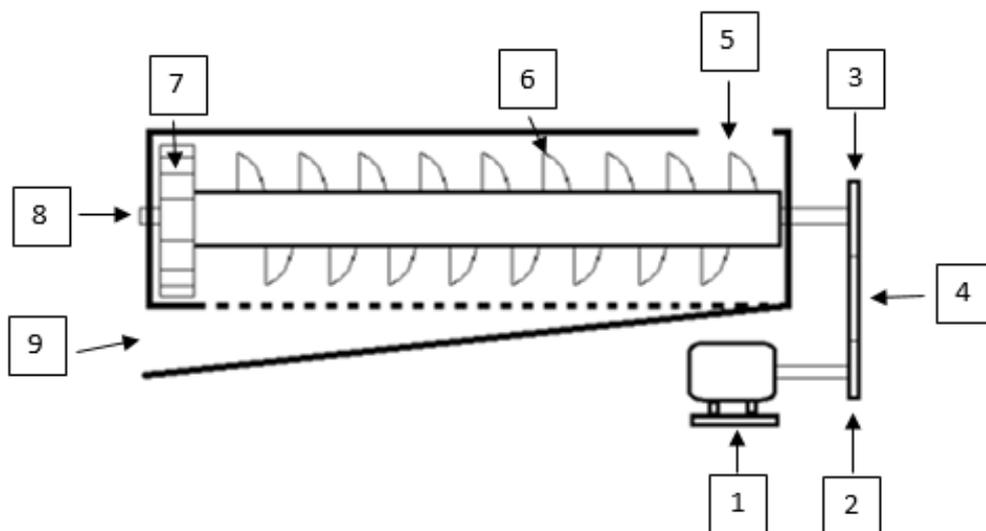


Figura 1. 12 Principio mediante paletas

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

- 1 Motor eléctrico
- 2 Polea motriz

- 3 Polea conducida
- 4 Banda de transmisión
- 5 Entrada
- 6 Paletas
- 7 Ventilador
- 8 Eje
- 9 Salida

CAPÍTULO II.

PREDISEÑO DE LA MÁQUINA

2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO

Las especificaciones técnicas son los parámetros bases en los que el diseñador se debe guiar para el desarrollo teórico y práctico del presente proyecto.

Las especificaciones técnicas para diseñar la máquina desvainadora de fréjol seco son las siguientes:

1. Fuente de energía
2. Capacidad
3. Tiempo de proceso
4. Costo de operación
5. Calidad y salubridad del producto
6. Tamaño de la máquina
7. Materiales a utilizar
8. Seguridad
9. Ergonomía
10. Facilidad de operación
11. Mantenimiento
12. Costo de la máquina

2.1.1 FUENTE DE ENERGÍA

La máquina deberá funcionar mediante energía eléctrica a 110/220V, ya que ésta es la principal fuente de energía que existe en el norte del país, zona a la cual está destinada se utilice esta máquina.

2.1.2 CAPACIDAD

La máquina deberá tener la capacidad de producir 100 libras de grano de fréjol seco en un tiempo aproximado de 20 minutos.

2.1.3 TIEMPO DE PROCESO

Es el tiempo que la máquina toma para sacar el grano de fréjol seco de la vaina y lo separe de manera que la cáscara salga por una cavidad y el grano salga por otra, obteniendo así un producto libre de impurezas.

2.1.4 OPERACIÓN

La máquina será semiautomática, es decir que siempre tiene que estar un operario al frente de cada proceso de desvainado, ya que el ingreso del fréjol seco a la tolva de alimentación tiene que ser constante.

Además contará con un sensor, que servirá para apagar la máquina automáticamente si ésta no es utilizada durante al menos 10 minutos, contribuyendo así al ahorro de la energía eléctrica.

2.1.5 CALIDAD Y SALUBRIDAD DEL PRODUCTO

El producto deberá salir en excelente estado y libre de impurezas; las partes de la máquina que estarán en contacto directo con el grano desvainado deberán tener materiales apropiados e inoxidables, según las normas de salubridad que rigen en el Ecuador.

2.1.6 TAMAÑO DE LA MÁQUINA

La máquina deberá tener un tamaño apropiado de manera que pueda ser instalada en cualquier lugar y su peso debe ser adecuado para que su traslado sea fácil ya que los agricultores necesitarán movilizarse con la máquina a diferentes sitios de cultivos de fréjol.

2.1.7 MATERIALES A UTILIZAR

Los materiales serán de acero en su mayoría y los que estén en contacto directo con el fréjol serán de acero inoxidable para resguardar condiciones de salubridad óptimas.

2.1.8 SEGURIDAD

Es importante garantizar la seguridad física del operario por lo que las zonas riesgosas que puedan causar daños, deben estar fuera del alcance de cualquier extremidad del ser humano, debe haber seguridades, protecciones y además habrá un botón de parado de emergencia, el mismo que detendrá totalmente el funcionamiento de la máquina, si algún problema se suscita en el proceso de desvainado del fréjol seco.

2.1.9 ERGONOMÍA

La salud y bienestar es un aspecto fundamental que el trabajador necesita al momento de operar la máquina, por esa razón la misma será diseñada bajo parámetros de ergonomía, así el operario guardará una postura adecuada, no tendrá que sacrificarse físicamente y por ende el trabajo no será abrumador.

2.1.10 FACILIDAD DE OPERACIÓN

La máquina será diseñada para que cualquier persona o neófito pueda utilizarla sin ningún problema además tendrá un manual de usuario el cual contendrá información suficiente para que cualquier duda sea satisfecha.

2.1.11 MANTENIMIENTO

De acuerdo al uso que se le de a la máquina, ésta debe tener un mantenimiento periódico, el cual se indicará como hacerlo en el manual de mantenimiento, para mantener en buen estado y funcionamiento el aparato se deberá cumplir con lo estipulado en dicho manual de mantenimiento.

2.1.12 COSTO DE LA MÁQUINA

El costo de la máquina debe estar al alcance de los pequeños agricultores ya que hacia ellos está dirigido el uso de esta máquina. Debe costar no más de 1300 dólares.

2.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO, SELECCIÓN DE ALTERNATIVA Y DE SUS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

para la construcción de una máquina se pueden tener varias alternativas de diseño, las cuales se diferencian unas de otras por sus mejoras y las ventajas que nos ofrecen.

Para seleccionar la alternativa de diseño que más nos convenga debemos hacer un análisis minucioso de cada diseño.

Las siguientes son las alternativas de diseño que nos hemos planteado y de ellas se escogerá la más óptima realizando un análisis técnico:

2.2.1 ALTERNATIVA DE DISEÑO 1

La principal ventaja de esta alternativa de diseño es que el fréjol seco va a ingresar de forma constante a la zona de desvainado, ya que cuenta con una zona de carga de producto, por lo tanto mejora la eficiencia de la máquina y además es ergonómica ya que el operario no tiene que realizar esfuerzos físicos y puede trabajar con su postura adecuada y cómoda, es decir con espalda recta, piernas estiradas, brazos alzados bajo la altura de los hombros y cuello recto.

Además las zonas de salida del fréjol desvainado y de la cáscara, permiten su correcto almacenamiento.

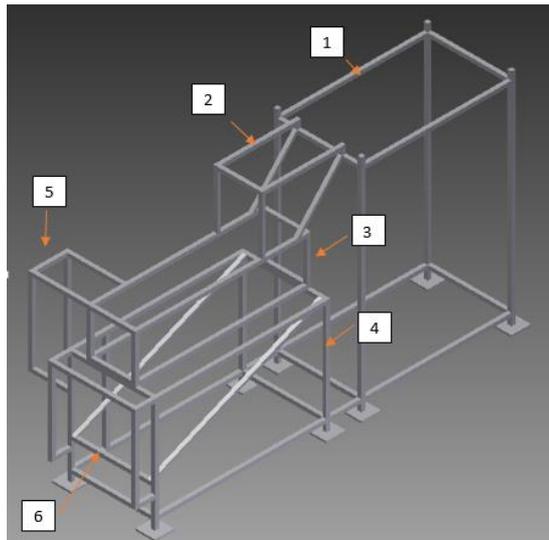


Figura 2. 1 Alternativa de diseño 1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Partes de la alternativa de diseño 1:

- 1 Zona de carga del producto
- 2 Zona de la cavidad de entrada
- 3 Zona del sistema de desvainado
- 4 Zona del motor eléctrico y componentes electrónicos
- 5 Zona de salida de la cáscara del fréjol
- 6 Zona de salida del fréjol desvainado

2.2.1.1 Ventajas

- Tiempo de proceso óptimo.
- Zona de alimentación eficiente.
- Ergonomía.
- Operatividad sencilla.
- No ensucia el ambiente.
- Seguridad laboral.
- Transporte fácil.
- Mantenimiento.
- Apagado automático.
- Funcionamiento con energía eléctrica.

2.2.1.2 Desventajas

- Se necesita un operario para el manejo de la máquina durante su uso.
- Tamaño.

2.2.2 ALTERNATIVA DE DISEÑO 2

Esta alternativa de diseño tiene la ventaja de tener un tamaño mejor a la anterior, pero eso representa que la cantidad de producto que va a ser ingresada al sistema de desvainado es periódica, por lo tanto el operario tendrá que sostener en sus manos cantidades moderadas y esto posiblemente afectare a su salud por el esfuerzo físico que está realizando y no es un trabajo ergnómico puesto que tendrá que agacharse y pararse mientras coge el producto del piso.

Además la zona de salida del fréjol seco desvainado es bastante limitada, ya que tiene una cierta capacidad para almacenarlo; y la zona de salida de la cáscara tiene un diseño que ensucia el ambiente de trabajo y no permite almacenarla en un recipiente adecuadamente.

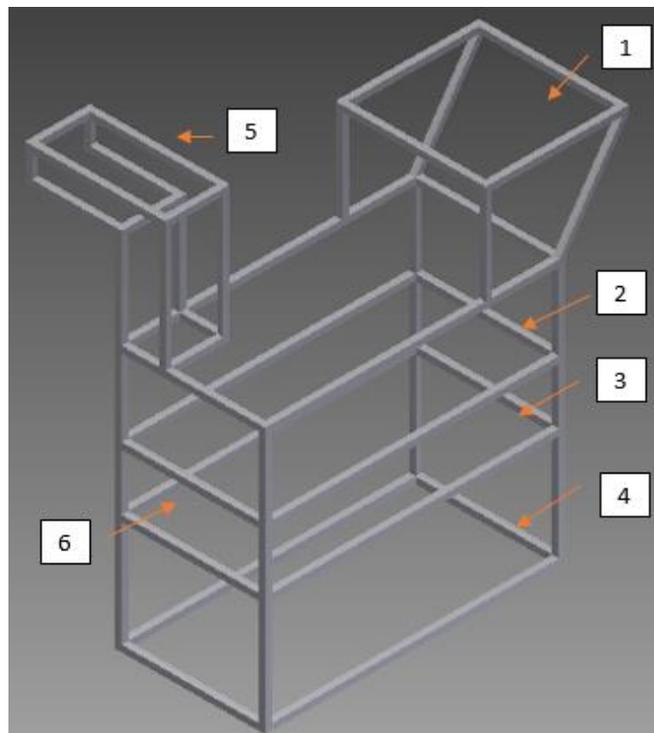


Figura 2. 2 Alternativa de diseño 2

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Partes de la alternativa de diseño 2:

- 1 Zona de alimentación
- 2 Zona del sistema de desvainado
- 3 Zona de almacenamiento del fréjol desvainado
- 4 Zona del motor eléctrico y componentes electrónicos
- 5 Zona de salida de la cáscara del fréjol
- 6 Zona de salida del fréjol desvainado

2.2.2.1 Ventajas

- Tamaño bastante reducido.
- Transporte fácil.
- No ocupa excesivo espacio físico.
- Funcionamiento con energía eléctrica.
- Apagado automático.
- Mantenimiento.

2.2.2.2 Desventajas

- Zona de alimentación reducida.
- Zona de salida de la cáscara del fréjol seco ensucia el ambiente.
- Zona de almacenamiento del fréjol seco desvainado limitada.
- Zona de salida del fréjol seco desvainado poco eficiente.
- Tiempo de proceso alto.
- No ergonómica.
- Seguridad del operario riesgosa.
- Se necesita un operario para el manejo de la máquina durante su uso.

2.2.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE DISEÑO Y DE SUS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Para seleccionar la alternativa de diseño que mejor se adapte a nuestras necesidades y cumpla con los objetivos planteados, a continuación se realiza un análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados.

Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*.

Riba (2002) afirma:

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio. (pp. 59-60)

La alternativa de diseño 1 será representada por la letra A y la alternativa de diseño 2 será representada por la letra B.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) *Tiempo*: es el tiempo de proceso en el que la máquina debe demorarse en desvainar una cantidad de fréjol seco.
- b) *Capacidad*: es la capacidad que tiene la tolva para soportar la cantidad necesaria de fréjol seco en vaina.
- c) *Costo*: la máquina debe costar no más de 1300 dólares.

d) *Ergonomía*: el bienestar del trabajador es muy importante, por ello el diseño de la máquina debe contribuir a mantener la correcta postura física del operario y evitar así lesiones ocasionadas por la labor que cumple.

e) *Seguridad*: las partes peligrosas y que atenten contra la integridad física del operario deben estar a una distancia prudente de la zona de trabajo y de cualquiera de las extremidades del mismo.

f) *Producto*: es el fréjol en grano el cual debe salir por una cavidad que permita ser almacenado ya sea en bolsas, costales o cualquier recipiente de la manera más sencilla y eficaz posible.

g) *Desechos*: una vez que la vaina es separada del grano, ésta debe ser almacenada en un recipiente aparte, de una manera que no ensucie el ambiente de trabajo, por ello la cavidad por donde salgan estos desechos debe permitir este objetivo.

h) *Tamaño*: la máquina debe tener un tamaño adecuado, de manera que sea posible ubicarla en cualquier sitio donde se requiera su uso y no presente complicaciones en su transporte.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 2. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio de la selección de alternativa

Criterio	Tiempo	Capacidad	Costo	Ergonomía	Seguridad	Producto	Desechos	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderación
Tiempo		0,5	1	0,5	0,5	1	1	1	7	0,19
Capacidad	0,5		0,5	0,5	0	1	1	0,5	5	0,14
Costo	0	0,5		0	0	0	0	0,5	2	0,05
Ergonomía	0,5	0,5	1		0,5	1	1	1	6,5	0,18
Seguridad	0,5	1	1	0,5		1	1	1	7	0,19
Producto	0	0	1	0	0		0,5	1	3,5	0,09

Desechos	0	0	1	0	0	0,5		1	3,5	0,09
Tamaño	0	0,5	0,5	0	0	0	0		2	0,05
								Suma	36,5	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio **tiempo**

Tabla 2. 2 Evaluación del peso específico del criterio tiempo

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	2	0,67
B	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio **capacidad**

Tabla 2. 3 Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	2	0,67
B	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4. Evaluación del peso específico del criterio **costo**

Tabla 2. 4 Evaluación del peso específico del criterio costo

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0	1	0,33
B	1		2	0,67
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **ergonomía**

Tabla 2. 5 Evaluación del peso específico del criterio ergonomía

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	2	0,67
B	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

6. Evaluación del peso específico del criterio **seguridad**

Tabla 2. 6 Evaluación del peso específico del criterio seguridad

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	2	0,67
B	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

7. Evaluación del peso específico del criterio **producto**

Tabla 2. 7 Evaluación del peso específico del criterio producto

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	2	0,67
B	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

8. Evaluación del peso específico del criterio **desechos**

Tabla 2. 8 Evaluación del peso específico del criterio desechos

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	2	0,67
B	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

9. Evaluación del peso específico del criterio **tamaño**

Tabla 2. 9 Evaluación del peso específico del criterio tamaño

Peso específico	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0	1	0,33
B	1		2	0,67
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

10. **Tabla de conclusiones**

Tabla 2. 10 Tabla de conclusiones de selección de alternativa

CONCLUSIÓN	TIEMPO	CAPACIDAD	COSTOS	ERGONOMÍA	SEGURIDAD	PRODUCTO	DESHECHOS	TAMAÑO	Σ	PRIORIDAD
A	0,1273	0,0938	0,0165	0,1206	0,1273	0,0603	0,0603	0,0165	0,5623	1
B	0,0627	0,0462	0,0335	0,0594	0,0627	0,0297	0,0297	0,0335	0,3574	2

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados la solución A es la que mejor cumple los parámetros establecidos y es decir que la alternativa de diseño 1 es la seleccionada.

2.2.3.1 Selección de los elementos constitutivos

El seleccionamiento de los elementos o materiales con los cuales se va a construir la máquina desvainadora de fréjol seco, se lo realiza en base al análisis de aplicaciones previas, a la experiencia de técnicos asesores y por supuesto a las características mecánicas que posee cada material.

2.2.3.1.1 Aceros Inoxidables

Por definición el acero inoxidable es un material compuesto por una aleación de acero, cromo y níquel, de alta resistencia a la corrosión.

Tabla 2. 11 Características mecánicas del acero inoxidable

Material	Módulo de elasticidad E (Mpsi)	Módulo de rigidez G (Mpsi)	Peso unitario w (lb/pulg³)
Acero Inoxidable	27,6	10,6	0,280

Nota. Fuente: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Octava edición. (p. iii).

A continuación analizaremos las ventajas de los aceros inoxidables:

- Alta resistencia a la corrosión.
- Resistencia a baja y alta temperaturas.
- Facilidad para su maquinado.
- Estética.
- Propiedades higiénicas y salubres para alimentos.
- Ciclo de trabajo durable, con alto ciclo vital.

Fuente: Echeverría, M., I., Núñez, Solís, E., & Huerta, Ibáñez, J., M. (2010). Chile: INDURA.

2.2.3.1.2 Eje de acero inoxidable AISI 304

El eje que se va a utilizar en el sistema de desvainado del fréjol seco es el eje de acero inoxidable AISI 304, el cual posee las siguientes características mecánicas:

Tabla 2. 12 Características mecánicas del eje acero inoxidable AISI 304

Esfuerzo de fluencia	310 (Mpa)
Esfuerzo máximo	620 (Mpa)
Módulo de elasticidad	200 (Gpa)
Elongación	30% en 50 mm

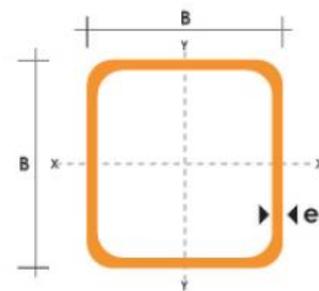
Fuente: DIPAC Manta S.A. (2012). Catálogo de productos DIPAC

2.2.3.1.3 Tubo estructural cuadrado Norma ASTM A-500 GRADO A

La estructura de la máquina desvainadora de fréjol seco será armada con el tubo estructural cuadrado Norma ASTM A-500 GRADO A, el cual posee las siguientes características mecánicas:

Tabla 2. 13 Características mecánicas del tubo estructural cuadrado ASTM A-500 Grado A

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



NOMENCLATURA	
A=	Area de la selección transversal del tubo, cm ²
I=	Momento de inercia de la sección, cm ⁴
W=	Módulo resistente de la sección, cm ³
i=	Radio de giro de la sección cm

Fuente: DIPAC Manta S.A. (2012). Catálogo de productos DIPAC

2.2.3.1.4 Plancha de acero laminada al caliente Norma ASTM A-588M GRADO A

La estructura de la máquina desvainadora de fréjol seco estará cubierta en ciertas zonas por la plancha de acero laminada al caliente Norma ASTM A-588M GRADO A, la cual tiene las siguientes características mecánicas:

Tabla 2. 14 Características mecánicas de la plancha de acero laminada al caliente Norma ASTM A-588 GRADO A

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°	NORMA EQUIVA-LENTE
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

Fuente: DIPAC Manta S.A. (2012). Catálogo de productos DIPAC

2.2.3.1.5 Plancha de acero inoxidable Norma AISI 304

Debido a su propiedad de higiene y salubridad para alimentos, se utilizará la plancha de acero inoxidable AISI 304, la cual tiene las siguientes características mecánicas:

Tabla 2. 15 Características mecánicas de la plancha de acero inoxidable Norma AISI 304

Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICION QUIMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenite	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,50	0,06	0,030	3,50 ~ 5,5
	10 Cr-9Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	25Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,50	2,08 ~ max	0,04	0,030	19,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	18Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 J1		4505	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	18,00 ~ 15,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
18Cr-9Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00	
18Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4550	0,08 max	1,00	2,08 ~ max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00	
Ferrite	13Cr-Al	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,08 max	0,04	0,030	0,60 max
	16Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,08 max	0,04	0,030	
	18Cr	SUS 430	430	4016	0,12 max	0,75	1,08 max	0,04	0,030	0,60 max
	18Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,08 max	0,04	0,030	
Martensite	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,08 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,08 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr-high C	SUS 420 J2	420	4021	0,26 ~ 0,40	1,00	1,08 max	0,04	0,030	
	18Cr-high C	SUS 440 A	440 A		0,60 ~ 0,75	1,00	1,08 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 631	631		0,09 max	1,00	1,08 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

Fuente: DIPAC Manta S.A. (2012). Catálogo de productos DIPAC

2.2.3.2 Selección de los componentes mecánicos

Los componentes mecánicos son aquellos elementos que cumplen una función específica y son adquiridos comercialmente. Para determinar cuál es el componente que cumple de mejor manera la función especificada, nuevamente recurrimos al análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados. Véase la Sección 2.2.3

2.2.3.2.1 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión es aquel sistema que transmite movimiento desde el motor hasta el eje del sistema de desvainado y se lo puede realizar mediante diferentes alternativas que nombro a continuación:

- Bandas
- Cadenas
- Engranajes

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) *Reducción*: se refiere a la reducción de velocidad ya que el sistema de desvainado de fréjol seco necesitará una cierta velocidad para que realice correctamente su trabajo.
- b) *Costo bajo*: debido a que la máquina debe ser asequible para los usuarios, es importante utilizar mecanismos de bajo costo.
- c) *Ensamblaje*: el sistema de transmisión debe permitir que sea fácil su ensamble y desmonte.
- d) *Mantenimiento*: es importante que el sistema de transmisión no necesite excesivo mantenimiento para evitarle complicaciones al usuario en el uso de la máquina.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 2. 16 Evaluación del peso específico de cada criterio del sistema de transmisión

Criterio	Reducción	Costo bajo	Ensamblaje	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Reducción		1	0,5	1	3,5	0,25
Costo bajo	0		0	0,5	1,5	0,11
Ensamblaje	0	1		0,5	2,5	0,18
Mantenimiento	0	0,5	0,5		6,5	0,46
				Suma	14	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio **reducción**

Tabla 2. 17 Evaluación del peso específico del criterio reducción

Peso específico	Bandas	Cadenas	Engranés	$\Sigma+1$	Ponderación
Bandas		0,5	0	1,5	0,37
Cadenas	0,5		0	1,5	0,37
Engranés	0	0		1	0,25
			Suma	4	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio costo bajo

Tabla 2. 18 Evaluación del peso específico del criterio costo bajo

Peso específico	Bandas	Cadenas	Engranés	$\Sigma+1$	Ponderación
Bandas		1	1	3	0,5
Cadenas	0		1	2	0,67
Engranés	0	0		1	0,17
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4. Evaluación del peso específico del criterio **ensamblaje**

Tabla 2. 19 Evaluación del peso específico del criterio ensamblaje

Peso específico	Bandas	Cadenas	Engranés	$\Sigma+1$	Ponderación
Bandas		1	1	3	0,5
Cadenas	0		0,5	1,5	0,25
Engranés	0	0,5		1,5	0,15
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **mantenimiento**

Tabla 2. 20 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Peso específico	Bandas	Cadenas	Engranés	$\Sigma+1$	Ponderación
Bandas		1	1	3	0,5
Cadenas	0		1	2	0,67
Engranés	0	0		1	0,17
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Tabla 2. 21 Tabla de conclusiones de sistema transmisión

Conclusión	Reducción	Costo bajo	Ensamblaje	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Bandas	0,0925	0,055	0,09	0,23	0,47	1
Cadenas	0,0925	0,0737	0,045	0,3082	0,24	2
Engranés	0,0625	0,0187	0,027	0,0782	0,18	3

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados en la Tabla 2.21 la solución que mejor cumple los parámetros establecidos es el sistema de transmisión por bandas y es la alternativa seleccionada.

2.2.3.2.2 Bandas de transmisión

El sistema de transmisión ha sido determinado que se lo va a realizar por bandas, a continuación se nombra y selecciona de las diferentes alternativas una banda de transmisión utilizando el análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados. Véase la Sección 2.2.3

- Bandas en V
- Bandas planas
- Bandas síncronas

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) *Fricción*: es el deslizamiento que se produce entre la banda y la polea cuando aumenta el par torsional.
- b) *Resistencia*: es la resistencia que pone la banda cuando su tensión aumenta.
- c) *Transmisión*: se refiere a la cantidad de par torsional que puede transmitir la banda.
- d) *Costo*: es el costo de cada tipo de banda, lo cual no significa que la más económica sea de mala calidad, sino que por su diseño su precio varía.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 2. 22 Evaluación del peso específico de cada criterio de las bandas de transmisión

Criterio	Fricción	Resistencia	Transmisión	Costo	$\sum+1$	Ponderación
Fricción		0,5	0,5	1	3	0,3
Resistencia	0,5		0,5	1	3	0,3

Transmisión	0,5	0,5		1	3	0,3
Costo	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.

2. Evaluación del peso específico del criterio **fricción**

Tabla 2. 23 Evaluación del peso específico del criterio fricción

Criterio	Bandas en V	Bandas planas	Bandas síncronas	$\Sigma+1$	Ponderación n
Bandas en V		1	1	3	0,5
Bandas planas	0		1	2	0,33
Bandas síncronas	0	0		1	0,17
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio **resistencia**

Tabla 2. 24 Evaluación del peso específico del criterio resistencia

Criterio	Bandas en V	Bandas planas	Bandas síncronas	$\Sigma+1$	Ponderación n
Bandas en V		0,5	1	2,5	0,38
Bandas planas	1		1	3	0,46
Bandas síncronas	0	0		1	0,15
			Suma	6,5	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4. Evaluación del peso específico del criterio **transmisión**

Tabla 2. 25 Evaluación del peso específico del criterio transmisión

Criterio	Bandas en V	Bandas planas	Bandas síncronas	$\Sigma+1$	Ponderación n
Bandas en V		1	1	3	0,38
Bandas planas	0		1	2	0,46

Bandas síncronas	0	0		1	0,15
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **costo**

Tabla 2. 26 Evaluación del peso específico del criterio costo

Criterio	Bandas en V	Bandas planas	Bandas síncronas	$\Sigma+1$	Ponderación
Bandas en V		0,5	1	2,5	0,42
Bandas planas	0,5		1	2,5	0,42
Bandas síncronas	0	0		1	0,17
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Tabla 2. 27 Tabla de conclusiones de bandas de transmisión

Conclusión	Fricción	Resistencia	Transmisión	Costo	Σ	Prioridad
Bandas en V	0,15	0,114	0,114	0,042	0,42	1
Bandas planas	0,099	0,138	0,138	0,042	0,417	2
Bandas síncronas	0,051	0,045	0,045	0,017	0,158	3

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados en la Tabla 2.27 la solución que mejor cumple los parámetros establecidos es el sistema de transmisión por bandas en V y es la alternativa seleccionada.

2.2.3.2.3 *Cojinetes con contacto de rodadura*

El sistema de transmisión ha sido determinado que se lo va a realizar por bandas, a continuación se nombra y selecciona de las diferentes alternativas una banda de transmisión mediante el análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados. Véase la Sección 2.2.3

- Rodamiento de una hilera de bolas
- Rodamiento de bolas con contacto angular
- Rodamiento de rodillos cilíndricos

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) *Carga radial*: es la capacidad que tiene el rodamiento de soportar cargas radiales.
- b) *Empuje*: es la resistencia que pone la banda cuando su tensión aumenta.
- c) *Lubricación*: se refiere al manejo de lubricantes y su uso periódico en el rodamiento.
- d) *Costo*: es el costo de cada tipo de cojinete, el cual varía de acuerdo al diseño y su aplicación.
- e) *Accesibilidad*: quiere decir cómo se encuentran estos productos comercialmente en nuestro entorno de proveedores y distribuidores.
- f) *Auto alineamiento*: es la capacidad que tiene el rodamiento de girar angularmente para alinearse con el eje en caso de que éste no se encuentre nivelado horizontalmente.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 2. 28 Evaluación del peso específico de cada criterio de los cojinetes con contacto de rodadura

Criterio	Carga radial	Empuje	Lubricación	Costo	Accesibilidad	Auto alineamiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Carga radial	1	1	1	1	1	0,5	5,5	0,275
Empuje	0	1	0	0	0	0	1	0,05
Lubricación	0	1	1	0,5	0	0	2,5	0,125
Costo	0	0	0,5	1	0,5	0	2	0,1
Accesibilidad	0	1	1	0,5	1	0	3,5	0,175
Auto alineamiento	0,5	1	1	1	1	1	5,5	0,275
						Suma	20	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio **carga radial**

Tabla 2. 29 Evaluación del peso específico del criterio carga radial

Criterio	Rodamiento de una hilera de bolas	Rodamiento de bolas con contacto angular	Rodamiento de rodillos cilíndricos	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamiento de una hilera de bolas	1	0	0	1	0,17
Rodamiento de bolas con contacto angular	1	1	0	2	0,33
Rodamiento de rodillos cilíndricos	1	1	1	3	0,5
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio **empuje**

Tabla 2. 30 Evaluación del peso específico del criterio empuje

Criterio	Rodamiento de una hilera de bolas	Rodamiento de bolas con contacto angular	Rodamiento de rodillos cilíndricos	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamiento de una hilera de bolas		0	0	1	0,18
Rodamiento de bolas con contacto angular	1		1	3	0,54
Rodamiento de rodillos cilíndricos	0,5	0		1,5	0,27
			Suma	5,5	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4. Evaluación del peso específico del criterio **lubricación**

Tabla 2. 31 Evaluación del peso específico del criterio lubricación

Criterio	Rodamiento de una hilera de bolas	Rodamiento de bolas con contacto angular	Rodamiento de rodillos cilíndricos	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamiento de una hilera de bolas		1	1	3	0,5
Rodamiento de bolas con contacto angular	0		0,5	1,5	0,25
Rodamiento de rodillos cilíndricos	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **costo**

Tabla 2. 32 Evaluación del peso específico del criterio costo

Criterio	Rodamiento de una hilera de bolas	Rodamiento de bolas con contacto angular	Rodamiento de rodillos cilíndricos	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamiento de una hilera de bolas		1	1	3	0,5
Rodamiento de bolas con contacto angular	0		0	1	0,17
Rodamiento de rodillos cilíndricos	0	1		2	0,33
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

6. Evaluación del peso específico del criterio **accesibilidad**

Tabla 2. 33 Evaluación del peso específico del criterio accesibilidad

Criterio	Rodamiento de una hilera de bolas	Rodamiento de bolas con contacto angular	Rodamiento de rodillos cilíndricos	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamiento de una hilera de bolas		1	1	3	0,5
Rodamiento de bolas con contacto angular	0		0,5	1,5	0,25
Rodamiento de rodillos cilíndricos	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

7. Evaluación del peso específico del criterio **auto alineamiento**

Tabla 2. 34 Evaluación del peso específico del criterio auto alineamiento

Criterio	Rodamiento de una hilera de bolas	Rodamiento de bolas con contacto angular	Rodamiento de rodillos cilíndricos	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamiento de una hilera de bolas		1	1	3	0,5
Rodamiento de bolas con contacto angular	0		0,5	1,5	0,25
Rodamiento de rodillos cilíndricos	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

8. Tabla de conclusiones

Tabla 2. 35 Tabla de conclusiones de los cojinetes con contacto de rodadura

Conclusión	Carga radial	Empuje	Lubricación	Costo	Accesibilidad	Auto alineamiento	Σ	Prioridad
Rodamiento de una hilera de bolas	0,047	0,009	0,063	0,05	0,088	0,138	0,40	1
Rodamiento de bolas con contacto angular	0,091	0,027	0,031	0,017	0,044	0,069	0,28	2

Rodamiento de rodillos cilíndricos	0,13 7	0,013	0,031	0,03 3	0,044	0,069	0,3 3	3
------------------------------------	-----------	-------	-------	-----------	-------	-------	----------	---

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados en la Tabla 2.35 la solución que mejor cumple los parámetros establecidos es el rodamiento de una hilera de bolas y es la alternativa seleccionada.

2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Toda la estructura de la máquina es armada con tubo estructural cuadrado Norma ASTM A-500, GRADO A, debido a sus buenas características mecánicas.

La cubierta de la máquina en la zona externa es mediante planchas de acero laminadas al caliente NORMA ASTM A-588M GRADO A, de diferentes espesores dependiendo su aplicación.

En las zonas donde haya contacto directo con el grano, por normas de salubridad, se usa planchas de acero inoxidable NORMA AISI 304, que posee características como resistencia a la corrosión y a los ataques químicos del medio ambiente y es utilizado en las industrias alimenticias.

El sistema que realiza el desvainado del fréjol seco utiliza un eje de acero inoxidable Norma AISI 304, resistente al efecto corrosivo del medio ambiente y es fácil su mecanizado; acoplado a él se encuentran paletas de acero inoxidable AISI 304, las cuales son las que van a golpear al fréjol en vaina para que el grano salga de su cáscara.

Como cojinetes se va a utilizar 2 chumaceras de rodamiento de una hilera de bolas que servirán para sostener al eje en el sistema de desvainado y a la vez a la polea conducida para banda en V que se acopla a éste.

Se utilizará un sensor para apagado automático, el cual estará ubicado estratégicamente en la parte interior de la zona de salida del fréjol desvainado, de manera que cuando la máquina no esté siendo utilizada por el operario, se apague automáticamente después de 10 minutos.

El circuito de control consta de componentes eléctricos y electrónicos, así como un relé, un relé térmico, un contactor, pulsadores, un microprocesador, transistores, resistencias y capacitores, que controlan el correcto funcionamiento del sensor y da la señal para que se apague automáticamente el motor.

Tablero de encendido on/off y parado de emergencia, estará ubicado bajo la zona de carga del producto, por dos razones primordiales, la primera se debe a que está cerca del lugar en donde el operario va a estar la mayor parte del tiempo por si se suscite una emergencia y necesite apagar la máquina y la segunda razón es porque allí no habrá riesgo de que dicho tablero sufra golpes y se dañe.

El largo, alto y ancho de la máquina deberán ser diseñados de manera que no ocupe excesivo espacio físico y usarla sea cómodo ya que el operario, por la altura de la máquina, no tiene que hacer esfuerzos físicos excesivos para poner el producto en la zona de carga.

La capacidad del motor, así como las rpm óptimas en el sistema de desvainado serán seleccionadas cuidadosamente con pruebas de campo y cálculos matemáticos, de manera que el grano salga de la mejor calidad posible y con pérdidas mínimas.

Se puede concluir haciendo énfasis en las buenas características mecánicas que tendrá la máquina, lo cual es muy importante ya que garantiza un tiempo de vida útil de este aparato bastante largo y además contribuye al ahorro energético gracias al sensor y su circuito de control.

CAPÍTULO III.

DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS SISTEMAS DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico está conformado por diferentes partes y sistemas los cuales son analizados a continuación:

3.1.1 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

Para el análisis y cálculo de las diferentes partes de la estructura de la máquina se la divide en:

1. Tolva de alimentación
2. Zona del sistema de desvainado del fréjol seco
3. Zona contenedora del motor
4. Zona de salida del grano de fréjol seco y zona de salida de la vaina
5. Base de la máquina

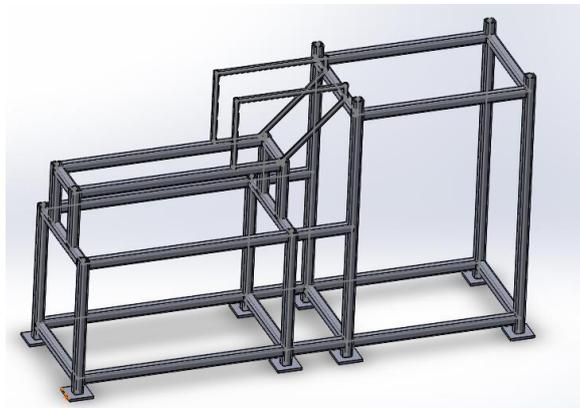


Figura 3. 1 Estructura de la máquina

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.1.1 Tolva de alimentación

La tolva de alimentación es en donde se van a asentar cantidades de 25 libras de fréjol seco a la vez, capacidad que tiene la tolva, de manera que el operario tendrá listo el material para ir ingresándolo en la cavidad de entrada que lleva directo al sistema de desvainado.

La tolva de alimentación se divide en dos partes que las llamamos zona de carga del producto y zona de la cavidad de entrada. Véase la Figura 3.2

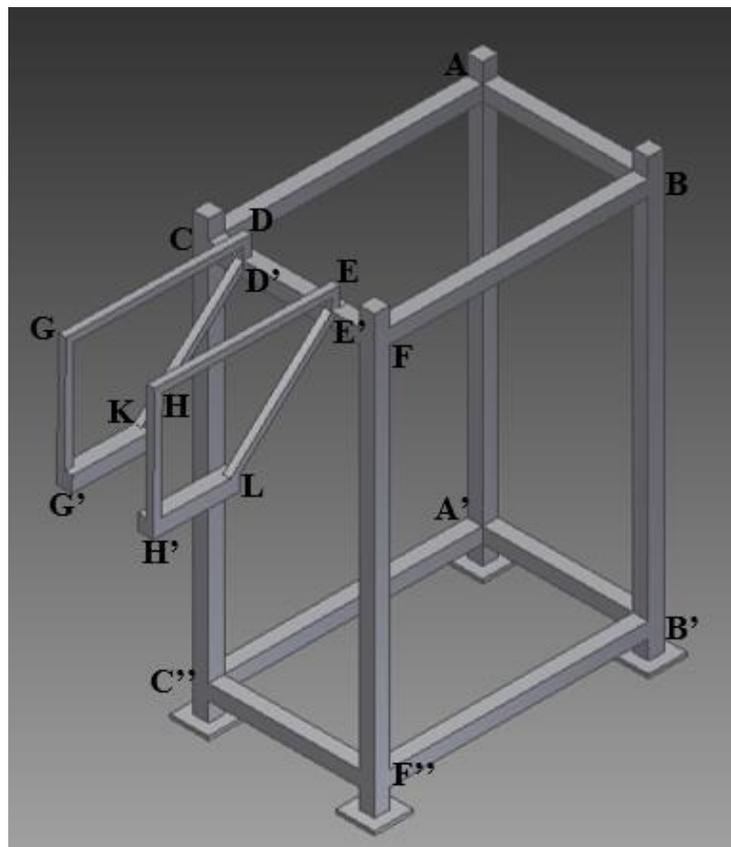


Figura 3. 2 Estructura de la tolva de alimentación

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.1.1.1 Cálculo de la estructura de la zona de carga del producto

La estructura de la zona de carga del producto es una parte de la máquina muy importante ya que a partir de su análisis se derivarán las partes restantes, ya que esta estructura es la que más peso soportará. Véase la Figura 3.3

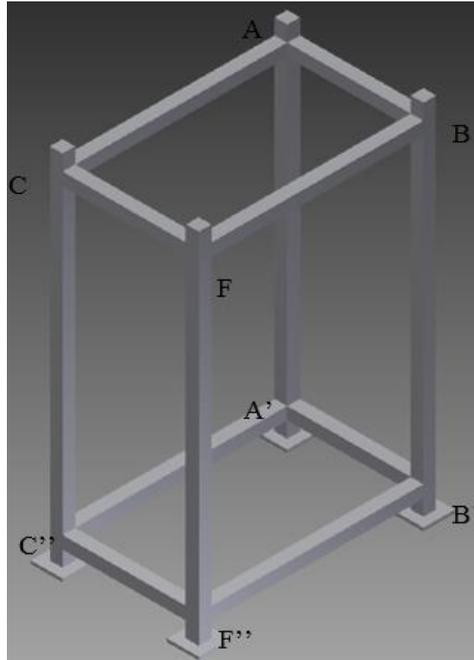


Figura 3. 3 Estructura de la zona de carga del producto

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Para empezar con este análisis sabemos que el peso de un costal de fréjol seco en vaina es alrededor de 40 Kg y se adiciona un peso imprevisto de 100 Kg, teniendo un peso total de 140 Kg con el cual se va a proceder a realizar los cálculos que nos indicarán el ancho H del tubo y el espesor e que requerirá un solo claro F''F FB BB' para soportar este peso total:

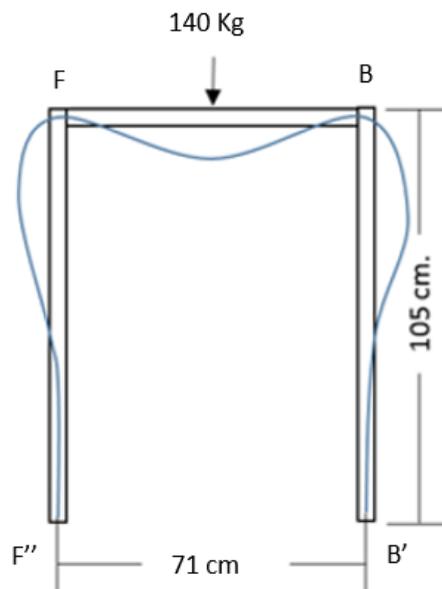


Figura 3. 4 Viga de la tolva de alimentación

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Los siguientes cálculos van a ser desarrollados por el método de pendiente-deflexión, el cual se llama así porque relaciona las pendientes y las deflexiones desconocidas con la carga aplicada sobre la estructura (Hibbeler, 2012).

Ecuación 1 Ecuación del momento del extremo fijo

$$(FEM) = \frac{P * L}{8}$$

Fuente: Hibbeler (2012), contraportada.

Donde:

FEM = momento extremo fijo.

P = peso.

L = longitud de la viga.

Consideramos los tres claros F''F, FB y BB', como los claros están fijamente apoyados en F'' y B', se aplica la ecuación del momento del extremo fijo para FB:

$$(FEM)_{FB} = -\frac{140 * 71}{8} = -1242,5 \text{ Kg.cm}$$

$$(FEM)_{BF} = \frac{140 * 71}{8} = 1242,5 \text{ Kg.cm}$$

Los desplazamientos angulares en F'' y B' serán cero ya que no se producirá un desplazamiento lateral:

$$\theta_{F''} = \theta_{B'} = 0$$

Donde:

θ = desplazamiento angular

Los desplazamientos del ángulo de la cuerda del claro serán cero ya que no se producirá un desplazamiento lateral:

$$\Psi_{F''F} = \Psi_{FB} = \Psi_{BB'} = 0$$

Donde:

Ψ = desplazamiento del ángulo de la cuerda del claro

Mediante la siguiente ecuación calculamos el momento interno en el extremo cercano del claro:

Ecuación 2 Ecuación general de pendiente deflexión

$$MN = 2Ek(2\theta N + \theta F - 3\Psi) + (FEM)N$$

Fuente: Hibbeler (2012)

Donde:

MN = momento interno en el extremo cercano del claro.

E, k = módulo de elasticidad del material y rigidez del claro.

$\theta N, \theta F$ = pendientes de los extremos cercano y lejano o desplazamientos angulares del claro en los soportes; los ángulos se miden en radianes y son positivos en sentido horario.

Ψ = rotación de la cuerda del claro debida a un desplazamiento lineal; éste ángulo se mide en radianes y es positivo en sentido horario.

$(FEM)N$ = momento del extremo fijo en el soporte del extremo cercano.

A continuación aplicamos la Ecuación 2 para los claros F''F, FB y BB':

Ecuación 3 Ecuación del momento interno en el extremo cercano del claro F''F

$$MF''F = 2E \left(\frac{I}{105} \right) (2(0) + \theta F - 3(0)) + 0 = 0,019EI\theta F$$

Ecuación 4 Momento interno en el extremo cercano del claro FF''

$$MFF'' = 2E \left(\frac{I}{105} \right) (2(\theta B) + 0 - 3(0)) + 0 = 0,038EI\theta B$$

Ecuación 5 Momento interno en el extremo cercano del claro FB

$$MFB = 2E \left(\frac{I}{71} \right) (2(\theta F) + \theta B - 3(0)) - 1242,5 = 0,05EI\theta F + 0,027EI\theta B - 1242,5$$

Ecuación 6 Momento interno en el extremo cercano del claro BF

$$MBF = 2E \left(\frac{l}{71} \right) (2(\theta B) + \theta F - 3(0)) + 1242,5 = 0,05EI\theta B + 0,027EI\theta F + 1242,5$$

Ecuación 7 Momento interno en el extremo cercano del claro BB'

$$MBB' = 2E \left(\frac{l}{105} \right) (2(\theta B) + 0 - 3(0)) + 0 = 0,038EI\theta B$$

Ecuación 8 Momento interno en el extremo cercano del claro B'B

$$MB'B = 2E \left(\frac{l}{105} \right) (2(0) + \theta B - 3(0)) + 0 = 0,019EI\theta B$$

Las seis ecuaciones de la 3 a la 8 contienen ocho incógnitas. Las dos ecuaciones de equilibrio restantes provienen del equilibrio de momentos en las juntas F y B:

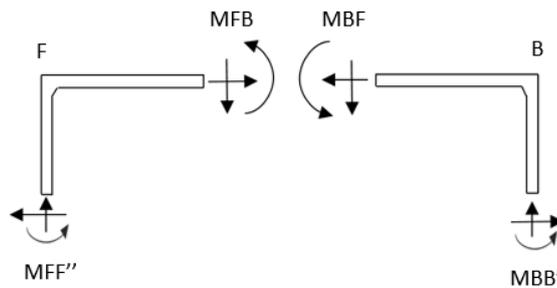


Figura 3. 5 Equilibrio de momentos en las juntas I y K

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Ecuación 9 Ecuación de equilibrio en la junta F

$$MFF'' + MFB = 0$$

Ecuación 10 Ecuación de equilibrio en la junta B

$$MBF + MBB' = 0$$

Para resolver estas ocho ecuaciones se sustituyen la Ecuación 4 y la Ecuación 5 en la Ecuación 9 y tenemos:

Ecuación 11 Ecuación despejada de la ecuación de equilibrio en la junta F

$$0,088EI\theta F + 0,027EI\theta B = 1242,5$$

Y se reemplazan la Ecuación 6 y la Ecuación 7 en la Ecuación 10:

Ecuación 12 Ecuación despejada de la ecuación de equilibrio en la junta B

$$0,088EI\theta_B + 0,027EI\theta_F = -1242,5$$

Al sustituir la Ecuación 11 en la Ecuación 12 y resolver, se obtiene:

Ecuación 13 Ecuación despejada de las ecuaciones de equilibrio de las juntas I y K

$$\theta_F = -\theta_B = \frac{21132,41}{EI}$$

Sustituyendo la Ecuación 13 en las ecuaciones de la 3 a 8 se tiene:

$$MF''F = 394,08 \text{ Kg.cm}$$

$$MFF'' = 788,16 \text{ Kg.cm}$$

$$MFB = -766,64 \text{ Kg.cm}$$

$$MBF = 766,64 \text{ Kg.cm}$$

$$MBB' = -788,16 \text{ Kg.cm}$$

$$MB'B = -394,08 \text{ Kg.cm}$$

En base a estos resultados es posible dibujar el diagrama de fuerzas en la viga FB:

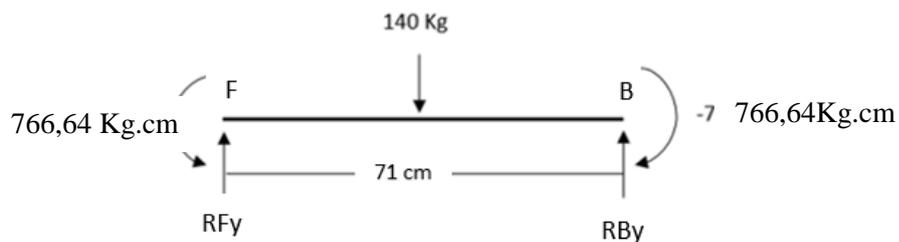


Figura 3. 6 Diagrama de fuerzas de la viga FB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

En base a la Figura 3.6 hacemos sumatoria de Momentos en F es igual a 0 (sentido antihorario positivo):

$$\sum +\Sigma MF = 0$$

$$RBy(71) - 140\left(\frac{71}{2}\right) = 0$$

$$R_{By} = 70 \text{ Kg}$$

Y sumatoria de momentos en Y es igual a cero (dirección hacia arriba positivo):

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{Fy} + R_{By} - 140 = 0$$

$$R_{Fy} = 70 \text{ Kg}$$

Con los resultados de las reacciones podemos realizar el diagrama de cortes y momentos:

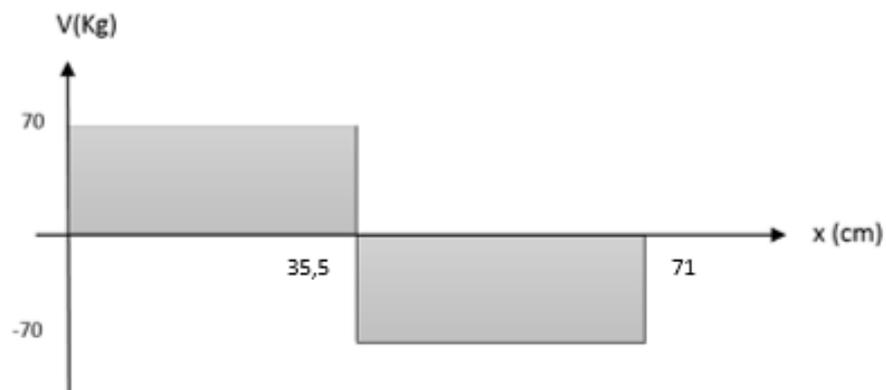


Figura 3. 7 Diagrama de cortes de la viga FB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

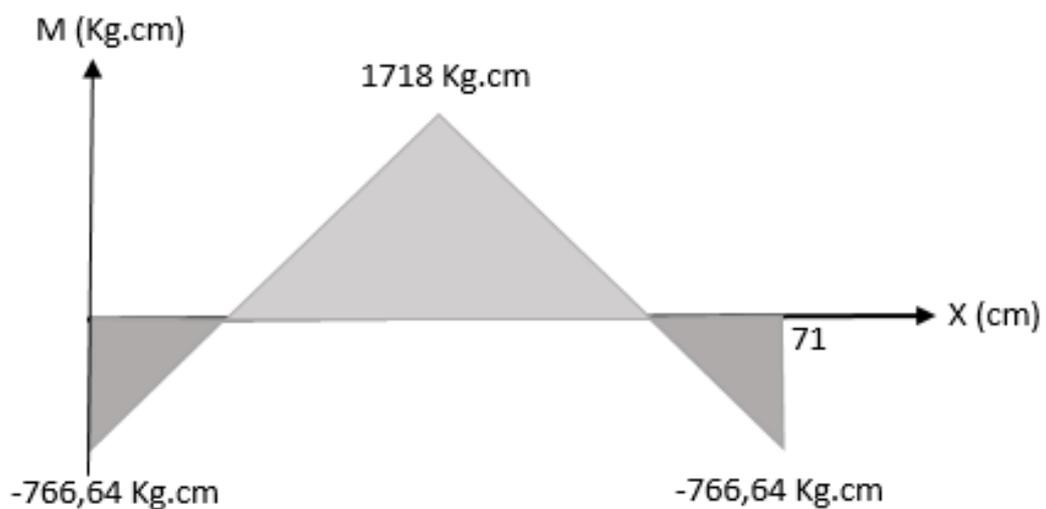


Figura 3. 8 Diagrama de momentos de la viga FB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Una vez obtenidos los resultados del máximo momento de flexión que va a soportar la viga, se procede a calcular ancho H y espesor e del tubo estructural cuadrado:

Material: Tubo estructural cuadrado ASTM A-500 Grado A

$$S_y = 2741,97 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

S_y = Resistencia a la fluencia

$$\sigma_d = 2109,21 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

σ_d = Esfuerzo de diseño recomendado para un acero estructural

Fuente: Mott, R.,L.,(2006).

Reemplazando el momento de flexión M obtenido en la Figura 3.8 y el esfuerzo de diseño en la Ecuación 14 tenemos el siguiente módulo de sección requerido:

Ecuación 14 Ecuación del módulo de sección requerido 1

$$S = \frac{M}{\sigma_d}$$

Fuente: Mott, R.,L.,(2006).

Donde:

S = Módulo de sección requerido

M = Momento

Reemplazando los valores correspondientes, tenemos:

$$S = \frac{1718}{2109,21} = 0,81 \text{ cm}^3$$

A continuación podemos utilizar otra ecuación del módulo de sección requerido:

Ecuación 15 Ecuación del módulo de sección requerido 2

$$S = \frac{I}{c}$$

Fuente: Mott, R.,L.,(2006).

Donde:

I = Momento de inercia del área transversal.

c = distancia del eje neutro a la fibra más alejada, en la sección transversal de la viga.

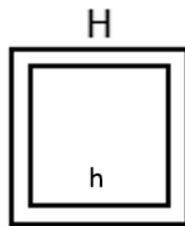


Figura 3. 9 Perfil cuadrado hueco

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Ecuación 16 Ecuación del momento de inercia de un perfil cuadrado hueco

$$I = \frac{1}{12}(H^4 - h^4)$$

Donde:

I = momento de inercia.

H = ancho externo del perfil.

h = ancho interno del perfil

Ecuación 17 Ecuación de la distancia del eje neutro a la fibra más alejada

$$c = \frac{H}{2}$$

Reemplazando la Ecuación 16 y la Ecuación 17 en la Ecuación 15 tenemos:

Ecuación 18 Ecuación despejada de la ecuación del módulo de sección requerido 2

$$S = \frac{\frac{1}{12}(H^4 - h^4)}{\frac{H}{2}}$$

Reemplazando el resultado de la Ecuación 14 en la Ecuación 18 y resolviendo, tenemos:

Ecuación 19 Ecuación despejada de la ecuación del módulo de sección requerido 1

$$h^4 = H^4 - 0,407H$$

Asumimos un $H = 4,0 \text{ cm.}$, y reemplazándolo en la ecuación 19, podemos calcular $h = 3,99 \text{ cm}$ y $e = 0,01 \text{ cm.}$

Se selecciona en el catálogo un tubo estructural cuadrado de ancho $H = 4 \text{ cm}$ y de espesor $e = 0,15 \text{ cm.}$

3.1.1.1.2 Cálculo del espesor de la plancha que cubre la zona de carga del producto

La plancha que cubre la zona de carga del producto es la cual va asentada en la estructura de la tolva de alimentación y la que cumplirá la función de abarcar el fréjol a ser desvainado, por ende soporta el peso que soporta la estructura que es de 140 Kg, 40 Kg peso de un costal de fréjol seco aproximadamente y 100 Kg como un peso imprevisto. Véase Figura 3.10

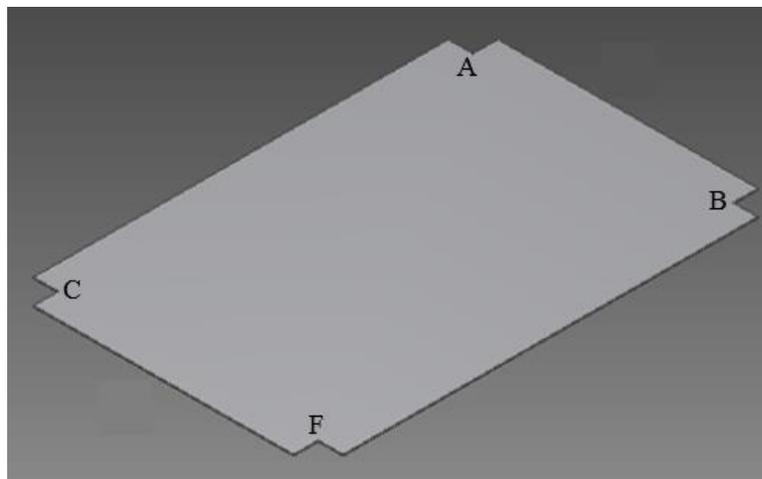


Figura 3. 10 Esquema de la plancha de acero de la tolva de alimentación

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se realiza el diagrama de fuerzas en la viga CF AB y los cálculos para determinar el espesor de la plancha de acero necesario para soportar esta fuerza flexionante de 140 Kg:

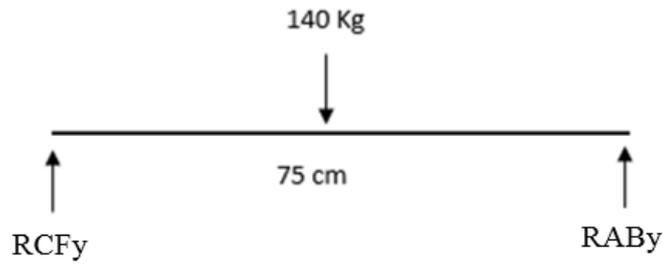


Figura 3. 11 Diagrama de fuerzas de la viga CF AB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

En base a la Figura 3.11 hacemos sumatoria de momentos en CF es igual a cero (sentido antihorario positivo):

$$\sum M_{CF} = 0$$

$$R_{ABy}(75) - 140(37,5) = 0$$

$$R_{ABy} = 70 \text{ Kg}$$

Y sumatoria de fuerzas en Y es igual a cero (dirección hacia arriba positivo):

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{CFy} + R_{ABy} - 140 = 0$$

$$R_{CFy} = 70 \text{ Kg}$$

Con las reacciones obtenidas procedemos a realizar el diagrama de cortes y momentos:

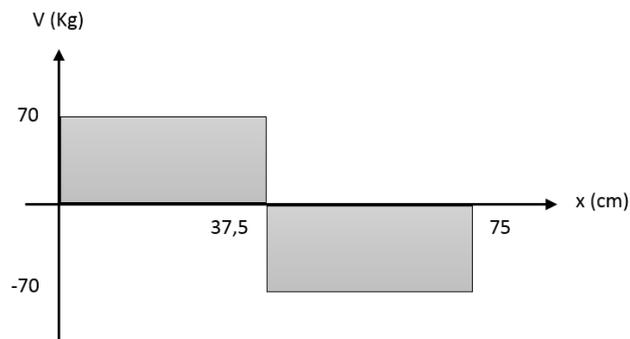


Figura 3. 12 Diagrama de cortes de la viga CF AB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

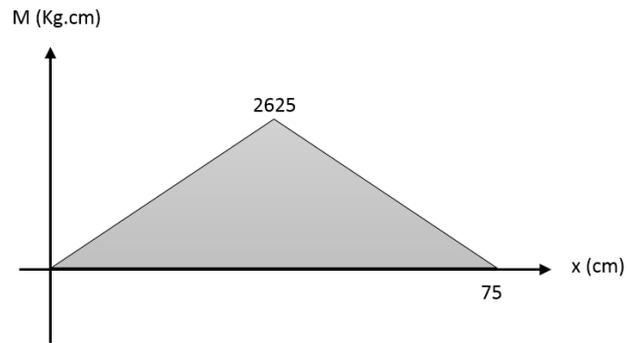


Figura 3. 13 Diagrama de momentos de la viga CF AB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a detallar el material a utilizarse y con el momento máximo obtenido en la Figura 3.13 se calcula el espesor de la plancha:

Material: Plancha laminada al caliente ASTM A-588M GRADO A

$$\sigma d = 4945,6 \frac{Kg}{cm^2}$$

Fuente: catálogo DIPAC

Donde:

σd = esfuerzo de diseño.

Utilizando la Ecuación 14, calculamos el módulo de sección requerido, reemplazando el momento M de la Figura 3.12 y el esfuerzo de diseño, tenemos:

$$S = \frac{2625}{4945,6} = 0,53 \text{ cm}^3$$

Suponga una forma rectangular:

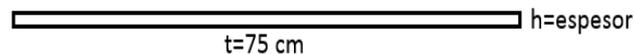


Figura 3. 14 Sección transversal de la viga CF AB

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Ecuación 20 Ecuación del módulo de sección transversal para un perfil rectangular

$$S = \frac{th^2}{6}$$

Donde:

t = largo de la viga

h = espesor de la viga

Despejando h de la Ecuación 20, tenemos:

$$h = \sqrt{\frac{6S}{t}}$$

Reemplazando los valores correspondientes de S y t en la ecuación anterior, tenemos el espesor:

$$h = 0,20 \text{ cm}$$

Se selecciona en el catálogo una plancha de espesor $h = 2 \text{ mm}$.

3.1.1.1.3 Selección de la estructura de la cavidad de entrada

La estructura de la cavidad de entrada es la que cumple con la única función de ser el camino por el cual el fréjol seco ingresa al sistema de desvainado, en sus vigas estarán soldadas planchas de acero, formando una cavidad. Por lo tanto se selecciona un ancho H de 2cm que es lo suficientemente resistente para cumplir esta función. Véase la Figura 3.15

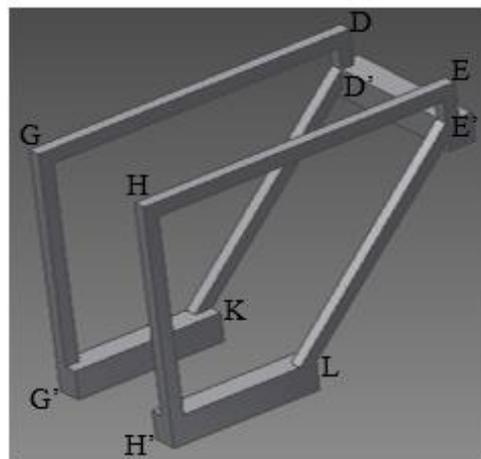


Figura 3. 15 Estructura de la cavidad de entrada

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Las planchas de acero soldadas a la estructura de la cavidad de entrada deben tener un espesor que cumplan con los siguientes parámetros:

- Que la plancha no se pandee ni se doble.
- Que resista pequeñas fuerzas flexionantes.
- Que no se deforme en el momento de la soldadura.

Por lo tanto se selecciona un espesor de 0,90 mm para la plancha que cubre la estructura de la cavidad de entrada. Véase la Figura 3.16

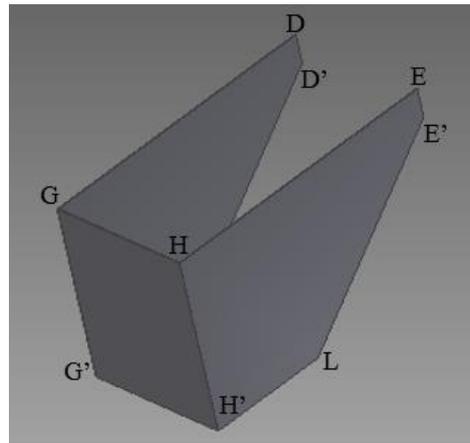


Figura 3. 16 Esquema de la plancha de acero de la cavidad de entrada

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.1.1.4 Cálculo de columnas

El cálculo que se va a realizar a continuación servirá para encontrar el ancho H y el espesor e de las columnas de toda la máquina y para ello analizaremos una de las columnas de la estructura de la tolva de alimentación, ya que ésta es la que está sometida al mayor peso en toda la máquina. Véase la Figura 3.2

El diseño se lo realiza por inestabilidad elástica, pandeo y flexión, con carga central en las columnas.

Material: Tubo estructural cuadrado ASTM A-500 Grado A

$$S_y = 2741,97 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

S_y = Resistencia a la fluencia

$$E = 2109\ 705\ Kg/cm^2$$

Donde:

E = módulo de elasticidad

Se supone que una columna soporta el peso total de 140 Kg en su centro:

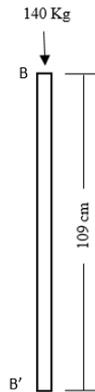


Figura 3. 17 Columna BB' de la estructura de la tolva de alimentación

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Para empezar con el diseño se supone que la columna es larga y por ello utilizamos la fórmula de Euler alternativa:

Ecuación 21 Fórmula de Euler alternativa

$$P_{cr} = \frac{\pi * E * I}{(K * L)^2}$$

Fuente: Diseño de elementos mecánicos de Mott, R.,L.,(2006).

Donde:

P_{cr} = carga crítica de pandeo.

E = módulo de elasticidad.

I = momento de inercia de la sección transversal.

K = 0,65 (empotrada – empotrada).

L = longitud de la columna: 109 cm.

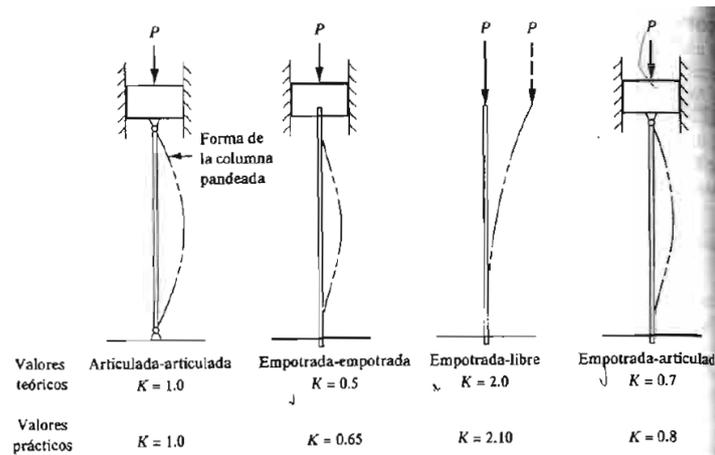


Figura 3. 18 Valores de K para obtener longitud efectiva

Nota. Fuente: Mott, R., L., (2006). *Diseño de elementos de máquinas.* (p. 234). México: Pearson Educación

“El objetivo del análisis y diseño de las columnas es garantizar que la carga aplicada a una columna sea segura, que sea bastante menor que la carga crítica de pandeo” (Mott, R.,L.,(2006).

Ecuación 22 Ecuación de la carga admisible

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Mott, R.,L.,(2006).

Donde:

Pa = carga admisible; en general se iguala a la carga máxima esperada: 140 Kg.

N = factor de diseño: 2 (columnas estacionarias con cargas y extremos empotrados bien conocidos.

Despejamos Pcr de la Ecuación 22 y lo reemplazamos en la Ecuación 21, luego despejando I tenemos:

Ecuación 23 Ecuación del valor de I despejado de la fórmula de Euler

$$I = \frac{N * Pa * (K * L)^2}{\pi^2 * E}$$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Mott, R.,L.,(2006).

Al tratarse de un perfil cuadrado hueco, utilizamos la Ecuación 16 y la igualamos con la Ecuación 23:

$$\frac{H^4 - h^4}{12} = \frac{N * Pa * (KL)^2}{\pi^2 * E}$$

Despejando y reemplazando por sus valores correspondientes, tenemos:

Ecuación 24 Ecuación despejada de la ecuación del momento de inercia de un perfil cuadrado hueco

$$H^4 - h^4 = (12) * \frac{2 * 140Kg * (0,65 * 109cm)^2}{\pi^2 * 2109705 Kg/cm^2}$$

$$H^4 - h^4 = 0,81 cm^4$$

Para comprobar si hemos seleccionado correctamente el método de diseño, calculamos la relación de esbeltez real KL/r , calculamos el valor de la constante de columna C_c y comparamos sus resultados:

- Si KL/r real es mayor que C_c , la columna es larga y se emplea la ecuación de Euler.
- Si KL/r es menor que C_c , la columna es corta y se emplea la fórmula de J.B. Johnson.

Suponemos el valor deseado $S = 4 cm$ y lo reemplazamos en el resultado de la Ecuación 24, tenemos entonces $s = 3,9 cm$.

Calculamos el área de la sección transversal, para luego ser utilizada en el cálculo del radio de giro:

$$A = H^2 - h^2$$

Donde:

A = área de la sección transversal

H = ancho exterior de la columna.

h = ancho interior de la columna.

$$A = (4\text{cm})^2 - (3,9\text{cm})^2$$

$$A = 0,79 \text{ cm}^2$$

Ahora calculamos el radio de giro de la sección transversal para luego ser utilizado en el cálculo de la relación de esbeltez:

Ecuación 25 Ecuación del radio de giro de la sección transversal

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Fuente: Diseño de elementos mecánicos de Mott, R.,L.,(2006).

Donde:

r = radio de giro de la sección transversal.

I = momento de inercia de la sección transversal.

A = área de la sección transversal.

Reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación 25:

$$r = \sqrt{\frac{0,81 \text{ cm}^4}{12 \cdot 0,79 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0,085 \text{ cm}$$

Una vez obtenidos todos los datos calculamos la relación de esbeltez:

Ecuación 26 Ecuación de la relación de esbeltez

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{KL}{r} = \frac{0,65 * 109 \text{ cm}}{0,085 \text{ cm}}$$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Mott, R.,L.,(2006).

Reemplazando los datos correspondientes en la Ecuación 26:

$$\frac{KL}{r} = 829,18$$

Calculamos la constante de columna para luego ser comparada con la relación de esbeltez:

Ecuación 27 Ecuación de la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{Sy}}$$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Mott, p. 234.

Donde:

Cc = constante de la columna.

Reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación 27:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 * (2109705 \text{ Kg/cm}^2)}{2741,97 \text{ Kg/cm}^2}}$$

$$Cc = 123,26$$

En base a los resultados, se observa que la relación de esbeltez KL/r es mayor que la constante de la columna Cc y por lo tanto comprobamos que hemos aplicado correctamente la ecuación de Euler para diseñar la columna.

Se selecciona en el catálogo un tubo estructural cuadrado de ancho $H = 4 \text{ cm}$ y de espesor $e = 0,15 \text{ cm}$.

3.1.1.2 Zona del sistema de desvainado de fréjol seco y zona contenedora del motor

La zona del sistema de desvainado del fréjol seco, contiene las partes importantes de la máquina y está cubierta por una plancha perfilada, la cual es desmontable y sujeta por pernos para que se pueda realizar el mantenimiento que se le debe dar a la máquina según lo contempla el manual de mantenimiento. Además, mediante un final de carrera o microswitch controlamos el paro de la máquina, si está cubierta es levantada para evitar accidentes, Véase la Figura 3.20

En la zona contenedora del motor se encuentra la plancha deslizante, el sensor de objetos, un ventilador el cual cumple la función de limpiar el área de sensado y el motor. Véase la Figura 3.19

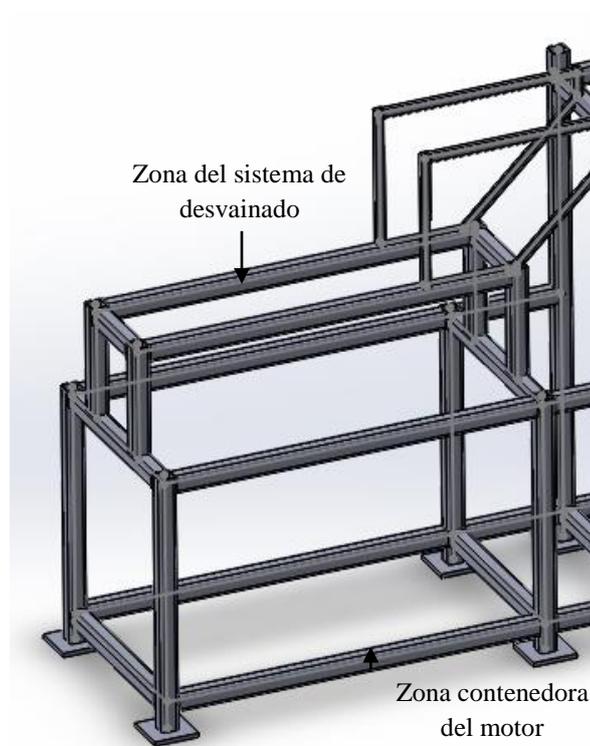


Figura 3. 19 Zona del sistema de desvainado de fréjol seco y zona contenedora del motor

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

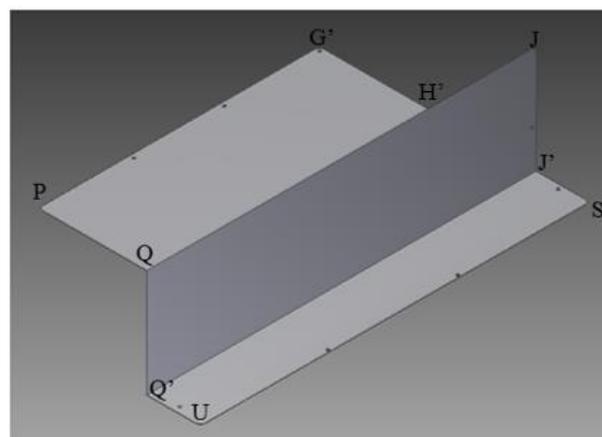


Figura 3. 20 Plancha de acero perfilada de la zona del sistema de desvainado

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

La zona contenedora del motor, tendrá una tapa para el montaje del motor y la realización del mantenimiento.

Conociendo el peso de la tapa, proponemos el número y la colocación de los pernos, basándonos en el criterio y en la geometría de las partes unidas. Véase la Figura 3.21

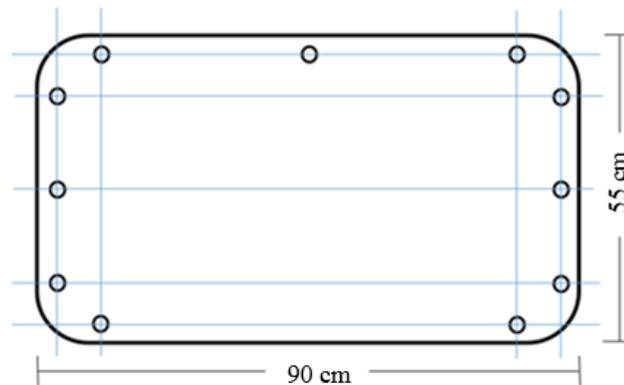


Figura 3. 21 Tapa lateral de la zona contenedora del motor

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Determinamos la fuerza cortante directa sobre el conjunto de pernos y sobre cada uno de ellos, si suponemos que todos comparten la carga por igual:

$$\text{Carga de corte} = P = 2 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por perno} = F_s = P/11 = 2/11 = 0,18 \text{ Kg/perno}$$

La fuerza cortante actúa directamente hacia abajo sobre cada perno.

Especificamos el material del perno, seleccionándolo de la Tabla 3.1, en este caso es un acero ASTM A 307, con un esfuerzo cortante admisible de 10000 psi que equivale a 703,23 Kg/cm². Entonces el área que requiere el perno se la calcula a continuación:

Tabla 3. 1 Esfuerzos admisibles para tornillos

Grado ASTM	Esfuerzo cortante admisible	Esfuerzo de tensión admisible
A307	10 ksi (69 MPa)	20 ksi (138 MPa)
A325 y A449	17.5 ksi (121 MPa)	44 ksi (303 MPa)
A490	22 ksi (152 MPa)	54 ksi (372 MPa)

Nota. Fuente: Adaptado de Mott, R., L., (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 780). México: Pearson Educación

Ecuación 28 Ecuación del área que requiere el perno

$$A = \frac{Fs}{\tau a}$$

Fuente. Mott, R.,L.,(2006)

Donde:

A = área que requiere el perno.

Fs = carga por perno.

τa = esfuerzo cortante admisible.

Reemplazando los datos correspondientes tenemos:

$$A = \frac{0,18 \text{ Kg}}{703,23 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$A = 0,000256 \text{ cm}^2$$

El diámetro necesario del perno lo calculamos con la siguiente ecuación:

Ecuación 29 Ecuación del diámetro necesario del perno

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Fuente. Mott, R.,L.,(2006).

Donde:

D = diámetro necesario del perno.

A = área que requiere el perno.

Reemplazando los datos correspondientes tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 * (0,000256 \text{ cm}^2)}{\pi}}$$

$$D = 0,018 \text{ cm} = 0,00708 \text{ pulg}$$

Especificamos un perno de 5/16 pulg con 0,31 pulgadas de diámetro.

3.1.1.3 Zona de salida del grano de fréjol seco y zona de salida de la vaina

La zona de salida del grano de fréjol seco es una cavidad que se termina en el extremo de la máquina, es por donde sale el producto libre de impurezas y en buen estado, además consta de un aparato electrónico como lo es un sensor y un ventilador, los mismos que están ubicados dentro de la zona contenedora del motor. Véase la Figura 3.22

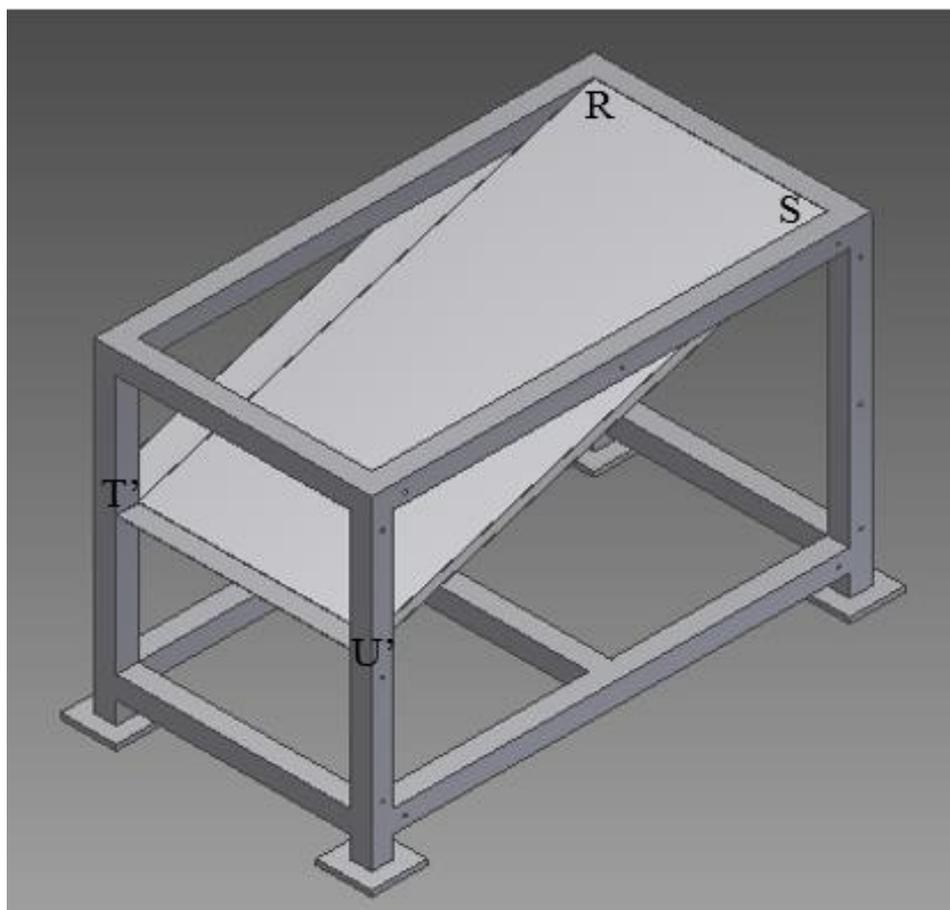


Figura 3. 22 Plancha de acero inoxidable de la zona de salida del grano de fréjol seco

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

La zona de salida de la vaina es una cavidad que se encuentra en la parte lateral de la máquina, es por donde sale la cáscara que cubría al fréjol seco antes de ser desvainado para ser reutilizada como abono o como estime pertinente el agricultor. Véase la Figura 3.23

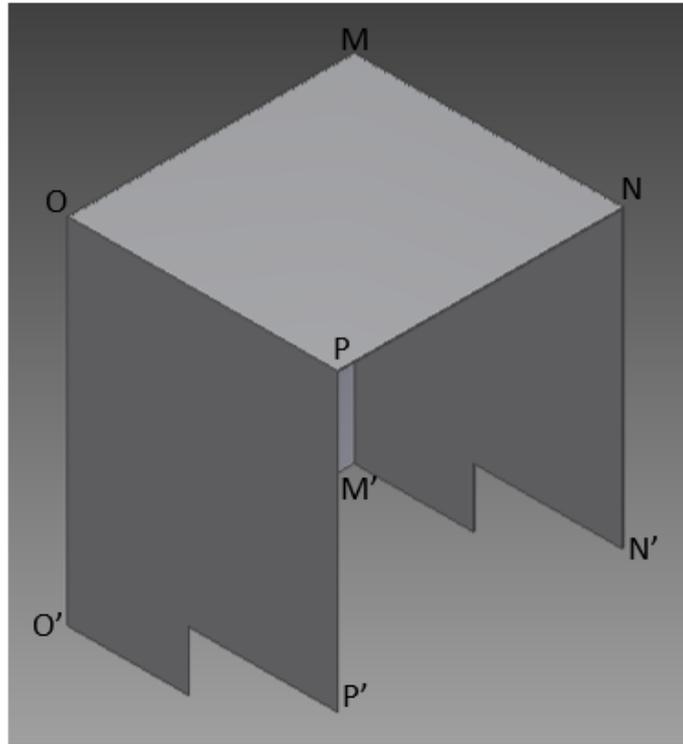


Figura 3. 23 Plancha de acero de la zona de salida de la vaina

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.1.4 Análisis Estático de la Estructura de la Máquina mediante SOLIDWORKS PROFESIONAL

Mediante este software podemos realizar un análisis de la estructura de la máquina, de manera que podamos identificar el comportamiento de las vigas mediante la colocación de las cargas a las que van a estar sometidas en la vida real.

En la zona de carga del producto se coloca un peso de 140 Kg, en la cavidad de entrada se coloca una fuerza imprevista hasta de 10 Kg y en el resto de la estructura se coloca un peso imprevisto hasta de 70 Kg, todas estas fuerzas corresponden al análisis determinado anteriormente.

En la siguiente figura se muestran las cargas sobre la máquina y su desplazamiento estático:



Figura 3. 24 Desplazamiento estático de la estructura de la máquina

En la Figura 3.24 se observa que el desplazamiento máximo que podría ocurrir en la estructura de la máquina es de 0,1638 mm y el desplazamiento mínimo es 0, ya que estos valores son casi nulos, se concluye que el diseño se lo ha realizado correctamente, es seguro y soporta las cargas sin presentar problemas.

A continuación realizamos el análisis del factor de seguridad por el criterio de tensiones de Von Mises:

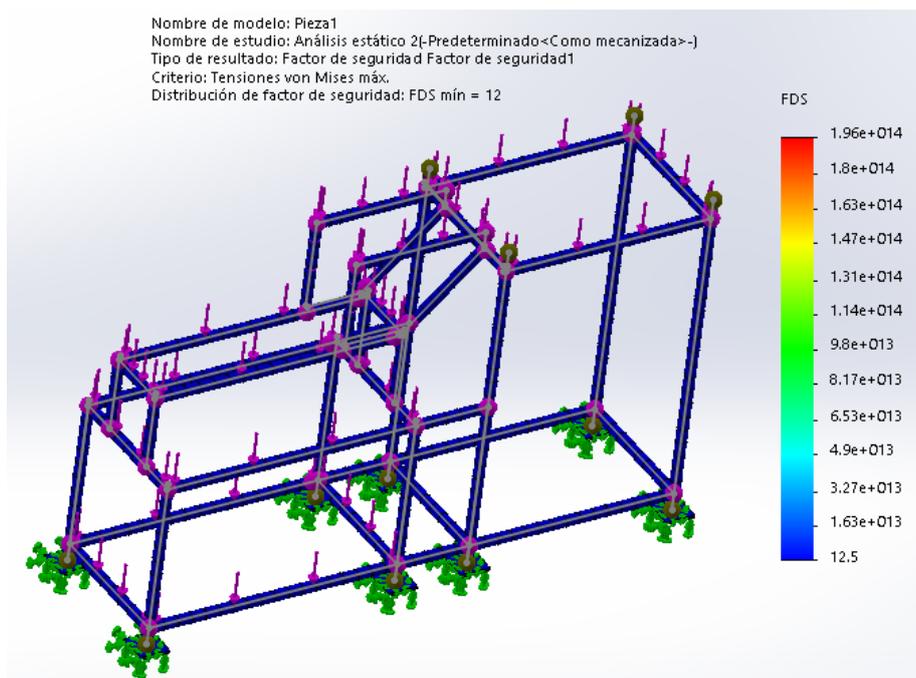
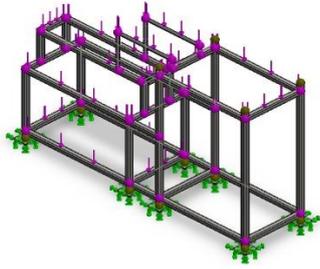
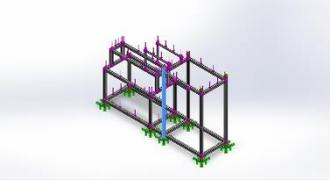


Figura 3. 25 Tensiones de Von Mises

Podemos observar en la Figura 3.25 que el factor de seguridad del diseño de la estructura es de 12,5 el cual es un indicador que las cargas serán resistidas y la máquina tendrá estabilidad.

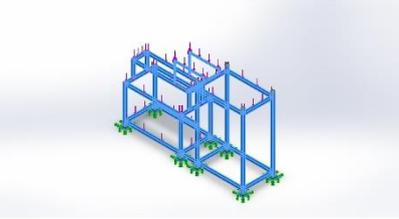
Este software nos proporciona después de realizar el análisis un Informe, del cual se ha seleccionado lo más importante y se muestra a continuación:

Tabla 3. 2 Información del modelo

 <p>Nombre del modelo: Estructura máquina Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada></p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Viga-44(Miembro estructural6[3]) 	Viga – Sección transversal uniforme	Estándar de sección- iso/square tube/40 x 40 x 4 Área de sección: 534.796in² Longitud:1140mm Volumen:0.000609668m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:4.78589kg Peso:46.9018N	C:\Users\Xpert\Desktop\Máquina\Pieza1.SLDPRT

Nota. Fuente: Adaptado de SolidWorks

Tabla 3. 3 Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 2.5e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p>

Nota. Fuente: Adaptado de SolidWorks

Tabla 3. 4 Cajas y sujeciones

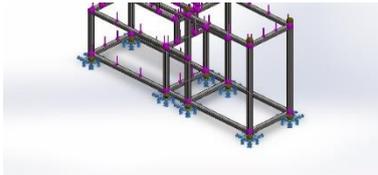
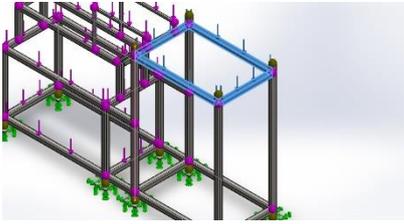
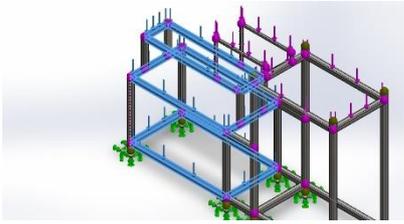
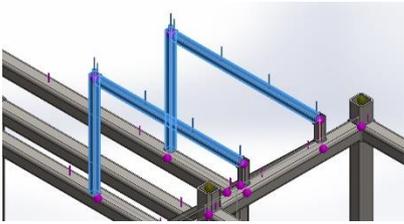
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 8 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultants				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-2.52146e-005	15089.5	-0.000151465	15089.5
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	1e-033

Tabla 3. 5 Información 2 del modelo

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 4 Viga(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valores: 140 kgf</p> <p>Momentos: --- kgf.cm</p> <p>Ángulo de fase: 0</p> <p>Unidades: deg</p>
Fuerza-2		<p>Entidades: 12 Viga(s)</p> <p>Referencia: Arista< 1 ></p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valores: 70 kgf</p> <p>Momentos: --- kgf.cm</p> <p>Ángulo de fase: 0</p> <p>Unidades: deg</p>
Fuerza-3		<p>Entidades: 4 Viga(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valores: 10 kgf</p> <p>Momentos: --- kgf.cm</p> <p>Ángulo de fase: 0</p> <p>Unidades: deg</p>

Nota. Fuente: Adaptado de SolidWorks

3.1.2 Diseño del sistema de desvainado

El sistema de desvainado se lo puede dividir en las siguientes partes:

1. Tubo cédula 40
2. Paletas de impacto
3. Ventilador de centrifugado

4. Malla filtradora

3.1.2.1 Selección del tubo cédula 40

Por el diseño mismo del sistema de desvainado, basándonos en la experimentación y la investigación, se necesita un diámetro mayor, por ello seleccionamos un tubo cédula 40 con un diámetro exterior igual a 8,89 cm, el cual se lo acopla a nuestro eje mediante tapas de acero inoxidable soldadas. Véase la Fotografía 3



Fotografía 3 Tubo cédula 40 de 8,89 cm

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.2.2 Diseño de las paletas de impacto

Las paletas de impacto se las ha diseñado en base a experimentación e investigación, probando la eficiencia en otras máquinas que tienen un sistema similar al nuestro.

Una vez determinadas las medidas de las paletas de impacto, por medio de un molde se realiza el rayado sobre una plancha de acero inoxidable y se procede a cortar el diseño utilizando el plasma. Véase el Anexo 22

Las medidas de las paletas de impacto se detallan a continuación. Véase la Figura 3.27

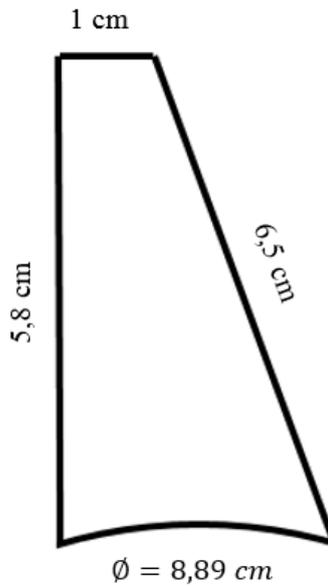


Figura 3. 26 Molde de las paletas de impacto

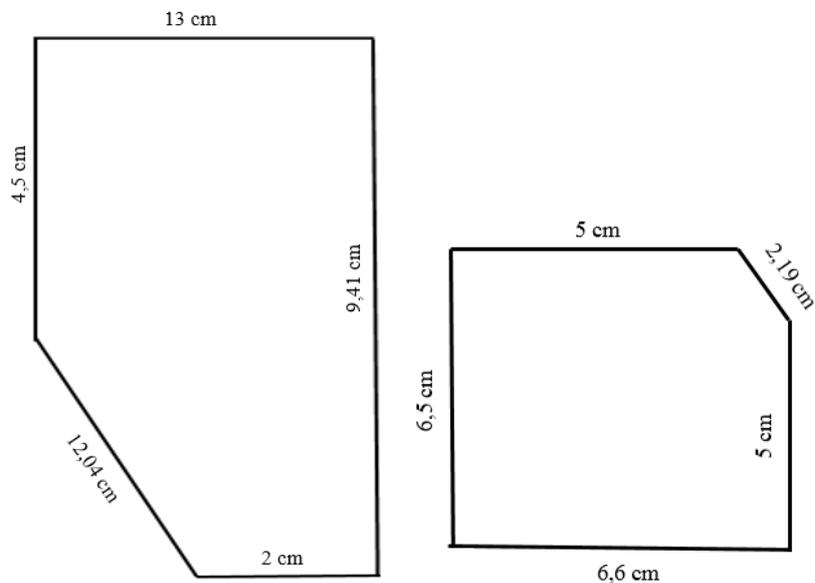
Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.2.3 Diseño del ventilador de centrifugado

El ventilador de centrifugado de igual manera que el tubo cédula 40 y las paletas de impacto, ha sido diseñado basándose en la experimentación e investigación y en sistemas similares que tienen otras máquinas. Véase Anexo 23

Las medidas de los elementos del ventilador de centrifugado se detallan a continuación.

Véase la Figura 3.27



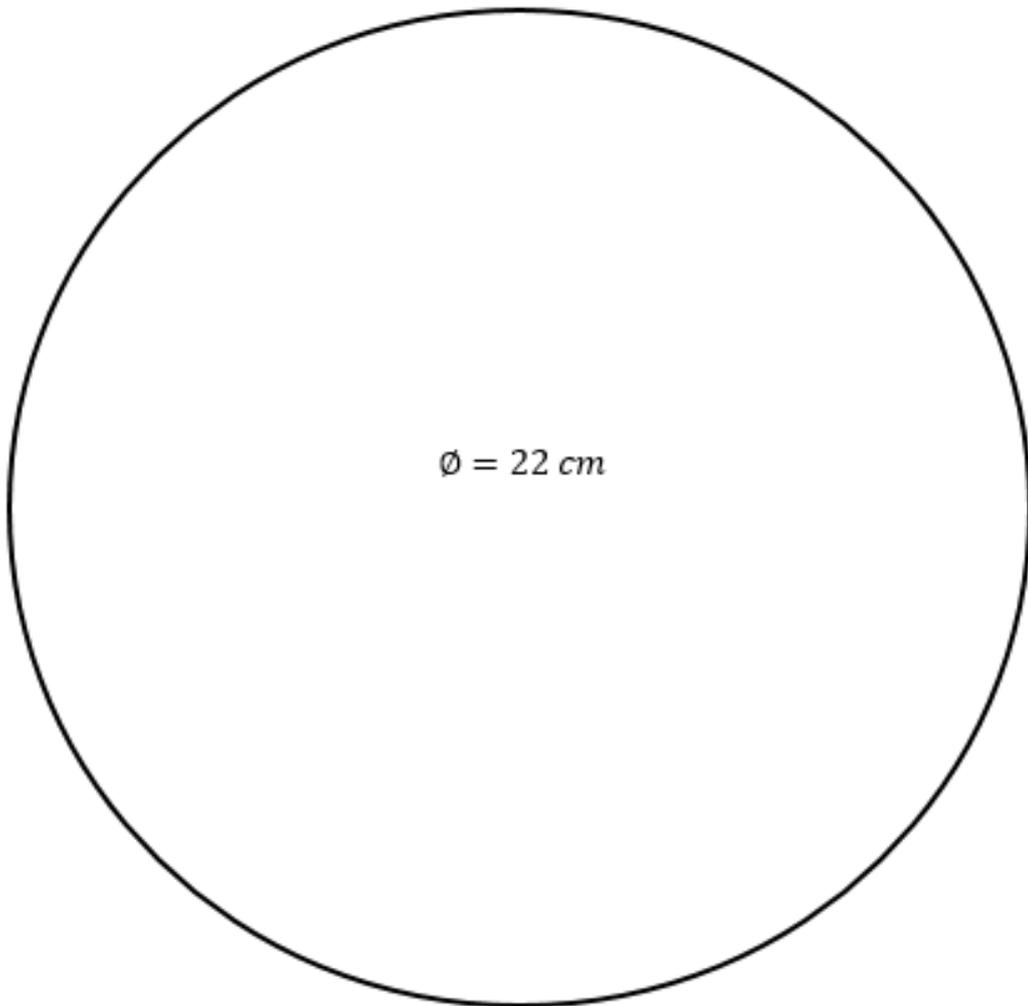


Figura 3. 27 Elementos del ventilador de centrifugado

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.2.4 Diseño de la malla filtradora

Las dimensiones de la malla filtradora han sido seleccionadas en base a un estudio de campo, en el cual se ha analizado el tamaño más grande de fréjol que se produce en la provincia de Imbabura, este corresponde al fréjol llamado toa y tiene de largo de 10 a 12 mm y de ancho de 7 a 8 mm, por lo cual seleccionamos una plancha perforada con agujeros de 15 mm de diámetro, medidas que cumplen satisfactoriamente el propósito que es filtrar los granos que han sido separados de su vaina. Véase la Fotografía 4



Fotografía 4 Malla filtradora

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

3.1.3.1 Motor

El motor que se elige es eléctrico y a 110/220 ya que de esta manera el agricultor simplemente conectará la máquina a la red eléctrica domiciliaria, y podrá trabajar sin complicaciones.

Los factores que se toma en consideración para seleccionar el motor son los siguientes:

Tipo de motor.

Potencia y velocidad nominales.

Voltaje y frecuencia de operación.

Tipo de caja.

Tamaño de armazón.

Detalles de montaje.

Par torsional de arranque.

Variaciones de carga que se esperen, y variaciones correspondientes de velocidad que se puedan tolerar.

Limitaciones de corriente durante las fases de marcha y arranque.

Ciclo de trabajo: con qué frecuencia arranca y para el motor.

Factores del ambiente: temperatura, presencia de atmósferas corrosivas o explosivas, exposición a la intemperie o a líquidos y disponibilidad de aire de enfriamiento.

Variaciones de voltajes que se esperen: la mayoría de los motores pueden tolerar una variación hasta de $\pm 10\%$ respecto del voltaje nominal.

Carga en el eje, en especial cargas laterales y cargas de empuje que puedan afectar la duración de los cojinetes del eje (Mott, R., L., 2006, p. 798).

En Ecuador la corriente alterna tiene 60 Hz de frecuencia y la mayoría de residencias e instalaciones comerciales utilizan potencia monofásica, por tal razón seleccionamos un motor monofásico.

A continuación se muestran dos tablas acerca del voltaje de los motores de CA y sus velocidades:

Tabla 3. 6 Voltajes de motores de CA

Voltaje del sistema	Voltajes nominales de motor	
	Monofásico	Trifásico
120	115	115
120/208	115	200
240	230	230
480		460
600		575

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 800). México: Pearson Educación.

Los voltajes más frecuentes se presentan en la Tabla 3.6 junto con los voltajes nominales tanto para motores monofásicos como para trifásicos.

Tabla 3. 7 Velocidades de motor de CA para corriente de 60 Hz

Número de polos	Velocidad síncrona (rpm)	Velocidad a plena carga ^a (rpm)
2	3600	3450
4	1800	1725
6	1200	1140
8	900	850
10	720	690
12	600	575

^aAproximadamente 95% de la velocidad síncrona (deslizamiento normal)

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 800). México: Pearson Educación.

Un motor de corriente alterna CA sin carga (o en vacío) funciona cerca de su velocidad síncrona n_s , la cual relaciona la frecuencia f de la corriente alterna, con el número de polos eléctricos p que se devanan en el motor. Los motores tienen en general un número par de polos de 2 a 12 (Mott, R., L., 2006, p. 806). Véase la Tabla 3.7

$$n_s = \frac{120 f}{p} \text{ rev/min}$$

Los motores sincrónicos trabajan exactamente a la velocidad síncrona. Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Es utilizado en aquellos casos en donde se desea una velocidad constante.

Funcionamiento del motor de CA

El funcionamiento de los motores eléctricos se muestra con una gráfica de velocidad en función del par torsional, como se muestra en la Figura 3.28. El eje vertical es la velocidad de giro del motor, como un porcentaje de la velocidad síncrona. El eje horizontal es el par torsional que desarrolla el motor, como un porcentaje de la carga máxima, o par torsional nominal. Cuando ejerce su par

torsional de carga máxima, el motor trabaja en su velocidad de plena carga, y entrega la potencia nominal.

El par torsional en la parte inferior de la curva, cuando la velocidad es cero, se llama par torsional de arranque o par torsional a rotor bloqueado. Es el par torsional disponible para hacer que la carga se mueva en un principio, y que comience su aceleración. Éste es uno de los parámetros más importantes en el momento de seleccionar un motor.

La “rodilla” de la curva, llamada par torsional máximo, es el par torsional máximo que desarrolla el motor durante la aceleración. La pendiente de la curva velocidad/par torsional en la cercanía del punto de operación a plena carga es una indicación de la regulación de velocidad. Una curva plana (con poca pendiente) representa una buena regulación de velocidad, con poca variación de la velocidad cuando varían la carga. Por el contrario, una curva inclinada (una pendiente grande) indica mala regulación de velocidad, y el motor tendrá grandes variaciones de velocidad, cuando varíe la carga (Mott, R., L., 2006, p. 802).

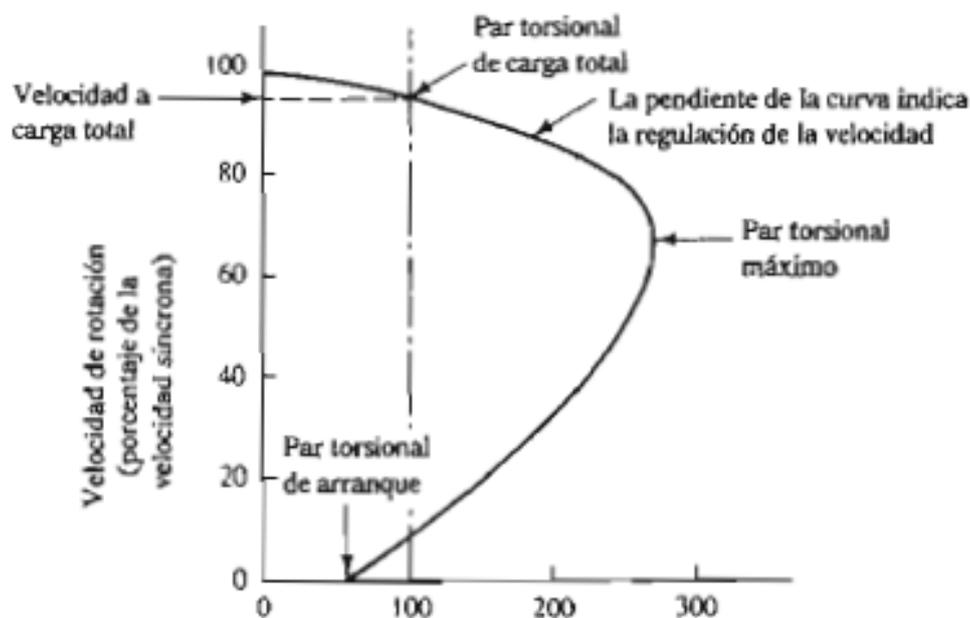


Figura 3. 28 Forma general de la curva de operación de un motor

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 802). México: Pearson Educación.

Los motores monofásicos más comunes son los de fase partida, de arranque por capacitor, de capacitor y fase partida permanente y de polo sombreado. La siguiente figura nos muestra las características de funcionamiento de estos cuatro tipos de motores:

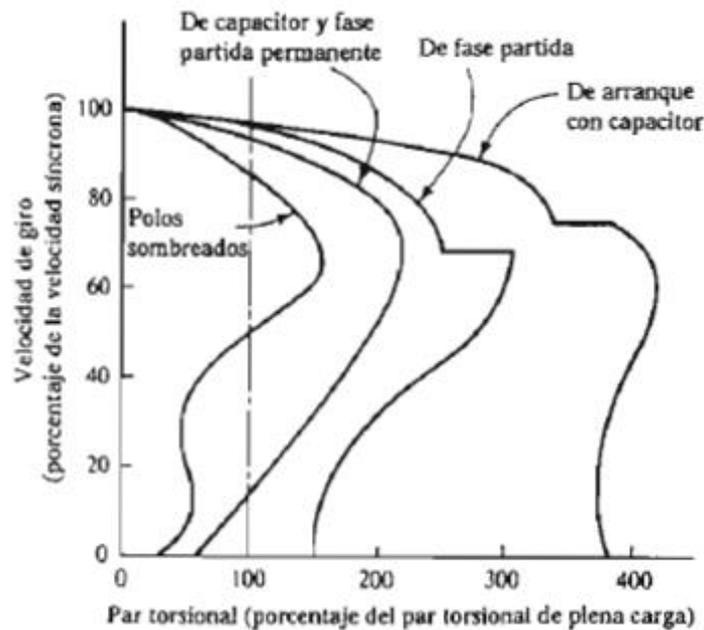


Figura 3. 29 Curvas de operación de los cuatro tipos de motores eléctricos monofásicos

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 806). México: Pearson Educación.

A continuación revisaremos las diferentes características de funcionamiento de los motores monofásicos:

Motores de fase partida

El estator del motor de fase partida (...) tiene dos devanados: el devanado principal, conectado en forma continua con la corriente; y el devanado de arranque, conectado sólo durante el arranque del motor. El devanado de arranque crea un pequeño desplazamiento de fase, el cual a su vez causa el par torsional inicial para arrancar y acelerar el rotor. Después de que el rotor llega a 75% de su velocidad sincrónica, un interruptor centrífugo desconecta el devanado de arranque, y el rotor continúa trabajando con el devanado principal.

Este tipo de motor (...) tiene un par torsional de arranque moderado, de aproximadamente 150% del par torsional de carga total. Tiene buena eficiencia y está diseñado para funcionamiento continuo. La regulación de velocidad es buena. Una de las desventajas

consiste en que requiere un interruptor centrífugo para desconectar el devanado de arranque. El escalón de la curva de velocidad/par torsional indica esta desconexión.

Estas características hacen que el motor de fase partida sea uno de los más usados en máquinas de negocios, máquinas herramientas, bombas centrífugas, podadoras eléctricas de césped y en aplicaciones parecidas. (Mott, R.,L., 2006, p. 806)

Véase la Figura 3.30

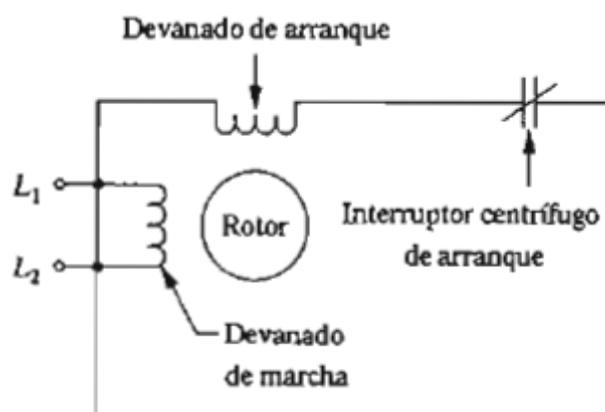


Figura 3. 30 Motor de fase partida

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 807). México: Pearson Educación.

Motores de arranque por capacitor

Al igual que el motor de fase partida, el motor de arranque por capacitor (...) tiene también dos devanados: un devanado principal, o de marcha, y un devanado de arranque. Pero en él, un capacitor está conectado en serie con el devanado de arranque y produce un par torsional de arranque mucho mayor que el motor de fase partida. Es común que el par torsional de arranque sea de 250%, o más, comparado con el de carga total. Aquí también se usa un interruptor centrífugo para desconectar el devanado de arranque con su capacitor. Las características de marcha del motor son, a partir de entonces, muy parecidas a las del motor de fase partida: buena regulación de la velocidad y buena eficiencia en funcionamiento continuo.

Entre las desventajas están el interruptor y el capacitor, que es relativamente voluminoso (...). También se puede integrar en un paquete que contiene el interruptor de arranque, un relevador u otros elementos de control.

El motor de arranque por capacitor se usa en muchas clases de máquinas que necesitan alto par torsional de arranque. Entre los ejemplos están los transportadores de carga muy

pesada, los compresores de refrigeración, y las bombas y agitadores para líquidos densos. (Mott, R. L., 2006, p. 807)

Véase la Figura 3.31

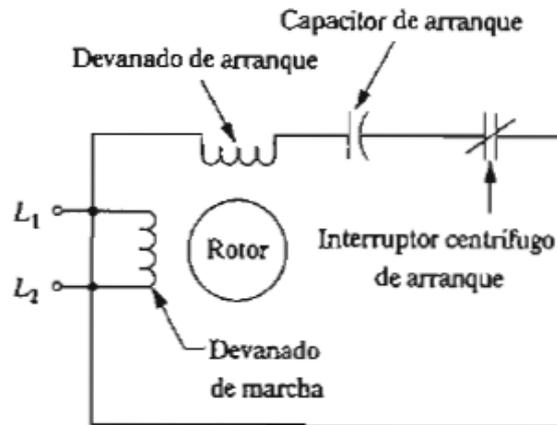


Figura 3. 31 Motor de arranque por capacitor

Nota. Fuente: Mott, R.,L., (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 807). México: Pearson Educación.

Motores de capacitor y fase partida permanente

Se conecta siempre un capacitor en serie con el devanado de arranque. El par torsional de arranque de un motor de capacitor y fase partida permanente suele ser bastante bajo, de 40% del par torsional de carga total. Así, sólo se usa en cargas con poca inercia, como en ventiladores y sopladores. Una ventaja es que se puede adaptar el funcionamiento de marcha, y la regulación de la velocidad, para que sean adecuados para la carga, al seleccionar el valor adecuado de capacitancia. Además, no requiere interruptor centrífugo. (Mott, R.,L., 2006, p. 808)

Véase la Figura 3.32

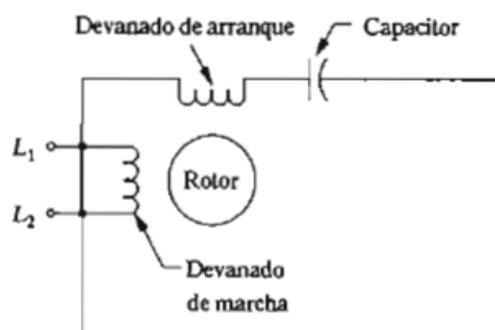


Figura 3. 32 Motor de capacitor y fase partida permanente

Nota. Fuente: Mott, R.,L., (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 807). México: Pearson Educación.

Motores de polos sombreados

El motor de polos sombreados (...) sólo tiene un devanado, que es el devanado principal, o de marcha. La reacción para el arranque se produce por la presencia de una banda de cobre alrededor de un lado de cada polo. La banda, con baja resistencia, "sombrea" el polo y produce un campo magnético rotatorio para arrancar el motor.

El motor de polos sombreados es sencillo y poco costoso, pero tiene baja eficiencia y un par torsional de arranque muy pequeño. La regulación de velocidad es mala, y debe enfriarse con ventiladores y sopladores montados en el eje, donde el aire se hace pasar sobre el motor. Algunas bombas pequeñas, juguetes y electrodomésticos de uso intermitente utilizan también motores de polos sombreados, debido a su bajo costo. (Mott, R.,L., 2006, p. 808)

Véase la Figura 3.33

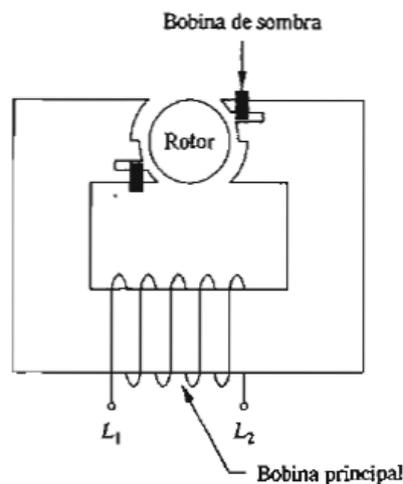


Figura 3. 33 Motor de polos sombreados

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 807). México: Pearson Educación.

Una vez analizadas las características de funcionamiento, ventajas y desventajas de los cuatro tipos de motores monofásicos CA, y comparados con nuestros requerimientos, se selecciona el motor de arranque por capacitor ya que su par torsional de arranque es de 250%, o más, comparado con el de carga total.

Selección del tipo de armazón

El diseño de la máquina desvainadora de fréjol seco donde se va a montar el motor, requiere un tipo de armazón que sea instalado en una base plana, por lo cual se

selecciona el tipo de armazón montado a pie, que es el que se usa con más frecuencia en la maquinaria industrial, tiene apoyos con orificios para atornillar el motor a la máquina.

Véase la Figura 3.34

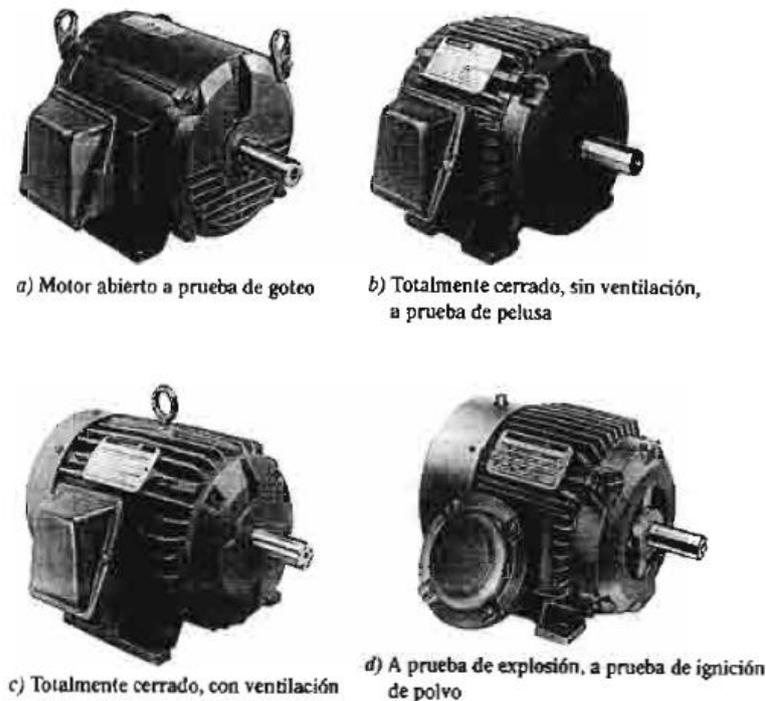


Figura 3. 34 Motores montados de pie, con diversos tipos de caja

Nota. Fuente: Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (p. 809). México: Pearson Educación.

Selección del tipo de caja

Las cajas del motor, son las que soportan las partes funcionales del mismo y las protegen, estas cajas varían según el grado de protección que se requiere.

De todos los siguientes factores, analizamos de cuál de ellos debemos proteger a nuestro motor: al polvo y la tierra, gases o líquidos corrosivos, vapores o polvos explosivos, aceites o lubricantes, agua (lluvia, nieve, aguanieve, salpicadura de agua).

En nuestro caso requerimos una caja que proteja al motor del polvo y de la pelusa que emana el fréjol cuando está siendo desvainado.

3.1.3.1.1 Cálculo de la potencia y selección de las rpm del motor

La potencia del motor se la calcula mediante pruebas de campo, para lo cual se satura a la máquina con fréjol seco a carga máxima y utilizando un dinamómetro, procedemos a realizar el siguiente proceso:

Montamos un playo de presión en el eje, al otro extremo de éste playo acoplamos el dinamómetro y aplicamos la fuerza necesaria para que nuestro eje empiece a girar, de esta manera sabremos cuál es el torque máximo que debe vencer nuestro motor en el arranque.

Véase la Fotografía 5



Fotografía 5 Cálculo del torque máximo

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

La distancia desde el eje hasta el dinamómetro es de 30 cm, y la medida que nos arroja el dinamómetro es de 4Kg, con estos datos calculamos el torque con la siguiente ecuación:

Ecuación 30 Torque

$$T = F * d$$

Donde:

T = torque máximo que debe vencer el motor.

F = fuerza necesaria.

d = distancia desde el eje hasta donde se aplica la fuerza F.

Entonces reemplazando los datos en la Ecuación tenemos el siguiente resultado:

$$T = 5 \text{ kg} * 30 \text{ cm}$$

$$T = 120 \text{ Kg.cm}$$

A continuación mediante pruebas de campo seleccionamos las rpm óptimas, es decir, las revoluciones a las cuales tenemos el mejor rendimiento de la máquina, para lo cual llenaremos la Tabla 3.8 en donde comparamos la cantidad de fréjol en vaina que ingresa a ser desvainado con la calidad del fréjol en grano que sale y la producción de la máquina.

Se considera que la calidad del fréjol en grano es buena cuando está libre de magulladuras y de residuos de la cáscara, y se considera que la producción es buena cuando cumple satisfactoriamente con el tiempo determinado de desvainado.

Tabla 3. 8 Tabla para seleccionar las rpm óptimas

Rpm	Fréjol en vaina (lbs)	Calidad del fréjol en grano (%)	Producción (%)
200	9	50	20
300	9	50	20
400	9	60	60
500	9	60	60
600	9	70	70
700	9	70	70
800	9	90	99
900	9	99	99

1000	9	70	99
1100	9	50	99
1200	9	30	99

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Analizando estos resultados, concluimos que las rpm óptimas para que la calidad del fréjol y la producción de la máquina sean excelentes está en el rango de 800 a 900.

Conociendo el torque T y las rpm óptimas, procedemos a calcular la potencia del motor, utilizando una media de 850 rpm.

Ecuación 31 Ecuación para calcular la potencia del motor

$$H = \frac{FV}{33000} = \frac{2\pi Tn}{33000(12)} = \frac{Tn}{63025}$$

Fuente. Ecuación (3-40) Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley pág. 96

Donde:

H = potencia. [hp]

T = par de torsión. [lbf.pulg]

n = velocidad de rotación del eje. [rev/min]

F = fuerza. [lbf]

V = velocidad. [ft/min]

Reemplazando los datos en la Ecuación... tenemos el siguiente resultado:

$$H = \frac{(103.94 \text{ lb. in})(850 \text{ rpm})}{63025}$$

$$H = 1,4 \text{ hp}$$

A este resultado lo multiplicamos por un factor de corrección de 1,6 por pérdidas en las bandas, apoyos del eje en las chumaceras, atascamiento del sistema de

desvainado por pesos imprevistos y de esta manera la potencia final del motor queda de la siguiente manera:

$$H = 1,4 \text{ hp} * 1,6$$

$$H = 2,24 \text{ hp}$$

Se selecciona un motor de 2 hp con las siguientes características:

Tabla 3. 9 Características del motor seleccionado

Marca	Weg
Modelo	LR 38324
HP(KW)	2(1,5)
V	110/220
A	27.60/13.80
HZ	60
RPM	1720
PH	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.1.3.2 Eje de transmisión, polea motriz y polea conducida

El eje de transmisión es la parte más importante del sistema de desvainado, a este estarán acoplados un tubo cédula 40, paletas de impacto y el ventilador de centrifugado, y todo este conjunto de elementos forman el sistema de desvainado de fréjol seco, por lo cual el diseño de los mismos es fundamental. Véase el Anexo 18

3.1.3.2.1Diseño del eje de transmisión

Para empezar el diseño, seleccionamos el material:

Material: eje de acero inoxidable AISI 304

Propiedades mecánicas: Véase el Anexo 1

$$S_y = 35 \text{ ksi}$$

Fuente: (Mott, R., L.,(2006). p. A-12.

Donde:

S_y = resistencia a la fluencia.

S_u = 85 ksi

Fuente: (Mott, R., L.,(2006). p. A-12.

Donde:

S_u = resistencia a la tensión.

S_n = 25 ksi

Donde:

S_n = resistencia a la fatiga.

Véase la Figura 3.35

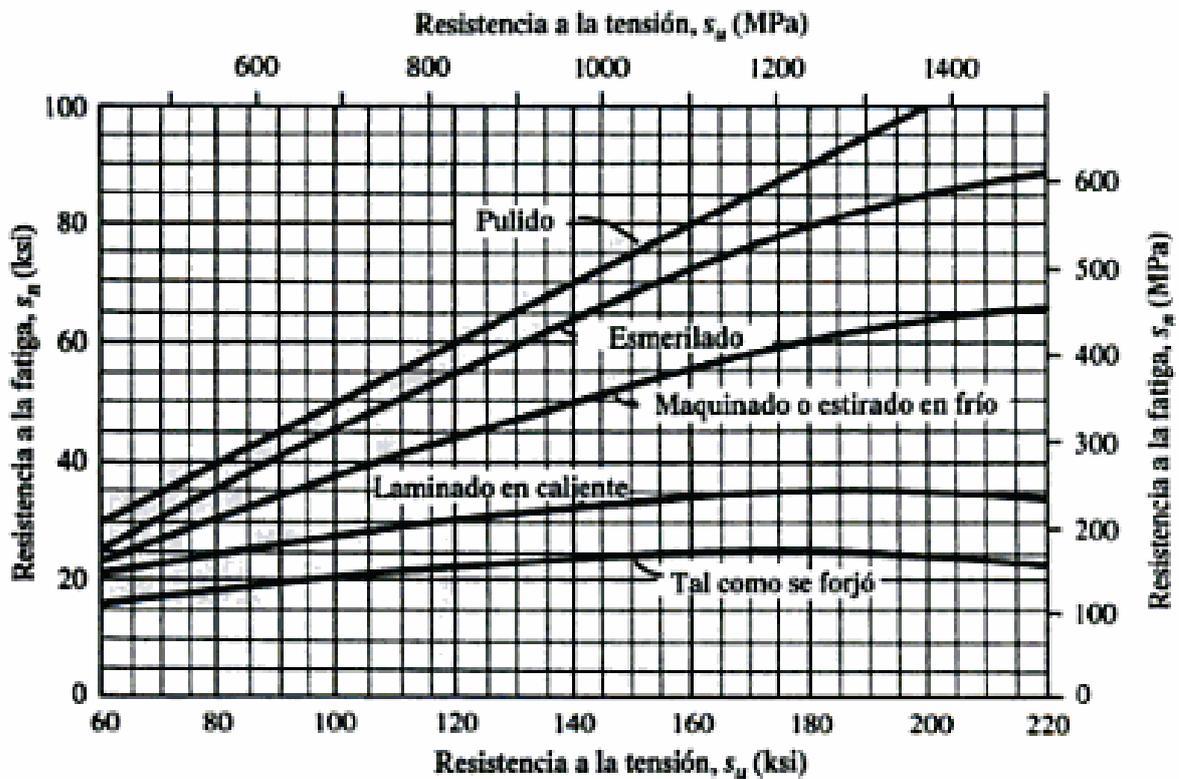


Figura 3. 35 Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie.

Nota. Fuente: (Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas.* (2006). p. 175. México: Pearson

Para encontrar el factor por tamaño, asumimos un diámetro $D = 100$ mm y lo reemplazamos en la Tabla 3.10, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 32 Factores de tamaño

$$C_s = 0,859 - 0,000837D$$

Tabla 3. 10 Factores de tamaño

Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional	
Rango de tamaño	Para D en pulgadas
$D \leq 0.30$	$C_s = 1.0$
$0.30 < D \leq 2.0$	$C_s = (D/0.3)^{-0.11}$
$2.0 < D < 10.0$	$C_s = 0.859 - 0.02125D$
Unidades SI	
Rango de tamaño	Para D en mm
$D \leq 7.62$	$C_s = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_s = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D < 250$	$C_s = 0.859 - 0.000837D$

Nota. Fuente: Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas.* (2006). p. 175. México: Pearson

Donde:

C_s = factor por tamaño.

Reemplazando los datos correspondientes tenemos:

$$C_s = 0,859 - 0,000837 * (100)$$

$$C_s = 0,7753$$

Véase la Tabla 3.11

Factor de confiabilidad = 0,99

CR = 0,81

Donde:

CR = confiabilidad deseada.

Tabla 3. 11 Factores de confiabilidad aproximados CR

Factores de confiabilidad aproximados C_R

Confiabilidad deseada C_R

0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Nota. Fuente: Adaptado de Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas*. (2006). p. 175. México: Pearson

A continuación calculamos la resistencia real a la fatiga, reemplazando los valores correspondientes encontrados anteriormente en la siguiente ecuación:

Ecuación 33 Ecuación de la resistencia a la fatiga modificada

$$S'_n = S_n * C_s * C_R$$

Fuente. Mott,R.,L.,(2006)

Donde:

S'_n = resistencia real a la fatiga.

C_s = factor por tamaño.

CR = confiabilidad deseada.

Reemplazando los datos correspondientes tenemos:

$$S'n = (25\text{ksi})(0,770)(0,81)$$

$$S'n = 15,592 \text{ ksi} = 15\,592 \text{ psi}$$

Seleccionamos un factor de diseño:

$$N = 2$$

Donde:

N = factor de diseño.

Se ha seleccionado un factor de diseño $N = 2$, ya que los elementos de la máquina están bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño (Mott, R.,L.,185).

Ecuación 34 Ecuación del par torsional sobre la polea impulsada

$$T = 63000(P)/n$$

Fuente. Mott,R.,L.,2006

Donde:

T = par torsional, [lb.pulg].

P = potencia, [hp].

n = velocidad de giro, [rpm].

$$T = 63000(2)/850$$

$$T = 148,24 \text{ lb.pulg.}$$

Realizamos el diagrama de fuerzas sobre la polea impulsada para banda en V, para calcular la fuerza flexionante que ejerce la polea sobre el eje:

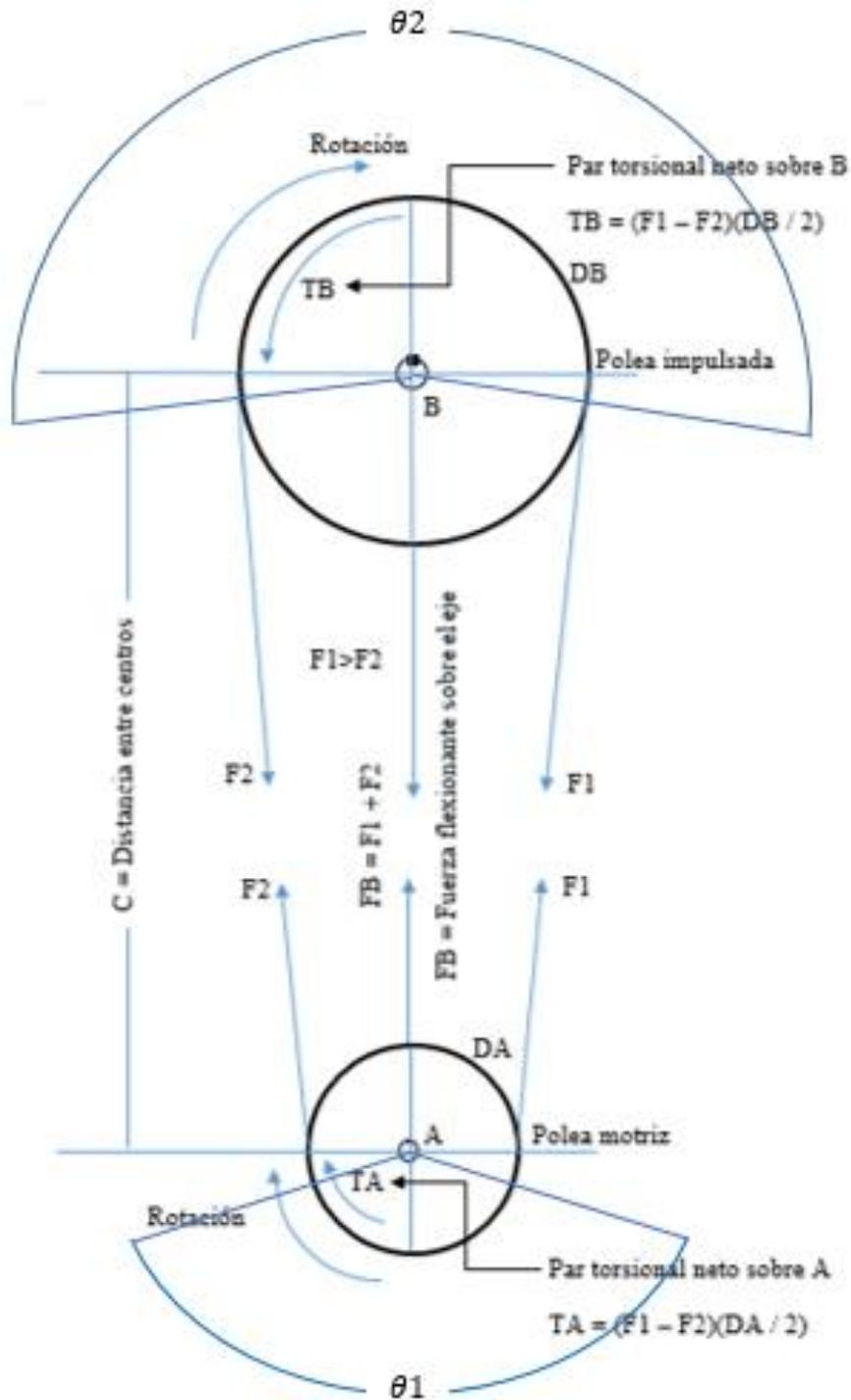


Figura 3. 36 Diagrama de fuerzas en las poleas motriz e impulsada

Nota. Fuente: Adaptado de Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 539). México: Pearson Educación.

Ecuación 35 Ecuación de la relación de fuerzas

$$\frac{F_1}{F_2} = 5$$

Fuente: Mott,R.,L.,(2006)

Ecuación 36 Ecuación del par torsional neto sobre B

$$TB = (F1 - F2)\left(\frac{DB}{2}\right)$$

Fuente: Mott. p. 539

Despejando F1 de la Ecuación 35 y reemplazándolo en la Ecuación 36, tenemos:

Ecuación 37 Ecuación despejada del par torsional neto sobre B

$$F2 = \frac{TB}{2 * DB}$$

Ahora necesitamos encontrar el valor del diámetro de la polea mayor DB:

Datos:

Potencia transmitida = 2 hp.

Velocidad del motor = W1 = 1720 rpm.

Velocidad de salida = W2 = 850 rpm.

Calculamos la relación de velocidades nominales:

$$Relación = \frac{1720}{850} = 2,02$$

Asumimos un diámetro estándar de la polea motriz que satisfaga los lineamientos del diseño de transmisiones por bandas en V:

Tamaño estándar de la polea motriz, DA = 2,5 pulg = 6,35 cm.

Ecuación 38 Ecuación del intervalo de distancias nominales entre centros

$$D2 < C < 3(D2 + D1)$$

Fuente: Mott,R.,L.,(2006)

Donde:

C = distancia entre centros

$D1 = DA =$ diámetro de la polea motriz.

$D2 = DB =$ diámetro de la polea impulsada.

El ángulo de contacto en la polea menor debe ser mayor que 120° :

$$\theta_1 > 120^\circ$$

Ecuación 39 Ecuación del ángulo de contacto de la banda en la polea de diámetro menor

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2C}\right)$$

Fuente: Mott,R.,L.,(2006)

Para calcular el diámetro de la polea impulsada, DB utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 40 Ecuación de la relación de velocidades angulares:

$$\frac{W1}{W2} = \frac{D2}{D1}$$

Donde:

$W1 =$ velocidad del motor

$W2 =$ velocidad de salida

Fuente: Ecuación 7-2, p. 270 Mott

Despejamos $D2$ y reemplazamos los valores correspondientes:

$$D2 = \frac{D1 * W1}{W2}$$

$$D2 = \frac{2,5 * 1720}{850}$$

$D2 = 5,058 \text{ pulg} = 12,85 \text{ cm}$. Se selecciona un diámetro estándar de $5 \text{ in} = 12,7 \text{ cm}$.

$D2 = 5 \text{ in}$

C (distancia entre centros aproximado) = 53 cm.

Comprobamos si cumplimos con los lineamientos de diseño para las bandas en V, mediante la Ecuación y la Ecuación:

$$D2 < C < 3(D2 + D1)$$

$$15,05 < 39 < 3(15,05 + 7,87)$$

$$15,05 < 39 < 68,76$$

$$\theta_1 > 120^\circ$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2C}\right)$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1}\left(\frac{12,7 - 6,35}{2 * 53}\right)$$

$$\theta_1 = 173,13^\circ$$

Los datos que hemos encontrado, cumplen con los lineamientos de diseño y podemos continuar con el análisis de la fuerza flexionante que ejerce la polea sobre el eje FB.

Reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación 37, tenemos:

$$F2 = \frac{148,24 \text{ lb. pulg}}{2 * 5 \text{ pulg}}$$

$$F2 = 14,824 \text{ lb}$$

Si este resultado lo reemplazamos en la Ecuación 35, tenemos:

$$F1 = 5F2$$

$$F1 = 5(14,824 \text{ lb})$$

$$F1 = 74,12 \text{ lb}$$

Realizamos el diagrama de fuerzas en el eje, conociendo la ubicación de los cojinetes:

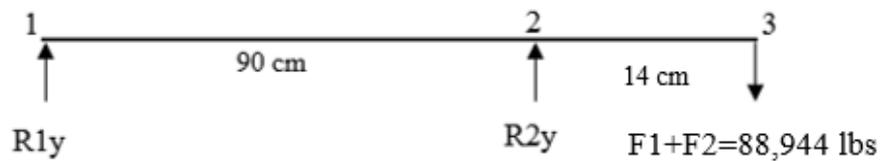


Figura 3. 37 Diagrama de fuerzas del eje 1 3

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

En base a la Figura 3.38 hacemos sumatoria de momentos en 1 es igual a cero (sentido antihorario positivo):

$$\sum M_1 = 0$$

$$R2y(90) - 88,944(104) = 0$$

$$R2y = 102,78 \text{ lb} = 40,46 \text{ Kg}$$

Y sumatoria de fuerzas en Y es igual a cero (dirección hacia arriba positivo):

$$\sum F_y = 0$$

$$R1y + R2y - 88,944 \text{ lb} = 0$$

$$R1y = -13,836 \text{ lb} = -5,45 \text{ Kg}$$

Con las reacciones obtenidas procedemos a realizar el diagrama de cortes y momentos:

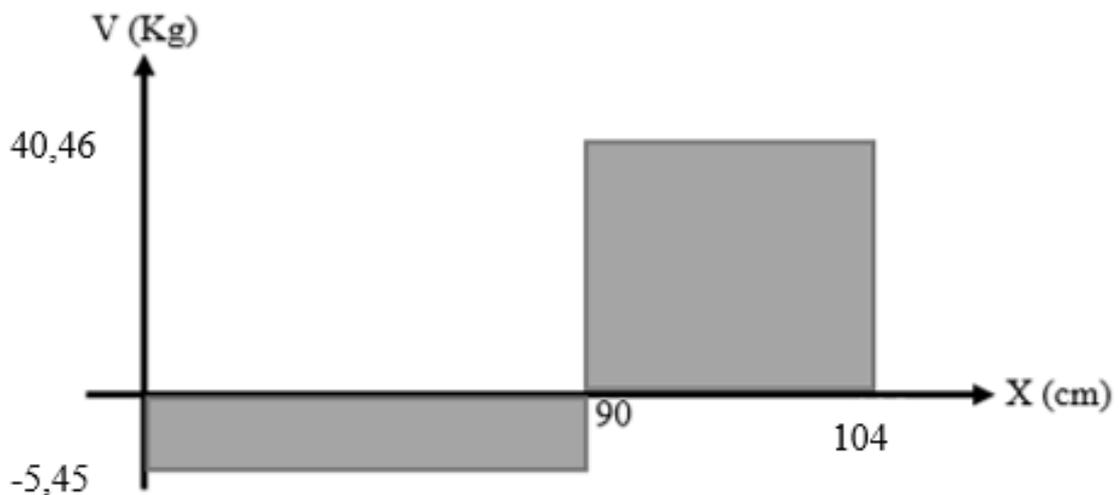


Figura 3. 38 Diagrama de cortes de la viga 1 3

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

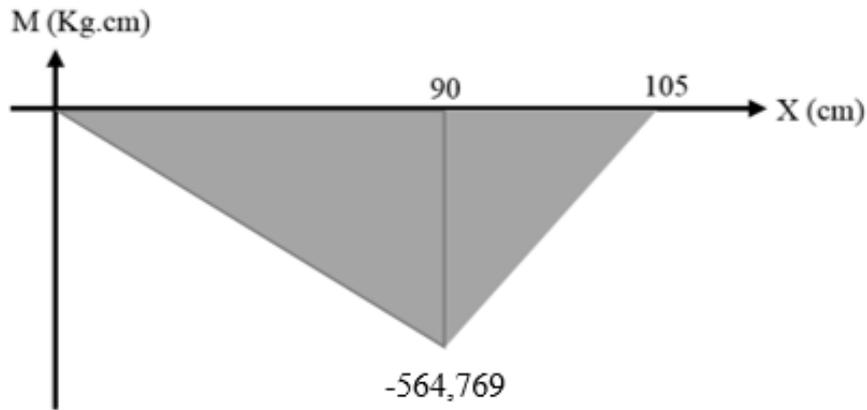


Figura 3. 39 Diagrama de momentos de la viga 1 3

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Continuamos con el diseño mediante el cálculo del diámetro mínimo aceptable del eje, en varios puntos del mismo. En cada punto observamos la magnitud del par torsional y del momento flexionante que existan allí:

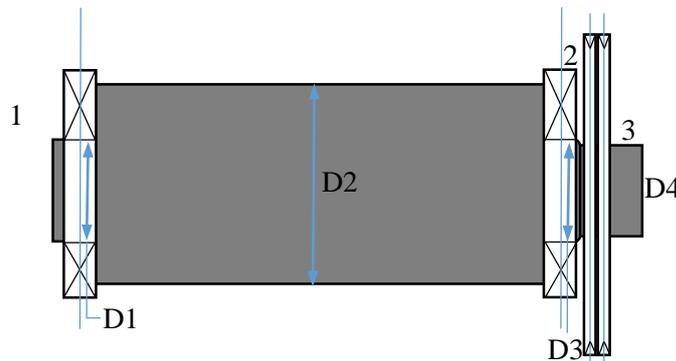


Figura 3. 40 Diagrama de los diferentes diámetros del eje

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

En el punto 1: el punto 1 es el asiento de un rodamiento, allí no hay momentos torsionales ni flexionantes, sin embargo sí hay una fuerza cortante vertical, igual a la reacción en el rodamiento.

Utilizamos la siguiente ecuación para calcular el diámetro que requiere el eje en este punto:

Ecuación 41 Ecuación del diámetro requerido del eje

$$D = \sqrt{\frac{2,94Kt(V)N}{S'n}}$$

Fuente: Ecuación 12-16 Mott, p.545

Donde:

D = diámetro del eje requerido.

Kt = chaflán (chaflán agudo = 2,5).

V = fuerza cortante vertical.

N = factor de seguridad. (N = 2)

S'n = resistencia real a la fatiga.

$$D1 = \sqrt{\frac{2,94 * 2,5(13,836 lb)(2)}{15 592 psi}}$$

$$D1 = 0,01 pulg$$

Este diámetro es muy pequeño, en comparación con los demás diámetros que se van a calcular, así que debemos seleccionar un diámetro adecuado de acuerdo al tamaño de un rodamiento razonable.

2: el punto 2 es el lugar de un rodamiento y tiene un chaflán agudo a la izquierda y a la derecha.

El diámetro D2 a la izquierda de 2, se especificará después de haber terminado el análisis de esfuerzos y seleccionando el rodamiento en 2.

Para calcular el diámetro D3 en 2, utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 42 Ecuación de diseño para ejes

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{KtM}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{1/3}$$

Fuente: Ecuación 12-24, Mott, p.548

Donde:

D = diámetro del eje.

N = factor de seguridad.

Kt = chaflán (chaflán agudo = 2,5).

M = momento flexionante.

S'n = resistencia real a la fatiga.

T = momento torsional.

Sy = resistencia a la fluencia.

$$D3 = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{(2,5)(489,17 \text{ lb. pulg})}{15592 \text{ psi}} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{148,24 \text{ lb. pulg}}{35\,000 \text{ psi}} \right]^2} \right]^{1/3}$$

$$D3 = 1,16 \text{ pulg}$$

El punto 3 es el lugar de la polea en donde no existe momento pero si existe fuerza cortante, el diámetro D4 calculamos con la Ecuación 41:

$$D4 = \sqrt{\frac{2,94Kt(V)N}{S'n}}$$

$$D4 = \sqrt{\frac{2,94(2,5)(102,78)(2)}{15592 \text{ psi}}}$$

$$D4 = 0,3 \text{ pulg}$$

Nos dirigimos al Anexo 2 y seleccionamos los diámetros nominales de los rodamientos estándares, entonces los diámetros del eje quedan con los siguientes valores:

$$D1 = 1 \text{ pulg}$$

$$D2 = 1,25 \text{ pulg}$$

$$D3 = 1 \text{ pulg}$$

$$D4 = 0,9 \text{ pulg}$$

3.1.3.2.2 Diseño de la polea motriz y polea conducida

Calculamos la potencia de diseño, según el Anexo 3, para un motor eléctrico de par torsional normal que trabaje más de 15 horas por día, el factor de servicio es 1,5; entonces:

$$\text{Potencia de diseño} = 2 \text{ hp} * 1,5$$

$$\text{Potencia de diseño} = 3 \text{ hp}$$

Seleccionamos la sección de banda, según el Anexo 4, se recomienda una banda 3VX para 3 hp a 1750 rpm en la entrada.

Calculamos la longitud de la banda necesaria L, mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 43 Ecuación de la longitud de paso

$$L = 2C + 1,57(D2 + D1) + \frac{(D2 - D1)^2}{4C}$$

Fuente: Mott, R., L., (2006)

Donde:

C = distancia entre centros

D1 = diámetro de la polea motriz

D2 = diámetro de la polea impulsada

Reemplazando los datos correspondientes en la Ecuación 43, tenemos:

$$L = 2(53) + 1,57(12,7 + 6,35) + \frac{(12,7 - 6,35)^2}{4(53)}$$

$$L = 136,09 \text{ cm} = 53,58 \text{ pulg.}$$

Se selecciona una longitud de banda estándar 3V, L = 48 pulg.

Calculamos la distancia entre centros correcta, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 44 Ecuación de la distancia entre centros

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D2 - D1)^2}}{16}$$

Donde:

$$B = 4L - 6,28(D2 + D1)$$

Fuente: Mott,R.,L.,(2006)

Para lo cual calculamos primero el valor de B, reemplazando sus valores correspondientes:

$$B = 4L - 6,28(D2 + D1)$$

$$B = 4136,09 - 6,28(12,7 + 6,35)$$

$$B = 424,726 \text{ cm}$$

Con el valor de B obtenido, reemplazamos los datos en la Ecuación y encontramos en valor de la distancia entre centros C correcta:

$$C = \frac{424,726 + \sqrt{424,726^2 - 32(12,7 - 6,35)^2}}{16}$$

$$C = 52,9 \text{ cm} = 20,86 \text{ pulg}$$

Utilizando el valor encontrado de la distancia entre centros, calculamos el valor correcto del ángulo de contacto de la banda en la polea de diámetro menor, mediante la Ecuación: 39

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2C}\right)$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1}\left(\frac{12,7 - 6,35}{2 * 52,9}\right)$$

$$\theta_1 = 173,12^\circ$$

Calculamos la potencia nominal, basándonos en el Anexo 6:

Para una polea de 2,5 pulgadas a 1720 rpm, la potencia nominal real es de 1,75 hp.

Determinamos los factores de corrección con el Anexo 7 y el Anexo 8:

Para $\theta_1 = 173,12^\circ$

Factor de corrección por ángulo de contacto, $C_\theta = 0,97$.

Para $L = 48$ pulg:

Factor de corrección por longitud, $C_L = 0,92$.

Calculamos la potencia nominal corregida por banda y la cantidad de bandas necesarias para manejar la potencia de diseño:

$$\text{Potencia corregida} = C_\theta * C_L * P$$

$$\text{Potencia corregida} = 0,98 * 0,92 * 1,75$$

$$\text{Potencia corregida} = 1,5778 \text{ hp.}$$

$$\text{Número de bandas} = \frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Potencia corregida}}$$

$$\text{Número de bandas} = \frac{3}{1,5778}$$

$$\text{Número de bandas} = 1,90 \text{ bandas}$$

De acuerdo a los datos arrojados seleccionamos un número de 2 bandas para nuestro sistema de transmisión.

3.1.3.3 Selección de cojinetes con contacto de rodadura

Los rodamientos montados proporcionan un medio de sujetar la unidad del rodamiento en forma directa al armazón de la máquina.

Chumacera de brida para cuatro tornillos: las unidades de brida se diseñan para que puedan ser montadas en los armazones laterales verticales de la máquina y sujetan ejes horizontales.

Para que los cojinetes con contacto de rodadura resistan los esfuerzos altos a los que son sometidos, las bolas, rodillos y pistas son fabricados con acero o cerámica muy duros, de alta resistencia.



Figura 3. 41 Chumacera de brida para cuatro tornillos

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 605). México: Pearson Educación.

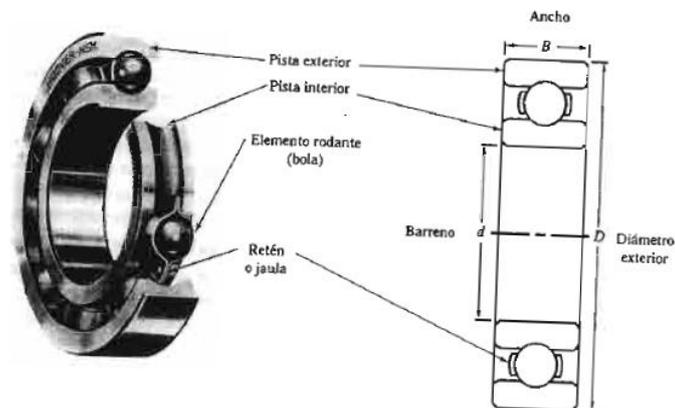


Figura 3. 42 Cojinete de una hilera de bolas con ranura honda

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 599). México: Pearson Educación.

La selección de un rodamiento, con la ayuda del catálogo de su fabricante, implica determinar la capacidad de carga y la geometría del rodamiento.

Contando con los diámetros del eje y las cargas radiales, procedemos a seleccionar el rodamiento mediante una serie de cálculos necesarios.

Además sabemos que la carga radial es de 88,944 lbs.

Calculamos la carga equivalente P mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 45 Ecuación de la carga equivalente

$$P = VR$$

Fuente: Mott, p.613

Donde:

P = carga equivalente, solo carga radial.

V = factor de rotación (V = 1,0).

R = carga radial.

Ya que se va a montar la pista interior del cojinete en el eje, la carga de diseño es igual a la carga radial así:

$$P = 1 * 88,944 \text{ lbs.}$$

$$P = 88,944 \text{ lbs.}$$

De acuerdo a la Tabla 3.12, seleccionamos un rodamiento de una hilera de bolas con ranura profunda.

Tabla 3. 12 Comparación de los tipos de rodamientos

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas con ranura profunda	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas, ranura profunda	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos	Excelente	Mala	Regular
Agujas	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos	Excelente	Excelente	Mala

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 600). México: Pearson Educación.

Especificamos la duración de diseño del rodamiento, mediante la Tabla 3.13:

Tabla 3. 13 Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L_{10} , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Fuente: Eugene A. Avallone y Theodore Baumeister III, editores, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 9ª edición. Nueva York: McGraw-Hill, 1986.

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 612). México: Pearson Educación.

Para una aplicación que corresponde a máquinas industriales en general corresponde una duración de diseño $L_{10} = 20000 - 30000$ horas.

Determinamos el factor por velocidad f_N y el factor por duración f_L , mediante la Figura 3.43:

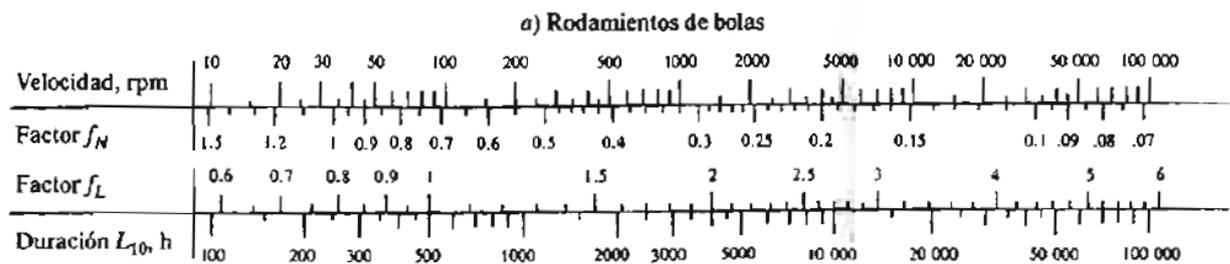


Figura 3. 43 Factores por duración y por velocidad, para rodamientos de bolas y de rodillos

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 612). México: Pearson Educación.

Sabiendo que gira a 850 rpm, $f_N = 0,34$.

Con una duración de diseño de 30000 horas, $f_L = 3,9$.

Con los datos calculamos la capacidad de carga dinámica básica requerida C , mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 46 Ecuación de la capacidad de carga dinámica básica requerida

$$C = Pd * fL/fN$$

Fuente. Ecuación 14-4 Mott, p. 612

Donde:

Pd = carga de diseño.

$$C = 88,944 \text{ lbs} * 3,9/0,34$$

$$C = 1020,24 \text{ lbs.}$$

Con el valor de la capacidad de carga dinámica requerida, seleccionamos el rodamiento que tenga el valor de barreno más cercano al diámetro del eje encontrado para el cojinete, basándonos en el Anexo 2

Se selecciona el rodamiento 6201, el cual tiene un C mayor que 1020,24 lbs.

3.1.3.4 Diseño de cuñas

La cuña y el cuñero son diseñados después de conocer el diámetro del eje en el lugar donde estará el cuñero.

Para ejes hasta de 6 ¼ pulgadas de diámetro, se usa la cuña cuadrada.

Las cuñas se fabrican con acero al bajo carbón, estirado en frío.

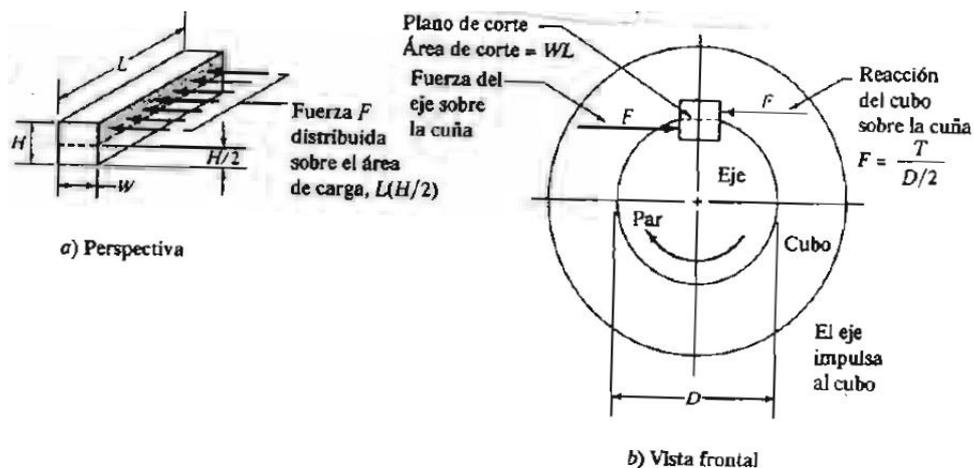


Figura 3. 44 Fuerzas sobre una cuña

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 499). México: Pearson Educación.

El diámetro del eje en el lugar donde se instalará la cuña es igual a 0,9 pulg.

Seleccionamos el tamaño de la cuña basándonos en la Tabla 3.14. Debido a que el diámetro de nuestro eje en el lugar donde se va a instalar la cuña es menor que 6 ¼ pulgadas, usamos una cuña cuadrada:

Tabla 3. 14 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 ¼	1/4	1/4	3/16
1 ¼	1 ½	5/16	5/16	1/4
1 ½	1 ¾	3/8	3/8	1/4
1 ¾	2 ¼	1/2	1/2	3/8
2 ¼	2 ½	5/8	5/8	7/16
2 ½	3 ¼	3/4	3/4	1/2
3 ¼	3 ½	7/8	7/8	5/8
3 ½	4 ½	1	1	3/4
4 ½	5 ½	1 ¼	1 ¼	7/8
5 ½	6 ½	1 ½	1 ½	1
6 ½	7 ½	1 ¾	1 ¾	1 ¼
7 ½	9	2	2	1 ½
9	11	2 ½	2 ½	1 ¾
11	13	3	3	2
13	15	3 ½	3 ½	2 ½
15	18	4		3
18	22	5		3 ½
22	26	6		4
26	30	7		5

Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

Nota: Se prefieren los valores en las áreas no sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 495). México: Pearson Educación.

Determinamos que nuestro diámetro está en el rango de 7/8 hasta 1 ¼, entonces el ancho $W = ¼$ pulg = 0,635 cm.

En general el material de una cuña es el acero AISI 1020 CD (estirado en frío).

El material de las poleas es determinado de acuerdo a la velocidad a las que vayan a ser sometidas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. 15 Determinación del material de la polea de acuerdo a las rpm

MATERIAL	VELOCIDAD RPM
Fundición gris GG20	30600
Fundición nodular GGG40	38200
Aluminio A329	30600
Fundición de acero 1020	43000
Acero laminado	60200

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Como podemos observar todas se encuentran en el rango de velocidad de nuestra máquina, por lo tanto vamos a seleccionar el material más liviano, es decir el aluminio.

Determinamos la resistencia a la fluencia de los siguientes materiales:

Sy cuña = 51000 psi.

Sy eje = 35000 psi.

Sy polea = 27000 psi.

Si el eje o la polea tienen menor resistencia que la cuña, empleamos la siguiente ecuación para calcular la longitud mínima necesaria de la cuña, con base en el esfuerzo de empuje:

Ecuación 47 Ecuación para calcular la longitud mínima de la cuña, con base en el esfuerzo de empuje

$$L = \frac{4T}{\sigma dDH}$$

Fuente: Mott,R.,L.,(2006)

Pero:

$$\sigma d = Sy/N$$

Entonces la Ecuación queda de la siguiente manera:

$$L = \frac{4T}{\frac{S_y}{N}DH}$$

Donde:

L = longitud mínima de la cuña.

T = par torsional.

σ_d = esfuerzo de diseño.

D = diámetro del eje.

H = ancho y alto de la cuña.

S_y = resistencia a la fluencia.

N = factor de seguridad (para aplicaciones industriales típicas N = 3).

Reemplazando los datos correspondientes tenemos:

$$L = \frac{4(148,24 \text{ lb. pulg})}{\frac{27000 \text{ psi}}{3}(0,9 \text{ pulg})(0,25 \text{ pulg})}$$

$$L = 0,29 \text{ pulg.}$$

Empleamos también la siguiente ecuación para calcular la longitud mínima de la cuña, con base en el corte sobre la cuña:

Ecuación 48 Ecuación para calcular la longitud mínima de la cuña, con base en el corte sobre la cuña

$$L = \frac{2T}{\tau_d DW}$$

Fuente. Mott, R., L., (2006)

Pero:

$$\tau_d = 0,5S_y/N$$

Entonces la Ecuación queda de la siguiente manera:

$$L = \frac{2T}{\frac{0,5S_y}{N}DW}$$

Donde:

L = longitud mínima de la cuña.

T = par torsional.

τd = esfuerzo cortante.

D = diámetro del eje.

W = ancho y alto de la cuña.

Sy = resistencia a la fluencia.

N = factor de seguridad (para aplicaciones industriales típicas N = 3).

Reemplazando los datos correspondientes tenemos:

$$L = \frac{2(148,24 \text{ lb. pulg})}{\frac{0,5(27000 \text{ psi})}{3}(0,9 \text{ pulg})(0,25 \text{ pulg})}$$

L = 0,29 pulg.

La mayor de las dos longitudes calculadas es la que gobierna el diseño. Hemos calculado la longitud mínima de la cuña para que soporte el par torsional, pero la cuña debe pasar por toda la longitud de la polea, o al menos una parte apreciable.

Sabiendo la longitud de la polea, seleccionamos una longitud de cuña de 2,36 pulg = 6 cm.

3.2 DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Los motores de baja potencia como en nuestro caso pueden arrancar con un interruptor sencillo que se conecta directamente con el voltaje de la línea.

Véase la Figura 3.45

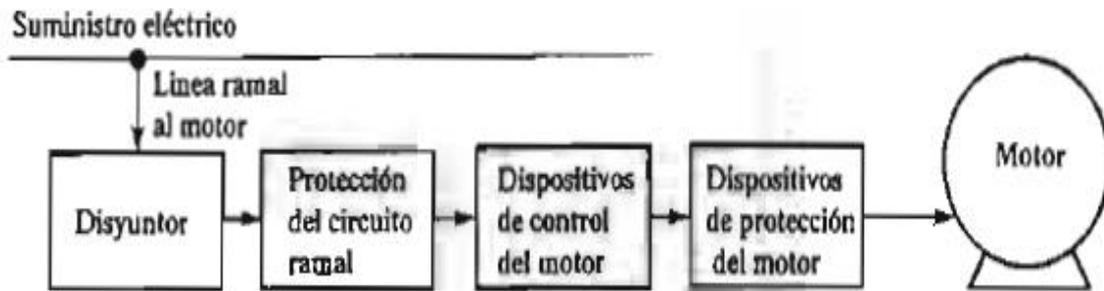


Figura 3. 45 Diagrama de bloques de un control de motor

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 812). México: Pearson Educación.

Para seleccionar adecuadamente el sistema de control de nuestro motor, debemos conocer los siguientes parámetros:

El tipo de servicio eléctrico: voltaje y frecuencia, una o tres fases, limitaciones de la corriente.

El tipo y tamaño del motor: su potencia y velocidades nominales, corriente nominal a plena carga, corriente nominal a rotor bloqueado.

Funcionamiento que se desea: ciclo de trabajo (continuo, arranque y paro o intermitente); una sola velocidad, o varias, todas ellas discretas, o funcionamiento con velocidad variable; en una dirección o reversible.

Ambiente: temperatura, agua (lluvia, nieve, aguanieve, salpicaduras de agua), polvo y tierra, gases o líquidos corrosivos, vapores o polvos explosivos, aceites o lubricantes.

Limitaciones de espacio.

Accesibilidad de los controles.

Factores de ruido o de apariencia (Mott, R. L., 2006, p. 813).

3.2.1 ARRANCADORES

Los arrancadores de motores se clasifican en: manuales o magnéticos, unidireccionales o reversibles, control con dos o tres alambres, arranque a total

voltaje o voltaje reducido, arranque a una o varias velocidades, paro con freno o regenerativo (Mott, R. L., 2006, p. 812).

Para nuestro caso seleccionamos el arrancador manual por las siguientes características de funcionamiento:

Este tipo de arranque manual trabaja a voltaje pleno y es unidireccional, es decir que hace girar al motor en un solo sentido. La Figura... muestra el diagrama esquemático de conexión para un arrancador manual de motores monofásicos. El símbolo M indica un contactor o interruptor normalmente abierto, que se acciona manualmente. La capacidad de los contactores se determina por la potencia del motor que manejan con seguridad. El diseño del contactor debe hacer contacto seguro durante el arranque del motor, considerando la gran corriente de arranque; conducir el intervalo esperado de corrientes de trabajo sin sobrecalentarse; y romper el contacto sin que se forme demasiado arco que pudiera quemar los contactos. La NEMA (National Electrical Manufacturers Association) establece las capacidades. La Tabla 3.9 muestra las capacidades de algunos tamaños NEMA seleccionados de arrancador (Mott, R. L., 2006, p. 813).

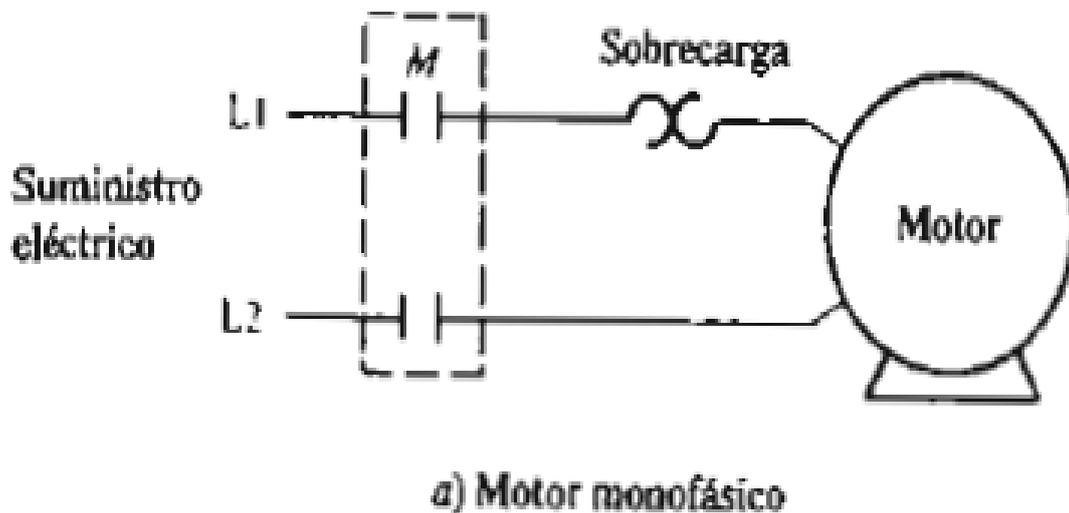


Figura 3. 46 Diagrama de arranque manual de un motor monofásico

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 813). México: Pearson Educación.

Tabla 3. 16 Capacidades de arrancadores a voltaje total, de corriente monofásica

Número de tamaño NEMA	Corriente nominal (amperes)	Potencia nominal a los voltajes indicados					
		110 V		220 V		440 y 550 V	
		(HP)	(kW)	(HP)	(kW)	(HP)	(kW)
00		1/2	0.37	3/4	0.56		
0	15	1	0.75	1½	1.12	1½	1.12
1	25	1½	1.12	3	2.24	5	3.73
2ª	50	3	2.24	7½	5.60	10	7.46
3ª	100	7½	5.60	15	11.19	25	18.65

*Sólo se aplica a los arrancadores magnéticos

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 813). México: Pearson Educación.

3.2.2 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

La principal causa de fallas en los motores eléctricos es el sobrecalentamiento en los devanados debido al exceso de corriente. La corriente depende de la carga en el motor. Se puede dar protección contra un cortocircuito con un fusible pero contiene un elemento que se funde cuando pasa por él un determinado valor de corriente y para reactivar el circuito se necesita cambiar el fusible. En los circuitos de motor se requieren fusibles con retardo, o de fusión lenta, para evitar que se quemen los fusibles al arrancar el motor, cuando toma la corriente relativamente alta, que en ese caso es normal y no es danina. Después de haber arrancado el motor, el fusible se quemará con un valor predeterminado de corriente.

Cada diseño de motor tiene una curva de sobrecalentamiento característica, el cual indica que el motor podría resistir distintos valores de sobrecorriente durante distintos tiempos.

Un protector ideal contra sobrecargas seguiría en paralelo la curva de sobrecalentamiento para el motor correspondiente, siempre desconectándolo con un valor seguro de la corriente. Existen protectores comerciales que cumplen esa función, usan aleaciones, bandas bimetálicas o bobinas magnéticas sensibles a la corriente que pasa por ellas (Mott, R. L., 2006, p. 817).

3.2.2.1 Relevador de estado sólido para sobrecargas

Las dificultades de los fusibles se pueden remediar mediante un relevador de estado sólido o relé para sobrecargas porque sólo emplean el valor detectado del flujo de corriente para producir la acción de disparo, además son insensibles a oscilaciones de la temperatura ambiente. Esto da protección no sólo al motor, sino también al equipo correspondiente que pueda dañarse si el motor falla de repente (Mott, R. L., 2006, p. 818).

3.2.3 CAJAS PARA CONTROLES DE MOTOR

Una de las funciones de un sistema de control de motor es proteger al usuario del contacto con piezas peligrosas del sistema eléctrico, además debe dar protección al sistema contra el ambiente. La NEMA ha establecido normas para cajas, de acuerdo con la diversidad de ambientes que pueden encontrar los controles de motor. (Mott, R. L., 2006, p. 818). Véase la Tabla 3.17

Tabla 3. 17 Cajas para el control del motor

Número de diseño NEMA	Descripción
1	Uso general: interiores, no a prueba de polvo
3	A prueba de polvo, a prueba de lluvia: resistente a intemperie
3R	A prueba de polvo, a prueba de lluvia, a prueba de aguanieve
4	A prueba de agua: puede resistir un chorro de agua directo de una manguera; se usa en barcos y en plantas procesadoras de alimentos, donde hay lavados
4X	A prueba de agua, resistente a la corrosión
7	Lugares peligrosos, clase I: puede trabajar en áreas donde haya gases o vapores inflamables
9	Lugares peligrosos, clase II: zonas con polvos combustibles
12	Uso industrial: resistentes al polvo, pelusa, aceite y líquidos enfriadores
13	Hermético al aceite, hermético al polvo

Nota. Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 818). México: Pearson Educación.

En nuestro caso la caja para el control del motor corresponde a el número de diseño NEMA 3, la cual corresponde a prueba de polvo, a prueba de lluvia: resistente a la interperie.

3.3 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Para determinar cuál es el componente electrónico de control que cumple de mejor manera la función especificada, nuevamente recurrimos al análisis llamado método ordinal corregido de criterios ponderados. Véase la Sección 2.2.3

3.3.1 Unidad programable de control

Las unidades programables de control son aquellos dispositivos electrónicos que permiten controlar los procesos industriales mediante la programación y a continuación se selecciona el más adecuado para la máquina desvainadora de fréjol seco:

- Microcontrolador: es un dispositivo electrónico que contiene un circuito integrado, el cual contiene una CPU, Memoria, Reloj, Puertos de Comunicación y Módulos Periféricos de Entrada y Salida, los cuales cumplen una función específica y permiten al diseñador un controlar los procesos del sistema.
- PLC o controlador lógico programable: es un dispositivo electrónico utilizado para automatizar procesos industriales mediante su programación. Está diseñado para varias señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura y no presenta problemas ante el ruido eléctrico.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) *Eficiencia*: se refiere a que en su aplicación se aproveche al máximo su capacidad de funcionamiento.
- b) *Economía*: es la relación de costos entre un Microcontrolador y un PLC, siendo el más útil el más económico.
- c) *Espacio*: es el espacio físico que ocupa el aparato electrónico.
- d) *Consumo*: es la cantidad de energía eléctrica que necesita el aparato electrónico para funcionar.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 3. 18 Evaluación del peso específico de cada criterio de la unidad programable de control

Criterio	Eficiencia	Economía	Espacio	Consumo	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		1	1	1	4	0,4
Economía	0		0,5	0,5	2	0,2
Espacio	0	0,5		0	1,5	0,15
Consumo	0	0,5	1		2,5	0,25
				Suma	10	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio **eficiencia**

Tabla 3. 19 Evaluación del peso específico del criterio eficiencia

Peso específico	Microcontrolador	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,67
PLC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio **economía**

Tabla 3. 20 Evaluación del peso específico del criterio economía

Peso específico	Microcontrolador	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,67
PLC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4. Evaluación del peso específico del criterio **espacio**

Tabla 3. 21 Evaluación del peso específico del criterio espacio

Peso específico	Microcontrolador	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,67
PLC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **consumo**

Tabla 3. 22 Evaluación del peso específico del criterio consumo

Peso específico	Microcontrolador	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador		1	2	0,67
PLC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Tabla 3. 23 Tabla de conclusiones de la unidad programable de control

Conclusión	Eficiencia	Economía	Espacio	Consumo	Σ	Prioridad
Microcontrolador	0,268	0,134	0,100	0,167	0,669	1
PLC	0,132	0,066	0,049	0,083	0,33	2

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados en la Tabla 3.23 la solución que mejor cumple los parámetros establecidos es la unidad programable de control Microcontrolador y es la alternativa seleccionada.

3.3.2 Selección del Microcontrolador

Para seleccionar el Microcontrolador que satisfaga las necesidades electrónicas que requiere la máquina, se analizará dos de los microcontroladores más comercializados en el mercado por sus excelentes prestaciones:

- Microcontrolador AVR: pertenece a la familia de microcontroladores fabricados por la compañía ATMEL, estos microcontroladores de 8 bits cuentan con una CPU RISC y su memoria de programa viene implementada en Flash.

- Microcontrolador PIC: pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits fabricados por la empresa MICROCHIP, cuentan con un CPU RISC y memoria Flash para el almacenamiento del programa a ejecutar.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

a) *Lenguaje*: es el código de programa que incluye aquellas instrucciones que el Microcontrolador debe cumplir.

b) *Interfaz*: es el hardware externo que se necesita para transferir el programa escrito hasta el Microcontrolador.

c) *Voltaje*: es la cantidad de energía eléctrica que necesita el Microcontrolador para funcionar.

d) *Oscilador*: es el que provee la señal de sincronización, frecuencia o velocidad a la cual el Microcontrolador ejecuta los procesos programados.

e) *Costo*: es el precio monetario que tiene el Microcontrolador en el mercado local.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 3. 24 Evaluación del peso específico de cada criterio de la selección del microcontrolador

Criterio	Lenguaje	Interfa z	Voltaje	Oscilador	Costo	$\sum+1$	Ponderació n
Lenguaje		1	1	0	1	4	0,28
Interfaz	0		1	0	0,5	2,5	0,18
Voltaje	0	0		0	0,5	1,5	0,11
Oscilador	1	1	1		1	4	0,28
Costo	0	0,5	0,5	0		2	0,14
					Suma	14	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio **lenguaje**

Tabla 3. 25 Evaluación del peso específico del criterio lenguaje

Peso específico	Microcontrolador AVR	Microcontrolador PIC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador AVR		1	2	0,67
Microcontrolador PIC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio **interfaz**

Tabla 3. 26 Evaluación del peso específico del criterio interfaz

Peso específico	Microcontrolador AVR	Microcontrolador PIC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador AVR		1	2	0,67
Microcontrolador PIC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **voltaje**

Tabla 3. 27 Evaluación del peso específico del criterio voltaje

Peso específico	Microcontrolador AVR	Microcontrolador PIC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador AVR		1	2	0,67
Microcontrolador PIC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5. Evaluación del peso específico del criterio **oscilador**

Tabla 3. 28 Evaluación del peso específico del criterio oscilador

Peso específico	Microcontrolador AVR	Microcontrolador PIC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador AVR		1	2	0,67
Microcontrolador PIC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

6. Evaluación del peso específico del criterio **costo**

Tabla 3. 29 Evaluación del peso específico del criterio costo

Peso específico	Microcontrolador AVR	Microcontrolador PIC	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador AVR		1	2	0,67
Microcontrolador PIC	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

7. Tabla de conclusiones

Tabla 3. 30 Tabla de conclusiones de la selección del microcontrolador

Conclusión	Lenguaje	Interfaz	Voltaje	Oscilador	Costo	Σ	Prioridad
Microcontrolador AVR	0,19	0,12	0,07	0,19	0,09	0,66	1
Microcontrolador PIC	0,09	0,06	0,04	0,09	0,05	0,33	2

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados en la Tabla 3.30 la solución que mejor cumple los parámetros establecidos es Microcontrolador AVR y es la alternativa seleccionada.

Atmel dentro de su familia posee los Microcontroladores ATmega que son comercializados en nuestro mercado electrónico local y de éstos se selecciona el ATmega 8 por el tamaño reducido y su número de pines suficientes para cumplir con nuestro control.

3.3.3 SELECCIÓN DEL SENSOR

Para seleccionar el Sensor que satisfaga las necesidades de detección del grano de fréjol seco, se analizará dos de los mejores sensores del medio:

- Sensor SASSIN

- Sensor GP2Y

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

a) *Distancia*: es el rango de distancia al que censa este dispositivo, el cual tiene que ser preciso para nuestra aplicación

b) *Salida*: es el tipo de salida de señal que el sensor nos ofrece, la cual debe ser lo más conveniente y sencilla.

c) *Funcionamiento*: es la curva de funcionamiento que tiene el sensor.

A partir de estos datos se procede a realizar las siguientes evaluaciones:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 3. 31 Evaluación del peso específico de cada criterio de la selección del sensor

Criterio	Distancia	Salida	Funcionamiento	$\sum+1$	Ponderación
Distancia		0,5	1	2,5	0,42
Salida	0,5		0,5	2	0,33
Funcionamiento	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio **distancia**

Tabla 3. 32 Evaluación del peso específico del criterio distancia

Peso específico	SASSIN	GP2Y	$\Sigma+1$	Ponderación
SASSIN		1	2	0,67
GP2Y	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3. Evaluación del peso específico del criterio **salida**

Tabla 3. 33 Evaluación del peso específico del criterio salida

Peso específico	SASSIN	GP2Y	$\Sigma+1$	Ponderación
SASSIN		1	2	0,67
GP2Y	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4. Evaluación del peso específico del criterio **funcionamiento**

Tabla 3. 34 Evaluación del peso específico del criterio funcionamiento

Peso específico	SASSIN	GP2Y	$\Sigma+1$	Ponderación
SASSIN		1	2	0,67
GP2Y	0		1	0,33
		Suma	3	1

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

A continuación se procede a realizar la tabla de conclusiones:

5. Tabla de conclusiones

Tabla 3. 35 Tabla de conclusiones de la selección del sensor

Conclusión	Distancia	Salida	Funcionamiento	Σ	Prioridad
SASSIN	0,28	0,22	0,17	0,67	1
GP2Y	0,13	0,11	0,08	0,32	2

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

De acuerdo a los datos arrojados en la Tabla 3.35 la solución que mejor cumple los parámetros establecidos es el sensor SASSIN y es la alternativa seleccionada.

3.4 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 8

Para realizar la programación del microcontrolador ATMEGA 8, primero se realiza un análisis de la estructura y las instrucciones de las funciones paso a paso que éste debe cumplir, para ello utilizamos el flujograma y el diagrama de bloques que se presentan a continuación:

3.4.1 FLUJOGRAMA DE LA PROGRAMACIÓN

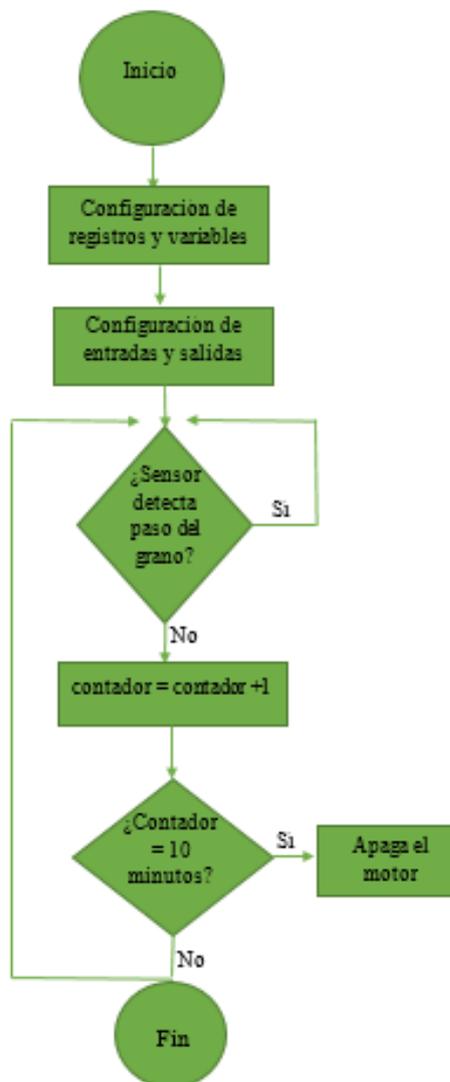


Figura 3. 47 Flujograma de la programación

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES

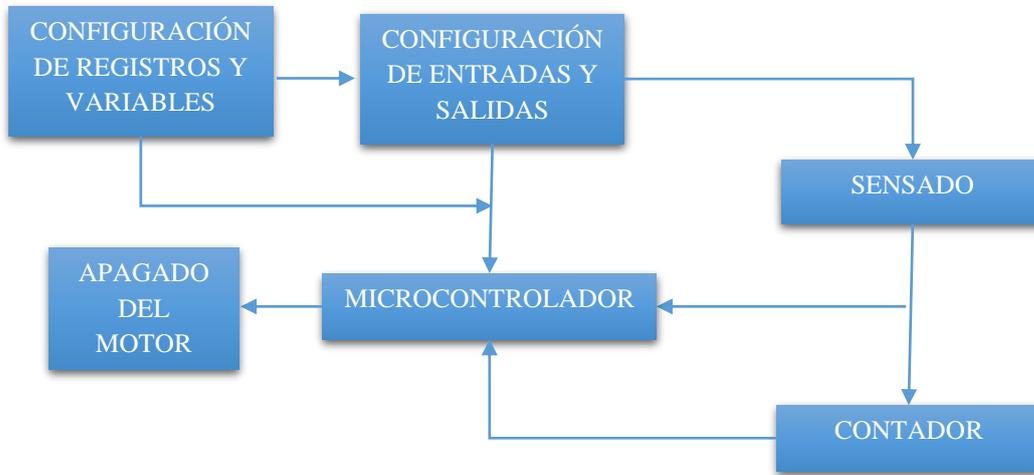


Figura 3. 48 Diagrama de bloques

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.4.3 DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN

El desarrollo de la programación se lo ha realizado en el software CodeVisionAVR, el cual se muestra en el Anexo 25:

3.4.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO

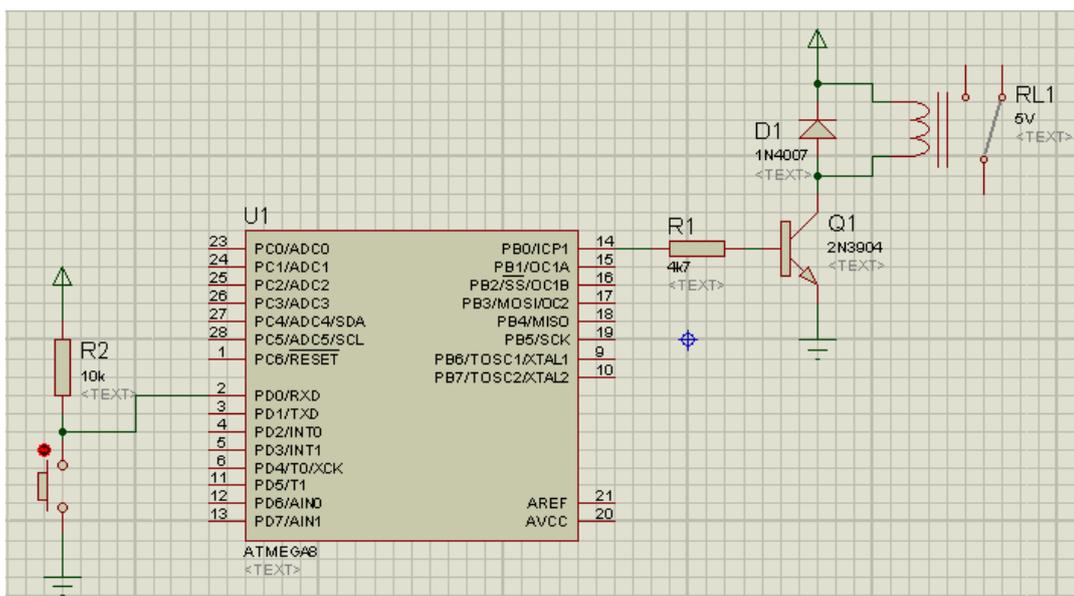


Figura 3. 49 Diagrama esquemático electrónico

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

3.5 INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico contiene los siguientes elementos:

- Pulsadores
- Luces pilotos
- Contactor 110/220
- Relé 110V
- Relé térmico
- Cableado
- Microswitch

3.5.1 ESQUEMA DE CONEXIONES

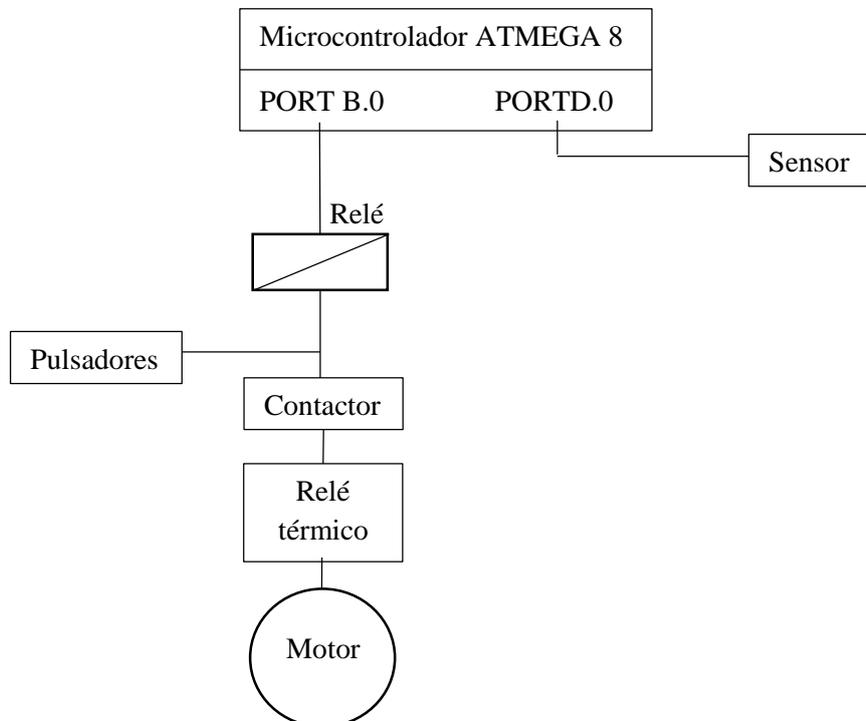


Figura 3. 50 Diagrama eléctrico

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

CAPÍTULO IV.

CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO

4.1 CONSTRUCCIÓN

La construcción de la máquina desvainadora de fréjol seco se la realizó en un taller de industrias metálicas por sus prestaciones técnicas, de maquinaria y herramientas, las cuales hicieron que la construcción esté realizada de forma correcta y confiable.

Los elementos normalizados que se incluyen en el presente proyecto fueron adquiridos en el mercado local y a excelentes precios.

A continuación se detalla la maquinaria y las herramientas que se utilizaron en la construcción de la máquina:

4.1.1 MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

Nombro por separado, toda aquella maquinaria que sirvió para la realización del proyecto y las herramientas que se usaron para manipular, maquinar y unir piezas.

4.1.1.1 Maquinaria

- Torno paralelo.
- Soldadora mig.
- Soldadora tig.
- Plasma.
- Fresadora de torreta.

- Plegadora hidráulica.
- Cizalla hidráulica.
- Dobladora cúbica.
- Pulidora.
- Amoladora.
- Taladro.

4.1.1.2 Herramientas

- Juego de llaves en general.
- Playo de presión.
- Destornilladores.
- Juego de brocas.
- Discos de corte.
- Discos de pulido.
- Discos de desbaste.
- Juego de llaves hexagonales.
- Martillo.
- Punto.
- Nivel.
- Escuadra.
- Sierra.
- Cuchillas de torno.
- Calibrador.

4.2 EQUIPO DE SEGURIDAD

El equipo de seguridad que se utilizó para protegernos de cualquier tipo de accidente es el siguiente:

- Guantes de cuero.
- Guantes de tela.
- Gafas protectoras.
- Mandil.
- Máscara para soldar.

4.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

El proceso que se siguió para construir los diferentes elementos de la máquina se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4. 1 Proceso de fabricación de los elementos de la máquina.

ELEMENTO	PROCESO DE FABRICACIÓN
Estructura de la máquina	<ul style="list-style-type: none">- Cortadora de sierra eléctrica: se realizan los cortes del tubo estructural cuadrado, basándose en las dimensiones de los planos de la máquina.- Plasma: se realizan los cortes de las planchas de acero que cubren ciertas partes de la estructura.- Soldadura: utilizando la soldadora tig por sus características de soldadura limpia, uniforme y resistente se unen las partes y se arma la estructura de la máquina.- Pulidora: se realiza un terminado de las partes que no se encuentran uniformes.
Eje de acero inoxidable	<ul style="list-style-type: none">- Torno paralelo: se maquina el diámetro del eje en los lugares de los rodamientos.
Tubo cédula 40	<ul style="list-style-type: none">- Torno paralelo: se maquinan dos tapas con el diámetro exterior igual al del tubo cédula 40 y un diámetro interior igual al del eje de acero inoxidable.- Soldadora tig: se sueldan las tapas y el tubo cédula 40 al eje de acero inoxidable.- Pulidora: se realiza un buen terminado entre las partes unidas.

Paletas de impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Plasma: se realizan cortes utilizando un molde para obtener las paletas de impacto. - Pulidora: se realiza la corrección de las partes que no están uniformes. - Soldadora tig: se sueldan las paletas de impacto al tubo cédula 40 en forma de un tornillo sinfín.
Ventilador de centrifugado	<ul style="list-style-type: none"> - Plasma: se realizan los cortes de los elementos constitutivos del ventilador de centrifugado. - Soldadora mig: se unen las partes formando el ventilador de centrifugado. - Dobladora cúbica: se realiza el doblaje de la cubierta del ventilador de centrifugado. - Plegadora hidráulica: se realiza un perfil en la cubierta del ventilador de centrifugado. - Pulidora: se corrigen las partes que no están uniformes.
Malla filtradora o criba	<ul style="list-style-type: none"> - Plasma: se realiza el corte del tamaño en ancho y largo adecuado para formar la malla filtradora. Se cortan trozos de acero inoxidable del largo de la malla. - Torno paralelo: se maquinan las planchas circunferenciales divisorias. - Dobladora cúbica: se realiza un doblaje en forma de cilindro a la malla. - Soldadora tig: se unen las planchas circunferenciales y los trozos de acero inoxidable a la malla filtradora.

Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Véase el Anexo de Fotografías para más información sobre el proceso de fabricación de la máquina desvainadora de fréjol seco.

4.2 MONTAJE FÍSICO DE LOS SISTEMAS DE LA MÁQUINA

El montaje de los diferentes sistemas de la máquina se lo realiza de la siguiente manera:

1. Se ajustan las chumaceras en sus respectivos lugares, mediante pernos.
2. Se monta la cubierta del ventilador de centrifugado sobre el sistema de desvainado.
3. Se monta el sistema de desvainado sobre las chumaceras, se colocan y ajustan los pernos.

4. Se monta la polea en el sistema de desvainado.
5. Se monta la malla filtradora o criba colocando y ajustando los pernos correspondientes.
6. Se monta la plancha deslizante de acero inoxidable, colocando y ajustando los pernos correspondientes.
7. Se monta la cubierta del sistema de desvainado ajustando los pernos correspondientes.
8. Se monta el motor a la zona contenedora del motor.
9. Se monta la tapa de la zona contenedora del motor.

Véase el Anexo de Fotografías para más información sobre el proceso del montaje físico de los sistemas de la máquina.

4.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL

Para instalar el sistema electrónico de control se realizaron los siguientes pasos:

1. Se monta la Fuente de voltaje.
2. Se monta el Circuito de control.
3. Se monta el Sensor de detección.
4. Se montan los Arrancadores a la Caja para controles de motor.
5. Se monta la Caja para controles de motor.
6. Se realiza el cableado electrónico Fuente - Sensor - Circuito de control - Arrancadores.

4.4 MONTAJE Y SINCRONIZACIÓN DE ACTUADORES

Para realizar el montaje de los actuadores y sincronizarlos se realizan los siguientes pasos:

1. Se monta el motor eléctrico en el sistema de templado de la banda, se colocan y ajustan los pernos respectivos.

2. Se monta la polea al motor eléctrico.
3. Se coloca la banda en V alrededor de las dos poleas.
4. Se tiempla la banda mediante el sistema de templado de la banda.
5. Se realiza el cableado eléctrico Motor – Arrancadores.

4.5 PRUEBAS Y AJUSTES

En las pruebas realizadas se determinaron los siguientes factores que necesitaron ser ajustados:

- Variando las rpm del motor se observó que de 200 a 800 rpm no existe la velocidad necesaria para trasladar la cáscara del fréjol seco hacia el ventilador de centrifugado, por ende ésta traspasa la malla filtradora y se mezcla con el grano, el cual se lo obtiene de calidad mala; de 800 a 900 rpm se genera una velocidad adecuada para que la cáscara del fréjol seco se traslade hacia el ventilador de centrifugado, la calidad del grano es óptima y la producción es óptima; de 900 a 1200 rpm se genera una velocidad excelente para que la cáscara del fréjol seco se traslade hacia el ventilador de centrifugado, pero la calidad del grano es mala aunque el proceso de desvainado sigue siendo óptimo.
- Se determinó que el rango de las rpm óptimas está entre 850 y 900 rpm para que el proceso de desvainado sea eficiente y el grano se obtenga de calidad, es decir granos partidos menos del 1% e impurezas escasas.
- Se determinó que es necesario colocar una cubierta en la cavidad de entrada ya que existe la posibilidad de que salten los granos hacia la humanidad del usuario, pudiendo provocar golpes leves o molestias.
- Por la malla filtradora se observó el paso de la cáscara del fréjol seco en demasiada cantidad, dando por conclusión que el diámetro del agujero estaba excesivamente grande, por lo cual se procedió a diseñar otra malla con un diámetro menor.

- Las planchas circunferenciales divisorias, no permitían que la cáscara se traslade a lo largo del sistema de desvainado para llegar al ventilador de centrifugado, dando por conclusión que sus medidas necesitaban ser reducidas y se procedió a realizar esta corrección.

4.6 TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se va a realizar la tabulación de los resultados obtenidos, es decir la implementación de los datos arrojados en gráficas que nos indiquen cómo quedaron finalmente los resultados:

4.6.1 RPM ÓPTIMAS DE DESVAINADO

Para determinar las rpm óptimas de desvainado, se realizó un análisis entre la producción de la máquina debido a las rpm y la calidad del grano que producen, tabulándolo de la siguiente manera:

Excelente calidad y producción: 99%

Buena calidad y producción: 80%

Mala calidad y producción: 50%

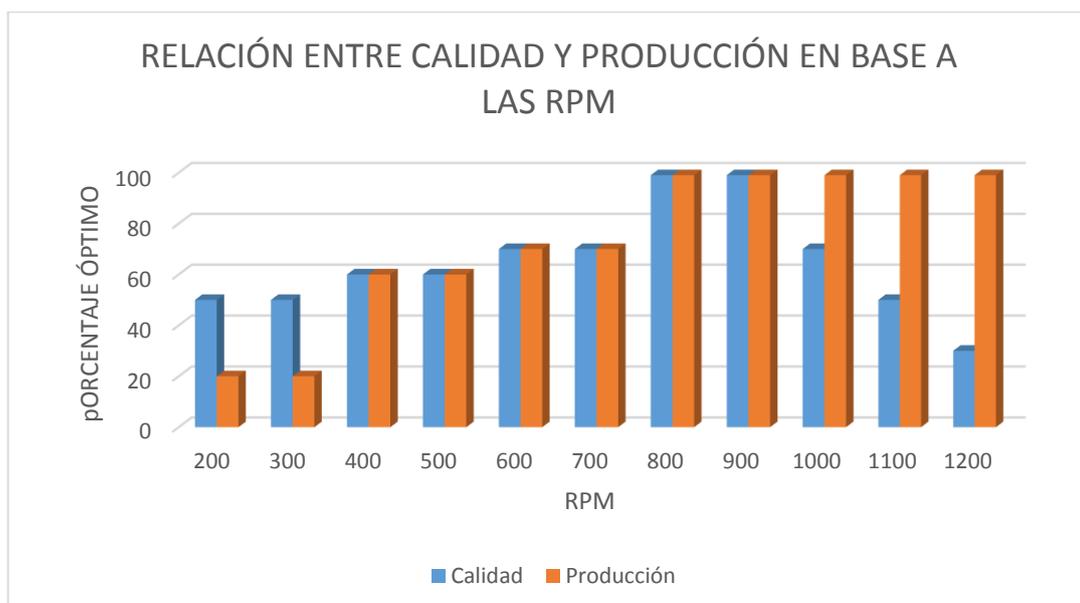


Figura 4. 1 Relación entre calidad y producción en base a las rpm

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

En la Figura 4.1 se puede apreciar que existe una mala calidad en el rango de 200 a 300 rpm a 50% del porcentaje óptimo, existe una buena calidad en el rango de 400 a 700 y a 1000 rpm a 20% del porcentaje óptimo y existe una excelente calidad en el rango de 800 a 900 rpm a porcentaje óptimo del 99%.

En cuanto a la producción se puede apreciar que existe una mala producción en el rango de 200 a 300 rpm y de 1000 a 1200 rpm a 50% del porcentaje óptimo, existe una buena producción en el rango de 300 a 700 rpm a 20% del porcentaje óptimo y existe una excelente producción en el rango de 800 a 1200 rpm a porcentaje óptimo del 99%

Por lo tanto se tiene un rango de trabajo óptimo de 800 a 900 rpm, siendo la velocidad escogida 850 rpm que se encuentra dentro del rango establecido.

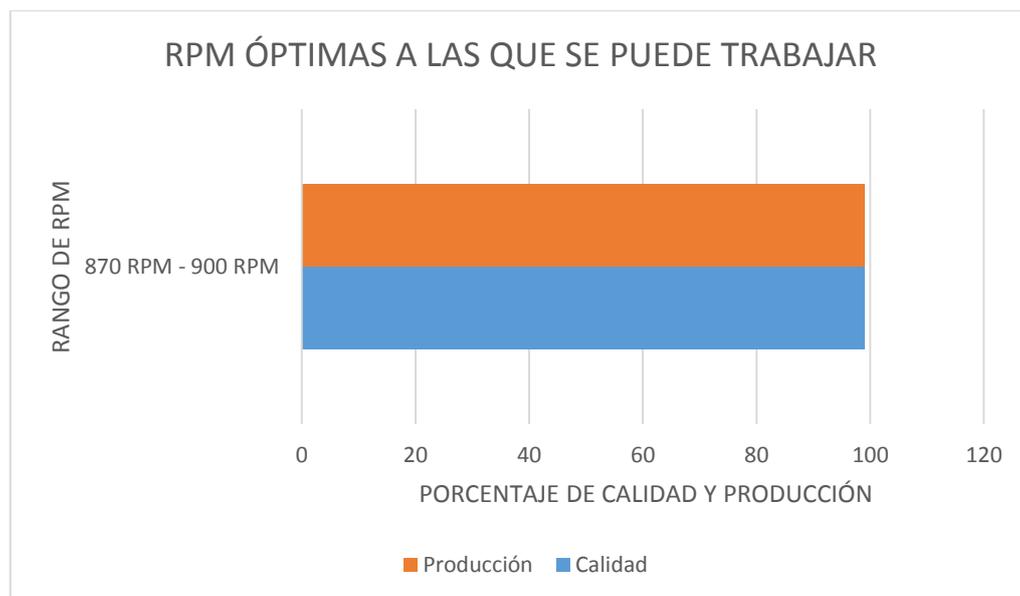


Figura 4. 2 rpm óptimas a las que se puede trabajar

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

4.6.1.1 Pruebas realizadas en base a la calidad del grano del fréjol seco

Para realizar estas pruebas se utilizaron cantidades de 9 lbs de fréjol seco, las cuales han sido ingresadas en el sistema de desvainado cada vez que se ha variado la velocidad utilizando un variador de frecuencia, de las cuales hemos obtenido los siguientes resultados sobre su calidad:

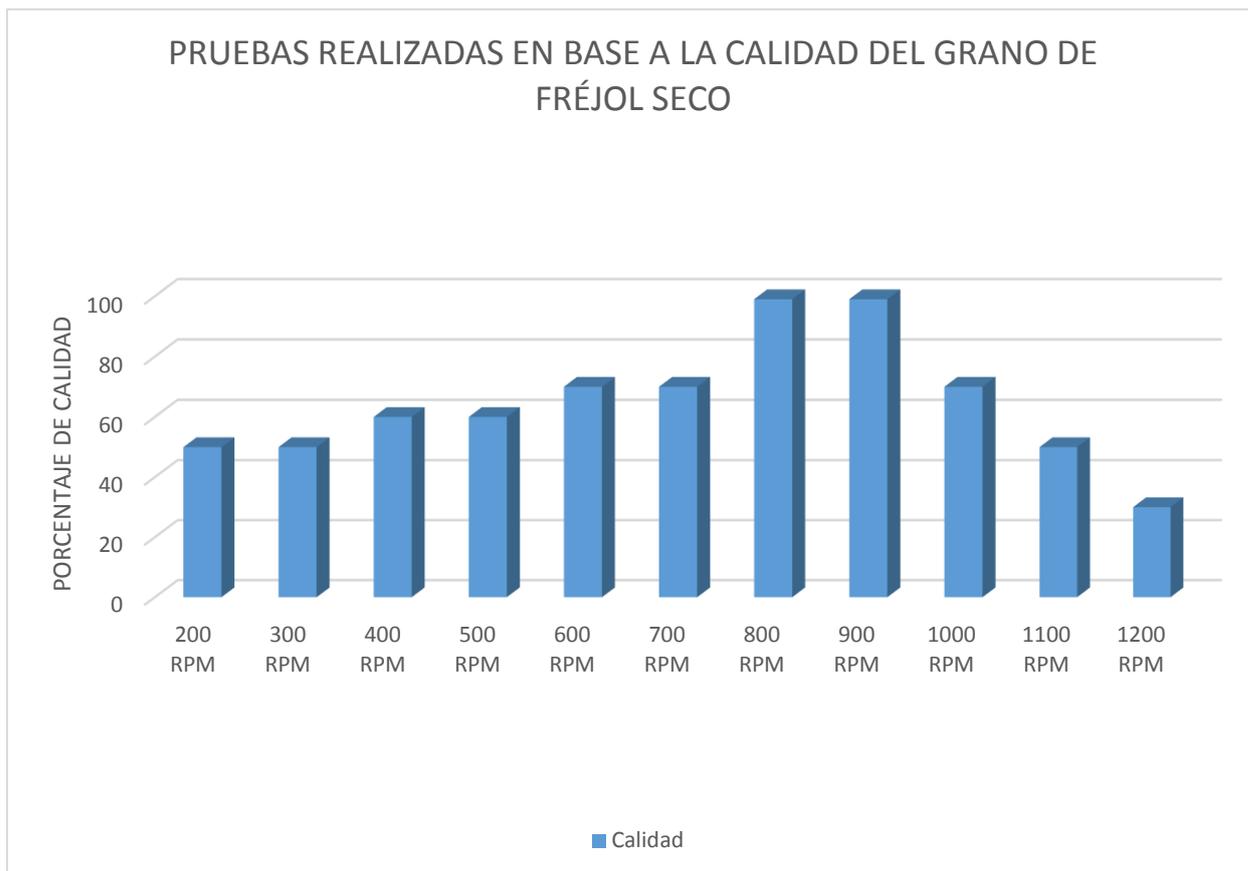


Figura 4. 3 Pruebas realizadas en base a la calidad del grano de fréjol seco

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Con los datos obtenidos en la Figura 4.3 se analiza que desde las 200 hasta 700 rpm, el grano que se obtiene está mezclado con su cáscara excesivamente, lo nos indica que hay que realizar ajustes en la velocidad.

Desde las 800 hasta las 900 rpm, el grano que se obtiene se encuentra libre de residuos de su cáscara y además no presenta partiduras o grano en mal estado.

A partir de las 1000 rpm, el grano se encuentra libre de residuos de su cáscara pero se observa que un 5% de la totalidad el grano se presenta partido, lo cual es un indicador de que la excesiva velocidad daña al grano desvainado.

4.6.1.2 Pruebas realizadas en base a la producción de la máquina desvainadora de fréjol seco

Para las pruebas de la producción de la máquina desvainadora de fréjol seco, conociendo que en el rango de 600 a 1200 rpm la máquina tiene una producción

alta, se han utilizado cantidades de 25 lbs para determinar la velocidad óptima a la cual la producción es máxima y se obtienen los siguientes resultados:

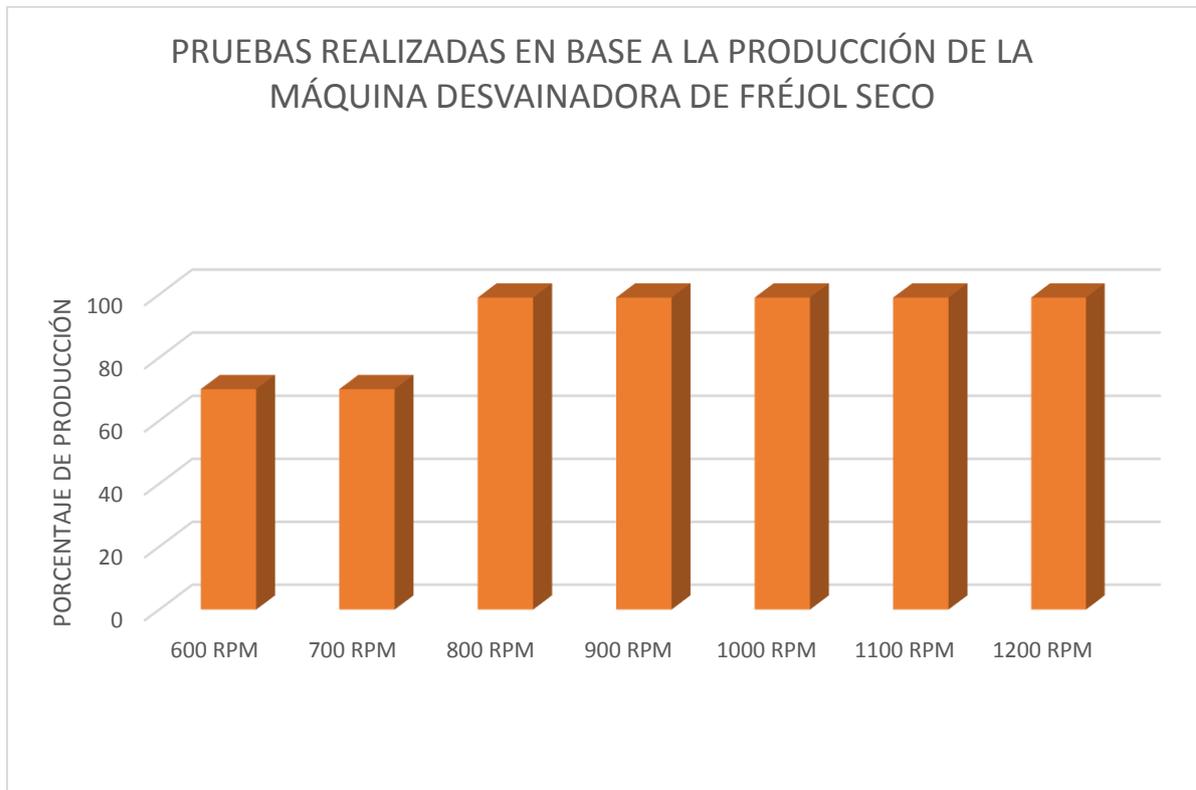


Figura 4. 4 Pruebas realizadas en base a la producción de la máquina desvainadora de fréjol seco

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Con los datos obtenidos en la Figura 4.4 se analiza que desde las 600 a las 700 rpm la producción de la máquina desvainadora de fréjol seco es buena pero desde las 800 rpm en adelante es satisfactoria, lo que significa que la mínima velocidad para obtener una producción óptima es de 800 rpm.

4.7 COMPARACIÓN DEL TIEMPO ENTRE EL PROCESO DE DESVAINADO MANUAL Y UTILIZANDO LA MÁQUINA

Realizando una comparación del tiempo que toma desvainar cierta cantidad de fréjol seco manualmente y utilizando la máquina desvainadora de fréjol seco tenemos la siguiente tabulación de los resultados:

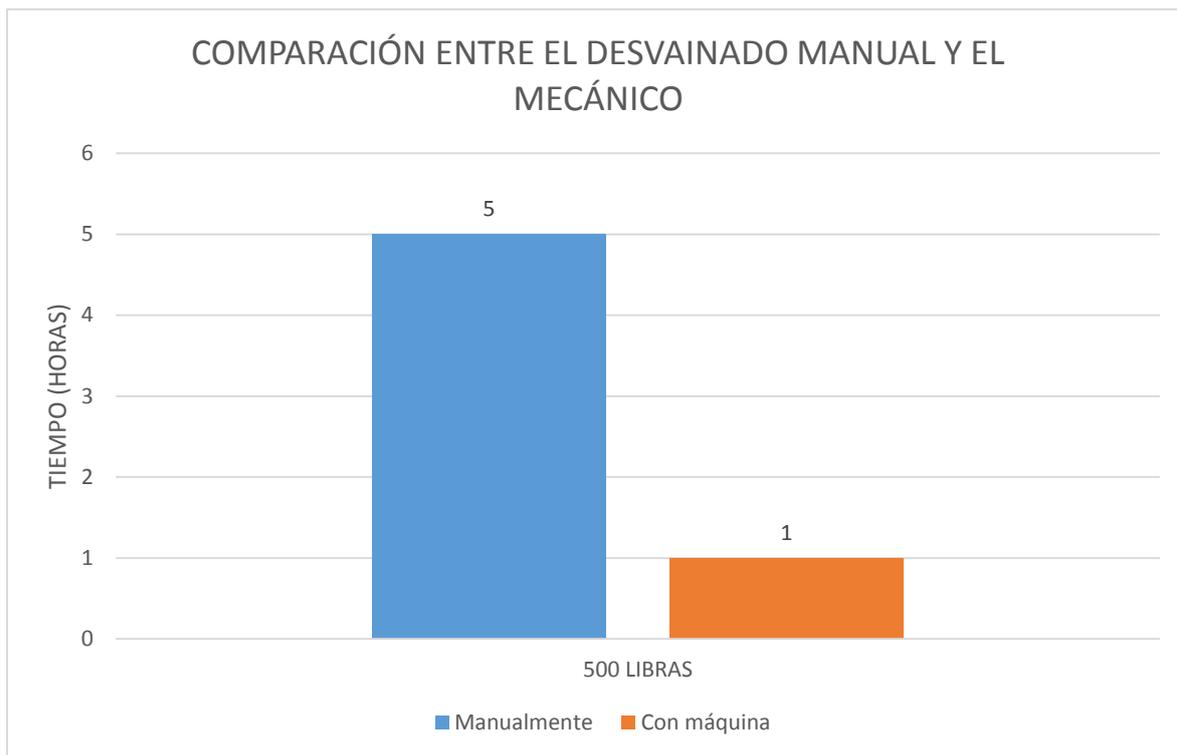


Figura 4. 5 Relación entre calidad y producción en base a las rpm

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

La Figura 4.5 nos indica la gran diferencia que existe entre en el tiempo que toma desvainar 500 lbs de fréjol manualmente y utilizando la máquina desvainadora de fréjol seco, lo cual es un indicador claro de que se ha cumplido satisfactoriamente el objetivo principal del presente proyecto.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se realizará un análisis de todo aquello que ha significado un costo monetario durante el desarrollo de esta tesis, tomando en cuenta los costos directos y los costos indirectos.

5.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son aquellos que pueden identificarse directamente con un objeto y se detallan a continuación:

Materias primas directas: son recursos materiales que se transforman en una parte o en la totalidad del producto final.

Materiales directos: son aquellos artículos que acompañan al producto final pero no constituyen parte de él, pero son comercializados de manera conjunta.

Mano de obra directa: es la fuerza de trabajo que se emplea para transformar la materia prima en el producto final.

5.1.1 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

Tabla 5. 1 Costo de la estructura de la máquina

Cantidad	Materiales	Precio unitario	Precio USD
4	Tubo estructural cuadrado negro 40 mm x 1,5 mm	14,32	57,30
2	Plancha A-36 25x25 cm 4 mm	10	20
1	Plancha A-36 25x29 cm 4 mm	12	12
1	Plancha 4x8 2 mm	42,83	42,83

4	Tubo cuadrado $\frac{3}{4}$ x 2,0	4,51	18,04
6	Tool negro 1/25 x 0,90 mm	2,15	12,90
4	Tool negro 1/25 x 1,3 mm	2,59	10,36
TOTAL COSTOS ESTRUCTURA			173,43

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5.1.2 SISTEMA DE DESVAINADO

Tabla 5. 2 Costo del sistema de desvainado

Cantidad	Materiales	Precio unitario	Precio USD
1	Eje de acero inoxidable AISI 304 105 cm	56,50	56,50
1	Plancha de acero perforada 16mm x 1mm	50	50
1	Tubo cédula 40 inoxidable de 3 pulg	68,31	68,31
3	Tol de acero inoxidable 1,5 mm	4,22	12,67
TOTAL COSTOS SISTEMA DE DESVAINADO			187,48

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5.1.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Tabla 5. 3 Costo del sistema de transmisión

Cantidad	Materiales	Precio unitario	Precio USD
2	Chumacera NTN UCF 205	7,14	14,28
2	Polea	5	10
2	Banda en V	5	10
16	Perno de acero 8x1,25 mm	0,36	5,76
16	Tuerca de acero 8x1,25 mm	0,12	1,92
16	Perno de acero 12x1,5 mm	0,56	8,96
16	Tuerca de acero 12x1,5 mm	0,13	2,08
8	Rodela plana 5/16	0,03	0,21
8	Peno de acero inoxidable 8x1,25 mm	0,45	3,60
8	Rodela de presión 8x1,25	0,10	0,80
TOTAL COSTOS SISTEMA DE TRANSMISIÓN			57,61

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5.1.4 SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL

Tabla 5. 4 Costo del sistema electrónico de control

Cantidad	Materiales	Precio unitario	Precio USD
1	Sensor de detección	50	50
1	Microcontrolador AVR	5	5
1	Relé	5,27	5,27
1	Relé térmico	10	10
1	Circuito electrónico	10	10
1	Motor 110/220 de 2HP	170	170
4	Pulsadores	5	20
3	Luz piloto	5	15
1	Contactador	30	30
	TOTAL COSTOS SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL		315,27

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5.1.5 COSTOS DE FABRICACIÓN

Tabla 5. 5 Costo de fabricación

Operación	Precio unitario	Precio USD
Mano de obra	107,10	107,10
TOTAL COSTOS DE FABRICACIÓN		107,10

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que su identificación con un objeto específico es muy difícil, o no es importante realizarla y se detallan a continuación:

Materiales indirectos: son materiales que no se pueden cuantificar en el producto elaborado, pero sin su participación no sería posible la producción del bien final.

Mano de obra indirecta: es aquella mano de obra que no interviene directamente en la producción del producto final.

Gastos indirectos: son todos aquellos costos que se generan en el área de producción, se dan por causa de las actividades productivas.

Tabla 5. 6 Costos indirectos

Cantidad	Materiales	Precio unitario	Precio USD
1	Litro desincrustante muriático	2,90	2,90
1	Brocha atlas de 2 pulg.	2,01	2,01
1	Litro antioxidante gris	5,50	5,50
1	Cepillo acaro	1,80	1,80
1	Par de guantes talla 8	1,80	1,80
2	Mascarillas	1	2
1	½ Litro diluyente laca	1	1
1	Gastos utilización maquinaria	100	100
1	Gastos pruebas de funcionamiento	100	100
1	Pintura	10	10
1	Electrodos de acero inoxidable	6,76	6,76
1	Electrodos de acero	5	5
2	Llave mixta Stanley 19 mm	4,99	9,98
1	Llave mixta Stanley 13 mm	3,12	3,12
1	Llave mixta Stanley 10 mm	2,80	2,80
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS		254,67

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

5.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

Para determinar el costo total de la máquina sumamos los costos directos más los costos indirectos calculados anteriormente y tenemos la siguiente cantidad:

Tabla 5. 7 Costo total de la máquina

TOTALES	VALOR USD
TOTAL COSTOS ESTRUCTURA	173,43
TOTAL COSTOS SISTEMA DE DESVAINADO	187,48
TOTAL COSTOS SISTEMA DE TRANSMISIÓN	57,61
TOTAL COSTOS SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL	315,27
TOTAL COSTOS DE FABRICACIÓN	107,10
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	254,67
COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA	1095,56

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

El costo total no excede la cantidad fijada en las especificaciones técnicas para el diseño de la máquina, con lo cual concluimos que se ha cumplido otro de los objetivos del presente proyecto que es el costo no mayor a 1300 dólares.

5.4 5.4 CÁLCULO DEL VAN Y DEL TIR

Para determinar en cuánto tiempo recuperaremos la inversión con la máquina desvainadora de fréjol seco, calculamos el Valor Actual Neto VAN y la Tasa Interna de Retorno TIR, con una tasa de descuento del 12%.

El movimiento de fondos se lo ha obtenido de un terreno de 2298 m² el cual en cada cosecha obtiene 500 lbs de fréjol seco, las mismas que producen una ganancia de \$260. Si asumimos que el agricultor utiliza mensualmente la máquina para desvainar esta cantidad de fréjol tenemos los siguientes resultados:

Tabla 5. 8 Cálculo del VAN y del TIR

Meses	Ingresos	Movimiento de fondos
0		- 1095,56
1	260	232,14
2	260	207,27
3	260	185,06

4	260	165,23
5	260	147,53
6	260	131,72
7	260	117,61
8	260	105
9	260	93,76
10	260	83,71
11	260	74,74
12	260	66,74
	VAN	514,97
	TIR	21%

Nota. Fuente: Autor (Luis Álvarez)

Con estos datos obtenidos en la Tabla 5.8 se concluye que debido a que el VAN es mayor que cero la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida y debido a que el TIR es mayor al costo de oportunidad se acepta el proyecto porque es rentable. Además en 5 meses se recuperará la inversión y se obtendrá una ganancia de 204,44 dólares

CONCLUSIONES

- Para realizar el presente proyecto de tesis fue fundamental el estudio de mercado, para conocer la viabilidad de la máquina desvainadora de fréjol seco en el medio agrícola local.
- Esta máquina proporciona un ahorro de tiempo, dinero y recurso humano, ya que el proceso de desvainado manual de 500 libras de fréjol seco que se demora alrededor de dos días de 8 horas laborables incluyendo el tendido del fréjol en el piso, golpear el fréjol con varas de madera o mediante el paso de vehículos para desvainarlo y finalmente el escogido del fréjol en buen estado, con la implementación de la máquina se lo realiza en 2 horas, existiendo ahorro económico en el pago de mano de obra, reduciendo notablemente el tiempo de proceso y evitando el esfuerzo físico de los agricultores.
- En base a múltiples pruebas de funcionamiento se ha concluido que la velocidad óptima para que la máquina desvainadora de fréjol seco tenga una eficiencia que cumpla los objetivos del presente proyecto es de 850 rpm; si la velocidad excede las 850 rpm la calidad del grano se deteriora por el quiebre de este y si se trabaja a una velocidad menor la producción disminuye.
- El diseño mecánico y la construcción de la máquina no presentaron complicaciones debido a que se contó con la maquinaria, los equipos, las herramientas y personal técnico que contribuyeron notablemente a la realización eficaz del sistema mecánico.
- La máquina ayuda a preservar el medio ambiente ya que la zona de salida de la cáscara está diseñada para que su almacenamiento sea fácil y así mantener en buen estado el entorno de trabajo.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable leer el manual antes de usar la máquina para tener una idea clara de cómo es el funcionamiento y cuáles son los pasos a seguir.
- Realizar el mantenimiento continuo a la máquina ya que según los estudios efectuados se ha analizado que su uso sería diario.
- Se debería fomentar la industrialización de esta máquina para que los pequeños y medianos agricultores puedan adquirirla, tecnifiquen y mejoren sus procesos agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

Mott,R.,L.,(2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (4ta. Edición). México: Prentice Hall.

Shigley, Joseph Hedward; Uicker, Jhon Joseph Jr. (1998). *Teoría de Máquinas y Mecanismos*.

México. McGraw Hill.

Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis Estructural*. México: Pearson Educación.

REFERENCIAS

Peralta, E., Barrera, V., Unda, J., Guala, M., Tacán M., & Batallas, M. A. (2001). *Estudio de la producción, poscosecha, mercadeo y consumo de fréjol arbustivo en el Valle del Chota, Ecuador*. Recuperado del sitio de internet de Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias: http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTUDIO_PRODUCCIoN_POSCOSECHA_MERCADEO_CONSUMO_FREJOL_ARBUSTIVO_VALLE_CHOTA_ECUADOR.pdf

Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual Agrícola de Fréjol y otras Leguminosas. Cultivos, variedades y costos de producción* (Publicación Miscelánea No. 135). Recuperado del sitio de internet de Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>

Aguilar, D., & Haro, D. (2010). *Diseño y construcción de una máquina desvainadora de fréjol para los pequeños agricultores de la parroquia de Ambuquí en la provincia de Imbabura*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis Estructural*. México: Pearson Educación.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Octava edición. (p. iii).

ANEXOS DE TABLAS Y FIGURAS

ANEXO 1: Propiedades de los aceros inoxidables

Designación del material			Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en pulgadas)
Número AISI	UNS	Condición	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
Aceros austeníticos							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Duro total	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Duro total	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
Aceros ferríticos							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
Aceros martensíticos							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
Aceros endurecidos por precipitación							
17-4PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380	175	1210	10
		TH 1050	175	1210	155	1070	12

ANEXO 2: Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda

TABLA 14-3 Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad

A. Series 6200

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento						Diámetro de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática C_0	Capacidad básica de carga dinámica C	
	d		D		B		r^*	Eje				Caja
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg	lb	lb	
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180
6202	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660
6204	20	0.7874	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210
6205	25	0.9843	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430
6206	30	1.1811	62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350
6207	35	1.3780	72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450
6208	40	1.5748	80	3.1496	18	0.7087	0.039	1.811	2.874	0.82	3650	5050
6209	45	1.7717	85	3.3465	19	0.7480	0.039	2.008	3.071	0.89	4150	5650
6210	50	1.9685	90	3.5433	20	0.7874	0.039	2.205	3.268	1.02	4650	6050
6211	55	2.1654	100	3.9370	21	0.8268	0.059	2.441	3.602	1.36	5850	7500
6212	60	2.3622	110	4.3307	22	0.8661	0.059	2.717	3.996	1.73	7250	9050
6213	65	2.5591	120	4.7244	23	0.9055	0.059	2.913	4.390	2.18	8000	9900
6214	70	2.7559	125	4.9213	24	0.9449	0.059	3.110	4.587	2.31	8800	10 800
6215	75	2.9528	130	5.1181	25	0.9843	0.059	3.307	4.783	2.64	9700	11 400
6216	80	3.1496	140	5.5118	26	1.0236	0.079	3.504	5.118	3.09	10 500	12 600
6217	85	3.3465	150	5.9055	28	1.1024	0.079	3.740	5.512	3.97	12 300	14 600
6218	90	3.5433	160	6.2992	30	1.1811	0.079	3.937	5.906	4.74	14 200	16 600
6219	95	3.7402	170	6.6929	32	1.2598	0.079	4.213	6.220	5.73	16 300	18 800
6220	100	3.9370	180	7.0866	34	1.3386	0.079	4.409	6.614	6.94	18 600	21 100
6221	105	4.1339	190	7.4803	36	1.4173	0.079	4.606	7.008	8.15	20 900	23 000
6222	110	4.3307	200	7.8740	38	1.4961	0.079	4.803	7.402	9.59	23 400	24 900
6224	120	4.7244	215	8.4646	40	1.5748	0.079	5.197	7.992	11.4	26 200	26 900

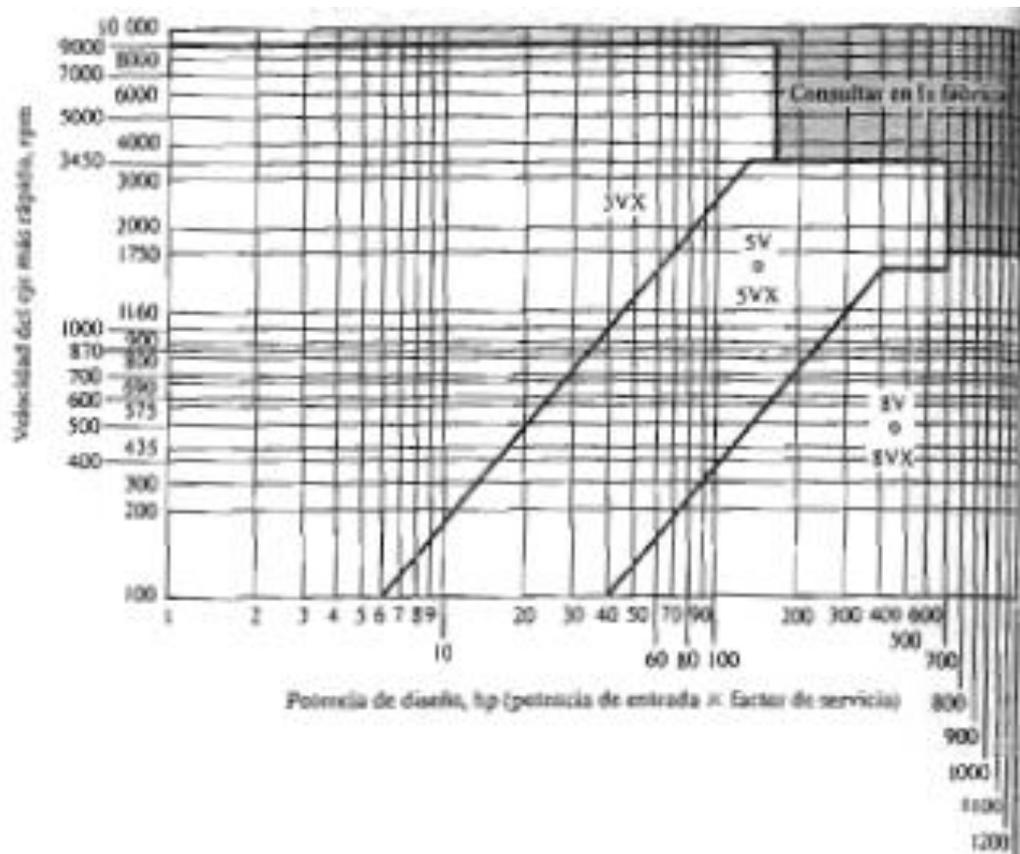


ANEXO 3: Factores de servicio para bandas V

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ² Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ¹ Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

¹Síncrona, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.
²Monofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

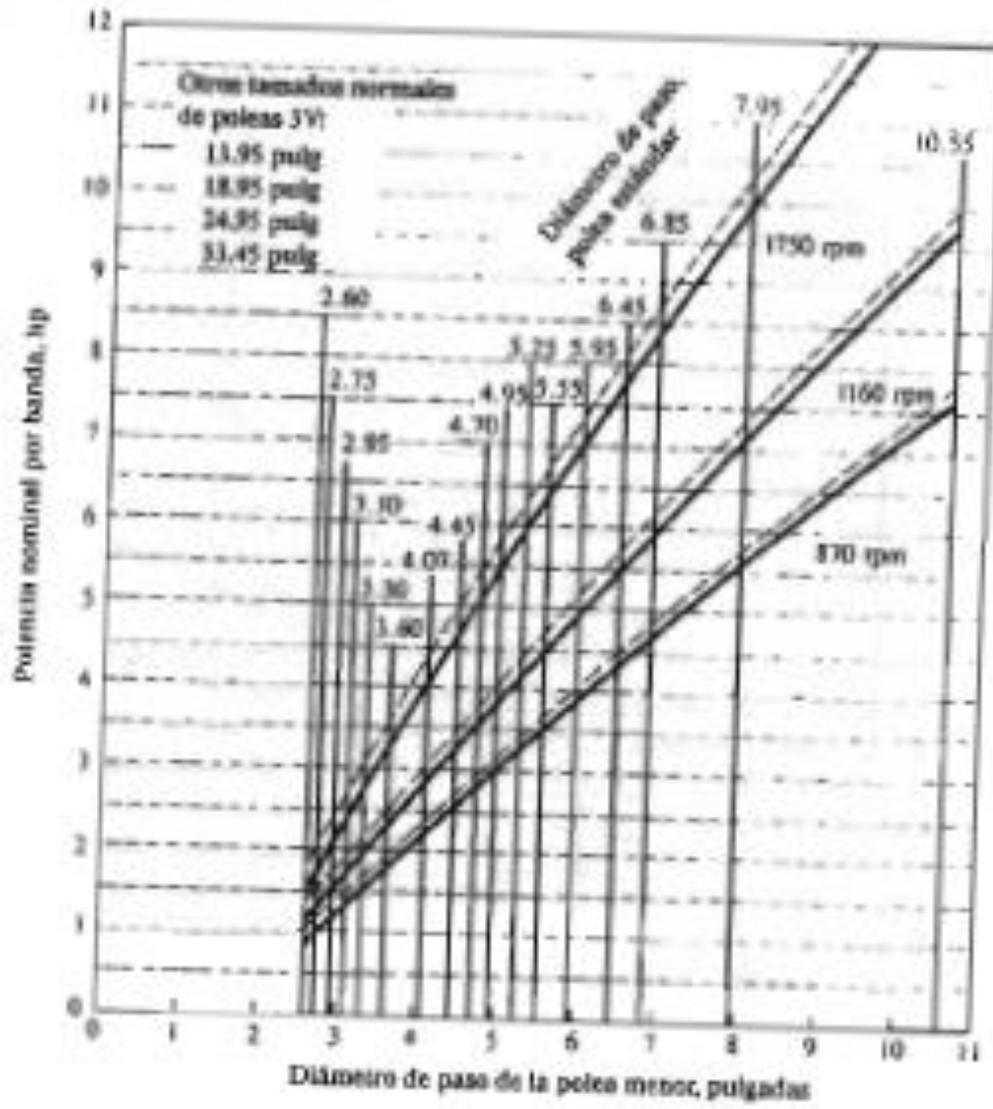
ANEXO 4: Gráfica para la selección de bandas en V industriales se sección angosta



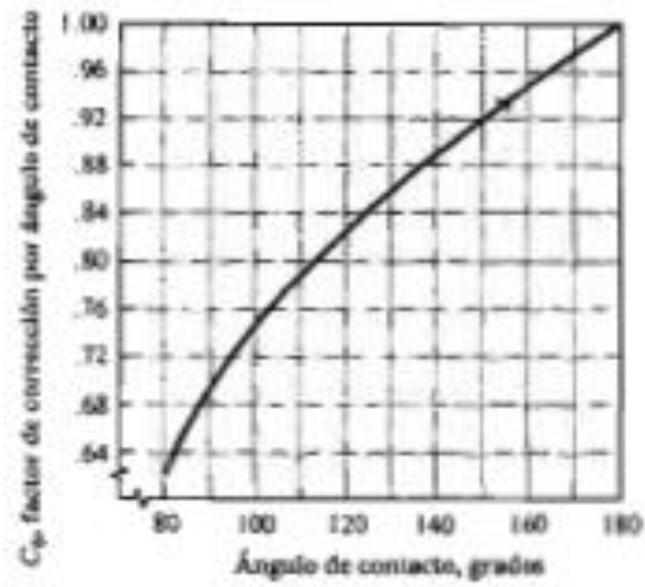
ANEXO 5: Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V (pulgadas)

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	

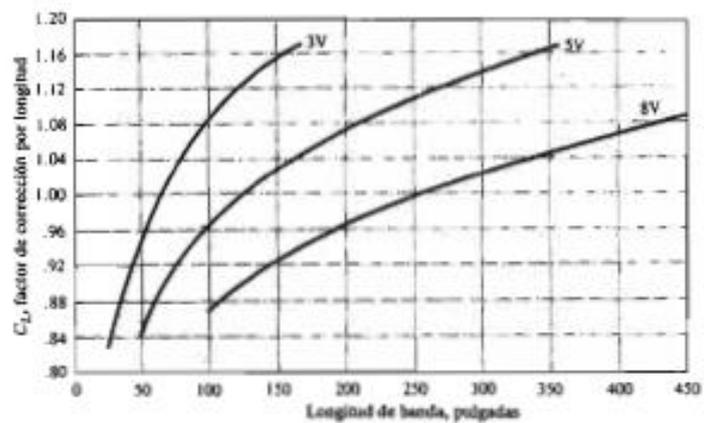
ANEXO 6: Capacidades bandas 3V



ANEXO 7: Factor de corrección por ángulo de contacto



ANEXO 8: Factor de corrección por longitud de banda

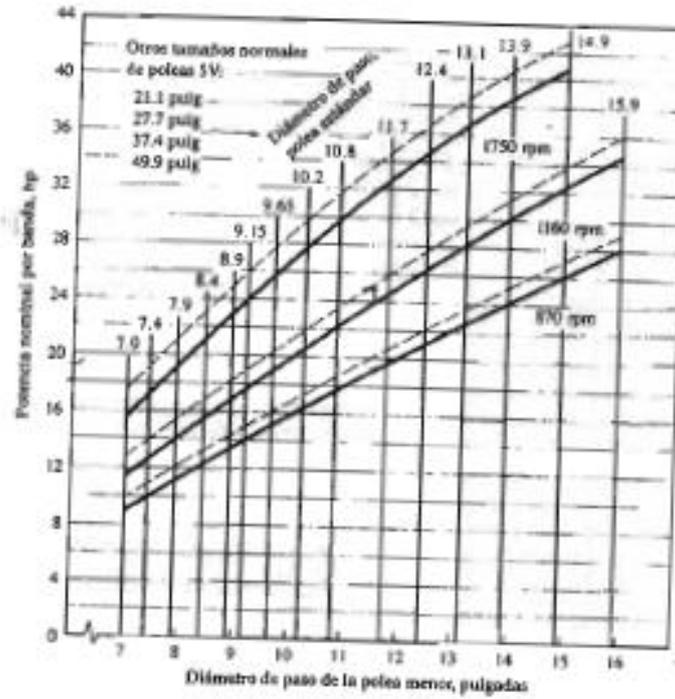


ANEXO 9: Tamaño y roscas básico preferidos de tornillos

Fracciones (pulg)				Decimales (pulg)			Métrico (mm)					
							Primero	Segundo	Primero	Segundo	Primero	Segundo
1/64	0.015 625	5	5.000	0.010	2.00	8.50	1		10		100	
1/32	0.031 25	5 $\frac{1}{2}$	5.250	0.012	2.20	9.00		1.1		11		110
1/16	0.0625	5 $\frac{3}{4}$	5.500	0.016	2.40	9.50	1.2		12		120	
3/32	0.093 75	5 $\frac{1}{2}$	5.750	0.020	2.60	10.00		1.4		14		140
1/8	0.1250	6	6.000	0.025	2.80	10.50	1.6		16		160	
5/32	0.156 25	6 $\frac{1}{4}$	6.500	0.032	3.00	11.00		1.8		18		180
3/16	0.1875	7	7.000	0.040	3.20	11.50	2		20		200	
1/4	0.2500	7 $\frac{1}{2}$	7.500	0.05	3.40	12.00		2.2		22		220
5/16	0.3125	8	8.000	0.06	3.60	12.50	2.5		25		250	
3/8	0.3750	8 $\frac{1}{2}$	8.500	0.08	3.80	13.00		2.8		28		280
7/16	0.4375	9	9.000	0.10	4.00	13.50	3		30		300	
1/2	0.5000	9 $\frac{1}{2}$	9.500	0.12	4.20	14.00		3.5		35		350
9/16	0.5625	10	10.000	0.16	4.40	14.50	4		40		400	
5/8	0.6250	10 $\frac{1}{2}$	10.500	0.20	4.60	15.00		4.5		45		450
11/16	0.6875	11	11.000	0.24	4.80	15.50	5		50		500	
3/4	0.7500	11 $\frac{1}{2}$	11.500	0.30	5.00	16.00		5.5		55		550
7/8	0.8750	12	12.000	0.40	5.20	16.50	6		60		600	
1	1.000	12 $\frac{1}{2}$	12.500	0.50	5.40	17.00		7		70		700
1 $\frac{1}{4}$	1.250	13	13.000	0.60	5.60	17.50	8		80		800	
1 $\frac{1}{2}$	1.500	13 $\frac{1}{2}$	13.500	0.80	5.80	18.00		9		90		900
1 $\frac{3}{4}$	1.750	14	14.000	1.00	6.00	18.50					1000	
2	2.000	14 $\frac{1}{2}$	14.500	1.20	6.50	19.00						
2 $\frac{1}{4}$	2.250	15	15.000	1.40	7.00	19.50						
2 $\frac{1}{2}$	2.500	15 $\frac{1}{2}$	15.500	1.60	7.50	20.00						
2 $\frac{3}{4}$	2.750	16	16.000	1.80	8.00							
3	3.000	16 $\frac{1}{2}$	16.500									
3 $\frac{1}{4}$	3.250	17	17.000									
3 $\frac{1}{2}$	3.500	17 $\frac{1}{2}$	17.500									
3 $\frac{3}{4}$	3.750	18	18.000									
4	4.000	18 $\frac{1}{2}$	18.500									
4 $\frac{1}{4}$	4.250	19	19.000									
4 $\frac{1}{2}$	4.500	19 $\frac{1}{2}$	19.500									
4 $\frac{3}{4}$	4.750	20	20.000									

Reimpreso de ASME B4.1-1967, con autorización de The American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

ANEXO 10: Capacidades bandas 5V



ANEXO 11: Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados

Designación del material (Número AISI)	Condición	σ_{44} Resistencia a la tensión		σ_y Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	123
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Laminado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Estirado en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Laminado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Estirado en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Laminado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Estirado en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Laminado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Estirado en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

ANEXO 12: Catálogo DIPAC de planchas laminadas al caliente



ID SERVICIOS

PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales

Norma	Ver tabla
Espesores	1.20mm a 100.00mm
Relios	Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm, 1800mm
Planchas	4 x 8 pies y a medida



PLANCHAS

Calidad Comercial

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS			NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,05	0,2 max	270 min	20 min	0= 0e	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,05	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,05	0,2 max				ASTM A-835 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS					NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 35	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e		

ANEXO 13: Catálogo DIPAC de planchas inoxidable

PLANCHAS



PLANCHAS INOXIDABLES

Especificaciones Generales

Norma: 304, 316, 430
Espesores: Desde 0.40mm hasta 15.00mm
Rolls: X 1220mm
Planchas: 4 x 8 pies
 Largos y calidades especiales bajo pedido

Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a AISI*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICIÓN QUÍMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenita	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,00	0,06	0,030	8,50 ~ 9,5
	18 Cr-6Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	19Cr-9Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	19Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	19Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3855	0,12 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	22Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	18,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	19Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 J1		4505	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	19Cr-12Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	16,00 ~ 18,00
	19Cr-12Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
	19Cr-8Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	19Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4650	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
Ferrita	13Cr-A1	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	19Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	19Cr	SUS 430	430	4010	0,12 max	0,75	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	19Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Martensita	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	19Cr-high C 19Cr-high C	SUS 420 J2 SUS 440 A	420 440 A	4021	0,25 ~ 0,40 0,50 ~ 0,75	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 651	651		0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

ANEXO 14: Catálogo DIPAC de tubo estructural cuadrado

CUADRADO



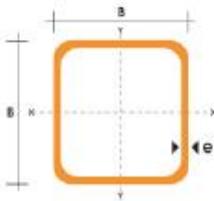
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

- Norma:** ASTM A-300
- Recubrimiento:** Negro o galvanizado
- Largo nominal:** 6,00m
- Otros largos:** Previa Consulta
- Dimensiones:** Desde 20,00mm a 100,00mm
- Espesor:** Desde 2,00mm a 3,00mm



DIMENSIONES		AREA		EJES X-X e Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,33	0,77
20	1,5	0,86	1,05	0,58	0,38	0,74
20	2,0	1,16	1,34	0,69	0,49	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,67	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,08	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,45	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	6,48	2,74	1,36
40	2,0	2,41	2,94	8,83	3,45	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,25	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,00	3,74	14,13	5,85	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,88	3,74	21,26	7,08	2,30
60	3,0	5,42	6,61	33,06	11,89	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,45	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,06	2,92
75	4,0	8,58	10,95	89,88	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,89	24,00	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



ANEXO 15: Catálogo DIPAC de ejes de acero inoxidable





EJES

EJES ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales

Material	ASi 304
Dureza HB	249-278
Límite de fluencia	225 N/mm ²
Aplicaciones	INDUSTRIAS ALIMENTICIAS, CERVECERA, AZUCARERA, ALIMENTICIA, UTENSILIOS DOMESTICOS, INDUSTRIA DEL CUERO, FARMACEUTICA, DENTAL, ETC...



DIMENSIONES

DIAMETRO	LONGITUD
3/16"	6m.
1/4"	6m.
5/16"	6m.
3/8"	6m.
1/2"	6m.
5/8"	6m.
3/4"	6m.
1"	6m.
1-1/4"	6m.
1-1/2"	6m.
2"	6m.
2-1/2"	6m.
3"	6m.
3-1/2"	6m.
4"	6m.
5"	6m.
6"	6m.

PROPIEDADES QUÍMICAS

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10,5	18 - 20

ANEXOS DE FOTOGRAFÍAS

ANEXO 16: Corte del tubo estructural cuadrado



ANEXO 17: Unión de la estructura de la máquina



ANEXO 18: Maquinado del eje de acero



ANEXO 19: Maquinado de las tapas del tubo cédula 40



ANEXO 20: Torneado de las tapas del tubo cédula 40



ANEXO 21: Rayado con molde de las paletas de impacto



ANEXO 22: Corte con plasma de las paletas de impacto



ANEXO 23: Soldado de los elementos del ventilador de centrifugado



ANEXO 24: Montaje de las chumaceras



ANEXO 25: Desarrollo de la programación

```
#include <mega8.h>
#include <delay.h>

// Declara las variables globales
bit flag_detect=0;
bit flag_timer=0;
static unsigned int contador_t=0;
// Rutina de interrupcion del por desborde del Timer 0
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    TCNT0=0x15; //Reinicia el timer
    //Se desborda cada 30 ms
    if(flag_detect==1)
    {
        contador_t=0;
        PORTB.0=1;
    }
    else
    {
        //si el contador del timer para de 20000
        //pasa de los 10 minutos sin detectar ningun
        //objeto apaga al motor
        contador_t++;
        if(contador_t>20000)
        {
            flag_detect=0;
            contador_t=0;
            PORTB.0=0;
        }
    }
}
```

```

}

void main(void)
{
    // Declara las variables locales

    PORTB.0=0; //Activa como salida
    DDRB.0=1; //Inicia apagado el pin

    PORTC=0x00;
    DDRC=0x00;

    PORTD=0x00;
    DDRD=0x00;

    // Timer/Counter 0 initialization
    // Clock source: System Clock
    // Clock value: 7,813 kHz
    TCCR0=0x05;
    TCNT0=0x15;

    // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
    TIMSK=0x01;

    #asm("sei")
    while (1)
    {
        if(PIND.0==1)
        {
            flag_detect=0;
            delay_ms(10);
            delay_ms(50);
        }
    }
}

```

```
else
{
    flag_detect=1;
    delay_ms(50);
}
}
}
```

ANEXOS DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

ANEXO 26: Manual de operación y mantenimiento

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

DE LA MÁQUINA DESVAINADORA DE FRÉJOL SECO

2014

LUIS ÁLVAREZ

Información importante de seguridad

Los accidentes que se pueden producir en la operación, el mantenimiento o la reparación de este producto, se deben a que no se leen las advertencias y las normas básicas de seguridad. Se puede evitar los accidentes si el usuario está correctamente informado sobre los riesgos que se pueden presentar al usar este producto.

No opere este producto ni realice ningún trabajo de mantenimiento o reparación hasta que haya leído y entendido toda la información aquí presente.

Los peligros se identifican con el siguiente símbolo de advertencia:



El mensaje que aparece en la parte de abajo del símbolo de advertencia, explica el peligro y está presentado en forma escrita o gráfica.

Contenido

Introducción.....

Sección de Información sobre el Producto

Información del producto.....

Sección de Seguridad

Avisos de seguridad.....

Información general sobre peligros.....

Prevención contra cortes o
punzonamientos.....

Sección de Operación

Encendido y apagado del sistema.....

Parada de emergencia del sistema.....

Apagado automático del sistema.....

Sección de Mantenimiento

Lubricación de los cojinetes.....

Signos de desgaste de los
lubricantes.....

Mantenimiento del motor.....

Limpieza del sistema de desvainado.....

Procedimiento para desarmar el sistema de
desvainado.....

Programa de mantenimiento preventivo.....

Reparación del sistema de desvainado.....

Introducción

Este manual contiene información sobre la máquina desvainadora de fréjol seco, la seguridad del usuario, la operación del sistema, el mantenimiento de las partes de la máquina y la reparación de las mismas. Este manual debe guardarse en la máquina o en un lugar cercano donde se opere la misma.

Sección de Información sobre el producto

Información del producto

El producto que usted ha adquirido es una máquina desvainadora de fréjol seco, su principal función es separar el grano del fréjol seco de la cáscara que lo contiene de manera que este grano se encuentre en condiciones apropiadas para su almacenamiento.

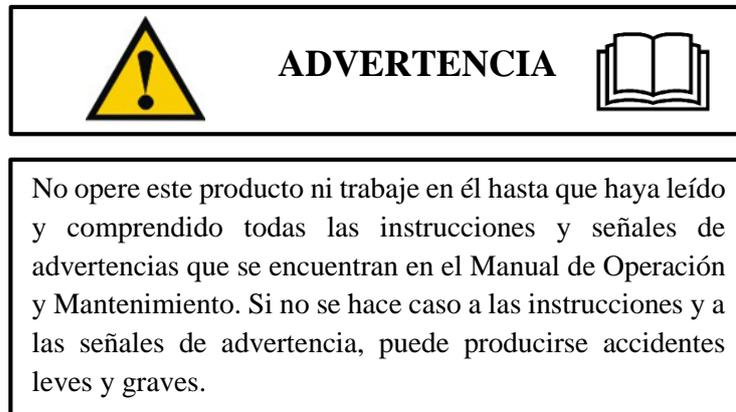
Sección de Seguridad

Avisos de seguridad

Esta sección contiene información sobre distintas señales de advertencia y su ubicación exacta en el producto. Familiarícese con todas las señales de advertencia.

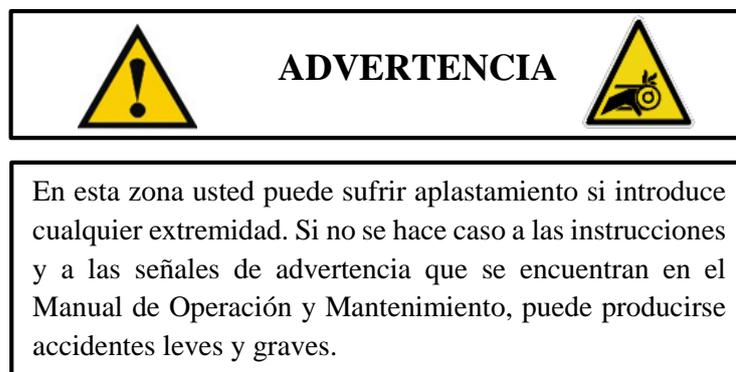
Si las señales no son visibles por suciedad, limpie el área con un trapo ligeramente húmedo con agua, no utilice excesiva agua ni disolventes ya que puede despegar el adhesivo.

Aviso de Seguridad (1)



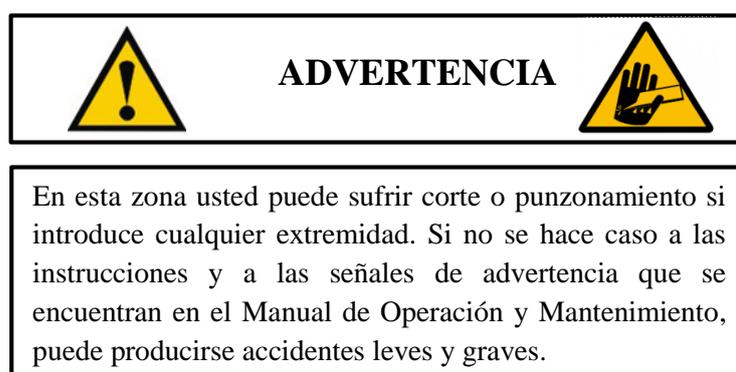
Esta etiqueta está ubicada en un costado de la máquina, lugar que es totalmente visible.

Aviso de Seguridad (2)



Esta etiqueta está ubicada en en la tapa del sistema de transmisión.

Aviso de Seguridad (3)



Esta etiqueta está ubicada en tres posiciones. Una la cavidad de entrada, otra en cubierta de la zona de desvainado y otra en la tapa lateral de la zona contenedora del motor.

Aviso de Seguridad (4)



Esta etiqueta es

Si usted toca esta zona puede sufrir quemadura. Si no se hace caso a las instrucciones y a las señales de advertencia que se encuentran en el Manual de Operación y Mantenimiento, puede producirse accidentes leves y graves.

Aviso de Seguridad (4)



Zona de salida de material orgánico. Se recomienda no contamine el ambiente.

Esta etiqueta está ubicada en la zona de salida de la vaina.

Prevención contra cortes o punzonamientos

Si en la cavidad de entrada se produce un estancamiento por el exceso de fréjol seco a ser desvainado, retire la mitad del mismo y la otra mitad empuje lentamente hacia el interior de la zona de desvainado, su mano puede llegar máximo hasta la zona señalada.

No encienda la máquina si la zona contenedora del motor y la zona de desvainado están descubiertas por sus respectivas tapas y cubiertas.

Sección de Operación

Encendido y apagado del sistema

Para encender la máquina primero se verifica que esté completamente armada y que no haya ningún objeto en la zona de desvainado.

En el panel de control si se presiona el botón verde de encendido la máquina empieza a funcionar, y si se presiona el botón rojo de apagado la máquina deja de funcionar.

Parada de emergencia del sistema

Si se suscita una emergencia por un posible accidente de quemadura, corte, punzonamiento, falla mecánica se presiona el botón de parada de emergencia, el cual se encuentra lo más cercano a la cavidad de entrada.

Apagado automático del sistema

Si la máquina se encuentra encendida pero no es usada durante al menos diez minutos, se apagará automáticamente para ahorrar energía eléctrica.

Sección de Mantenimiento

Lubricación de los cojinetes

Los cojinetes con contacto de rodadura se lubrican con grasa a temperatura ambiente 20°C y a velocidades bajas menores que 500 rpm; a temperatura y velocidades mayores se lubrica con aceite.

Los aceites que se usan para lubricar rodamiento son aceites minerales limpios y estables. Bajo cargas ligeras y velocidades bajas, se usa aceite ligero. Las cargas mayores y las velocidades altas requieren aceites más pesados. El límite superior recomendado para la temperatura del lubricante es de 70°C (Mott, R. L., 2006, p. 621).

El tiempo de vida de un rodamiento se define por las revoluciones llevadas a cabo por el mismo hasta que aparecen los primeros signos de exfoliación, es decir aparecen fisuras y desprendimientos de materia lo cual significa que el cojinete se está destruyendo y es necesario reemplazarlo.

Si se observa cualquiera de los siguientes signos de desgaste en los cojinetes, significa que se los debe reemplazar de inmediato:

Signos de desgaste de los cojinetes

Si usted divisa una de los siguientes signos en los cojinetes significa que debe ser reemplazado:

Exfoliación: marcas en los cuerpos rodantes. Desgaste natural, falta de lubricación o desalineación de los ejes.

Gripado: arranques superficiales de material, jaulas destruidas. Falta de lubricante o calentamiento excesivo.

Cráteres y estrías: arranques transversales de material.

Corrosión: oxidación localizada o generalizada. Protección deficiente. Mal ajuste entre las pistas y eje o alojamiento.

Coloración: coge color rojizo por polimerización del lubricante. Mala elección del lubricante, calentamiento excesivo.

Vibraciones: son perceptibles a mano o con instrumentos adecuados.

Ruidos: pueden ser normales o debidos al deterioro.

Elevación de temperatura: toda elevación de lo considerado normal nos creará un deterioro.

Aumento del par torsional en el motor: para realizar un movimiento siempre tenemos un par. Si el par aumenta es debido a un deterioro. Mayor gasto de energía para mover lo mismo.

Mantenimiento del motor

Léase el manual de usuario del motor.

Limpieza del sistema de desvainado

La limpieza del sistema de desvainado consiste en eliminar toda clase de residuos que ha quedado del proceso de desvainado del fréjol seco, y se lo realiza de la siguiente manera:

Retire la cubierta de la zona del sistema de desvainado para ello utilice una llave 13, coloque los pernos en un sitio apropiado donde no se los pueda extraviar.

Mediante una franela seca o húmeda limpie todo el sistema de desvainado, retirando las impurezas.

No utilice ningún tipo de aceite, desinfectante, ni gasolina en el proceso.

Programa de mantenimiento preventivo

Para los mecanismos de la máquina se conserven en buen estado, funcionen correctamente y no fallen en sus funciones, tenemos que realizar un mantenimiento preventivo siguiendo las recomendaciones de la siguiente tabla:

SISTEMA PERIODO	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral
Sistema general				
Revisión del apriete de los pernos	X			
Revisión del buen estado de la estructura	X			
Sistema de desvainado				
Revisión del buen estado de los cojinetes	X			
Revisión del apriete de los pernos de los cojinetes	X			
Lubricación de los cojinetes				X
Revisión del apriete de los pernos de la malla filtradora	X			
Revisión del buen estado del eje y sus componentes	X			
Limpieza del sistema		X		
Sistema eléctrico y de control				
Revisión del buen estado del cableado y sus conexiones				X
Revisión del motor			X	
Limpieza del sensor		X		
Sistema de transmisión				
Revisión de la tensión de las bandas y su buen estado		X		
Revisión del buen estado de las poleas			X	

Procedimiento para desarmar el sistema de desvainado

Para desarmar completamente el sistema de desvainado siga las siguientes instrucciones:

- 1.** Obtenga dos recipientes para colocar en ellos los pernos que se extraerán de todo el sistema. En un recipiente coloque los pernos de acero inoxidable (color gris) y en el otro recipiente coloque los pernos de acero (color negro).
- 2.** Utilizando la llave 13 saque los pernos de la tapa lateral de la zona contenedora del motor. Retire dicha tapa y colóquela en un lugar donde no pueda sufrir daños por accidentes. Coloque los pernos de en el recipiente para pernos de acero.
- 3.** Utilizando la llave 10 saque los pernos de la plancha de acero inoxidable de la zona de salida del grano de fréjol seco. Retire dicha plancha y colóquela en un lugar donde no pueda sufrir daños por accidentes. Coloque los pernos de en el recipiente para pernos de acero inoxidable.
- 4.** Utilizando la llave 13 saque los pernos de la tapa lateral de la cubierta de la zona de desvainado. Retire dicha tapa y colóquela en un lugar donde no pueda sufrir daños por accidentes. Coloque los pernos de en el recipiente para pernos de acero.
- 5.** Utilizando la llave 10 saque los pernos de la malla filtradora. Retire dicha malla y colóquela en un lugar donde no pueda sufrir daños por accidentes. Coloque los pernos de en el recipiente para pernos de acero inoxidable.
- 6.** Utilizando sus dos manos retire la parte restante de la malla filtradora. Colóquela en un lugar donde no pueda sufrir daños por accidentes.
- 7.** Utilizando la llave 13 saque los pernos de la cubierta del ventilador. Déjela suelta. Coloque los pernos de en el recipiente para pernos de acero inoxidable.
- 8.** Utilizando la llave 19 saque los pernos de la tapa desarmable de la chumacera y colóquela en un lugar donde no pueda sufrir daños por accidentes. Coloque los pernos de en el recipiente para pernos de acero.

9. Con la ayuda de otra persona, desplacen el eje horizontalmente de izquierda a derecha lenta y cuidadosamente y colóquelo en la base de la zona contenedora del motor.

10. Coloque al eje en posición vertical y retire la cubierta del ventilador desplazándola a lo largo del eje.

Para armar la zona de desvainado siga los pasos del 10 al 1.

Reparación del sistema de desvainado

Si se suscitaran fallas en el sistema mecánico o eléctrico, usted puede dirigirse a un centro de mecánica industrial en donde un técnico lo ayudará a resolver el problema.

ANEXO PLANOS MECANICOS Y ELECTRICOS