



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño e implementación de un molino de alfalfa deshidratada dirigido a la fundación
“AYLLU APU FAA” del sector occidental del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi –
Ecuador.**

Mosquera Enriquez, Ángel Israel y Ruales Valverde, Alexis Mauricio

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Santillán Mariño, Ernesto Ramiro

25 de agosto del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Plagiarism and AI Content Detection Report

Mosquera_Ruales_Tesis_Molino de alf...

Scan details

Scan time: August 24th, 2023 at 12:36 UTC
 Total Pages: 184
 Total Words: 45774

Plagiarism Detection

Types of plagiarism	Words
Identical	1% 470
Minor Changes	1% 462
Paraphrased	3% 1367
Omitted Words	0% 0

AI Content Detection

Text coverage	Words
AI text	4.7% 490
Human text	95.3% 9861

Plagiarism Results: (79)

<p>TL_DelgadoDelgadojim.pdf 0.3%</p> <p>https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3223/1/ri</p> <p>Equipo UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA REDISEÑO...</p>
<p>Molino De Martillos - Mezcladoras Y Molinos MAQUI... 0.3%</p> <p>https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/los-productos/molinos/</p> <p>Inicio Empresa Misión Visión Valores Productos Molinos Pulverizador Coloid...</p>
<p>Lo que debes conocer sobre los tipos de pernos nor... 0.3%</p> <p>https://empresa.pumatec.com/lo-que-debes-conocer-sobre-los-</p> <p>Inicio Sobre nosotros Nuestra empresa Líneas de producto Servicios Casos de éxito Dónde estamos Puntos de venta At...</p>

Ing. Santillán Mariño, Ernesto Ramiro

C.C.: 0601855356

ID: L00023476



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un molino de alfalfa deshidratada dirigido a la fundación “AYLLU APU FAA” del sector occidental del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador”** fue realizado por los señores **Mosquera Enriquez, Ángel Israel y Ruales Valverde, Alexis Mauricio**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

Ing. Santillán Mariño, Ernesto Ramiro

C.C.: 0601855356



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Mosquera Enriquez, Ángel Israel** y **Ruales Valverde, Alexis Mauricio**, con cédulas de ciudadanía 0503979957 y 1750073445, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un molino de alfalfa deshidratada dirigido a la fundación “AYLLU APU FAA” del sector occidental del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

.....
Mosquera Enriquez, Ángel Israel

C.C.: 0503979957

.....
Ruales Valverde, Alexis Mauricio

C.C.:1750073445



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Autorización de publicación

Nosotros, **Mosquera Enriquez, Ángel Israel** y **Ruales Valverde, Alexis Mauricio**, con cédulas de ciudadanía 0503979957 y 1750073445, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un molino de alfalfa deshidratada dirigido a la fundación “AYLLU APU FAA” del sector occidental del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

.....
Mosquera Enriquez, Ángel Israel

C.C.: 0503979957

.....
Ruales Valverde, Alexis Mauricio

C.C.:1750073445

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación:

A mis padres que han sido pilar fundamental para llevar a cabo mis estudios universitarios, ellos me han sabido guiar por el camino correcto y me enseñaron a ir siempre para adelante y nunca rendirme.

A esa persona especial que pese a la distancia siempre me acompañó en todo momento.

A mis tíos que siempre estuvieron ahí apoyándome en todo aspecto.

A los amigos más cercanos que me han acompañado en el transcurso de esta vida universitaria, con los que batallamos día y noche para conseguir el sueño de ser Ingeniero Electromecánico.

Alexis R.

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mi familia y a las personas que me apoyaron, especialmente a mi madre por ser el pilar fundamental en mi formación tanto personal como profesional.

También a las personas que ya no se encuentran presentes, pero siempre estarán en mis recuerdos.

Y por último a mí, como recordatorio de que todo es posible con esfuerzo.

Ángel M.

Agradecimiento

Agradezco a Dios que siempre me brindó salud, fuerza y sabiduría para lograr concretar mis estudios universitarios.

A mis padres que me dieron la confianza y valentía de enviarme a estudiar a otra provincia.

A mi familia universitaria que siempre estuvo presente arrimando el hombro en los trabajos académicos necesarios para aprobar y avanzar todos los niveles.

A los docentes universitarios, los cuales nos llenaron de una infinidad de conocimientos.

Alexis R.

Mi principal agradecimiento es a mi madre por ser la persona que más creyó en mí, apoyándome durante mi tiempo de formación profesional de manera incondicional, enseñándome que no hay que rendirse demostrándomelo día a día, a mi abuela materna por encaminarme en mi formación profesional, también a los familiares que me han brindado su apoyo para que esto sea posible con los cuales estoy muy agradecido, a los amigos y colegas con los cuales compartimos el camino de la vida universitaria con altas y bajas.

Ángel M.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido.....	8
Índice de figuras.....	18
Índice de tablas.....	26
Resumen.....	29
Abstarct.....	30
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación.....	31
Planteamiento del problema.....	31
Antecedentes.....	32
Justificación e importancia.....	33
Objetivos.....	34
<i>Objetivo General</i>	34
<i>Objetivos específicos</i>	34
Capítulo II: Marco Teórico.....	35
Acerca de la Fundación “AYLLU APU FAA”.....	35
Situación agropecuaria en Salcedo.....	35
Cultivos de alfalfa.....	36
Características morfológicas de la Alfalfa.....	37

Características climatológicas en la floración de la alfalfa	37
Alfalfa deshidratada	38
Características fisicoquímicas de la Alfalfa	39
Formas de conservación de la Alfalfa.....	40
<i>Alfalfa en Heno</i>	40
<i>Alfalfa troceada</i>	41
<i>Alfalfa en Pellets</i>	42
Cultivos de maíz	42
Características de floración de la planta de maíz	43
Alimentación de maíz molido para las especies	44
Maíz triturado.....	45
Diseño para la calidad QFD	45
<i>Las cuatro fases de la calidad</i>	45
<i>La casa de la calidad</i>	46
<i>Ingeniería concurrente</i>	47
Teorías de fallas	47
Proceso de industrialización del troceado de alfalfa.....	47
<i>Proceso de molienda</i>	48
<i>Molienda de la alfalfa deshidratada y granos de maíz</i>	49
Tipos de molinos, características y funcionamiento.	50
<i>Molinos de plato o disco</i>	50
<i>Molinos de rodillos</i>	51
<i>Molinos de martillo</i>	52
Tipo de molino adecuado para la molienda de alfalfa deshidratada	52
Definición de molinos de martillos.....	54

Características técnicas de un molino de martillos.....	55
Componentes mecánicos/eléctricos en un molino de martillos	56
Sistema de transmisión	57
Tipos de sistema de transmisión	58
Poleas.....	59
Elementos de sujeción.....	60
<i>Remaches</i>	60
<i>Pernos</i>	61
<i>Arandelas</i>	64
Chumaceras.....	65
Sistema de cernido.....	66
Cribas	67
Tipos de cribas	67
<i>Criba cuadrada</i>	67
<i>Criba perforada</i>	68
Elementos eléctricos.....	68
Elementos de protección eléctrica.....	68
<i>Relé térmico</i>	69
<i>Guardamotor</i>	69
<i>Interruptor termomagnético</i>	70
Elementos de maniobra y control	71
<i>Pulsadores</i>	71
<i>Contactores</i>	71
<i>Interruptor selector</i>	72
<i>Paro de emergencia</i>	72

Elementos de fuerza.....	73
<i>Motor eléctrico</i>	73
Elementos de señalización	74
Capítulo III: Diseño y construcción de un molino de alfalfa deshidratada	75
Análisis del entorno de producción	75
Determinación del número de muestra.....	75
Datos recopilados de la encuesta	78
Análisis de factibilidad de implementación.....	81
<i>Recursos económicos</i>	81
<i>Cosecha y sembríos de alfalfa</i>	82
<i>Mercado</i>	82
<i>Empleo</i>	84
Despliegue de la función de la calidad	84
La casa de la calidad.....	84
Voz del usuario.....	86
Voz del ingeniero.....	90
Análisis de competitividad	91
Elaboración de la casa de la calidad.....	93
Resumen de la casa de la calidad	94
Especificaciones técnicas (Cuadro, C, I, D, R).....	96
Estructura funcional.....	99
Matriz morfológica.....	102
Planteamiento de alternativas de solución.....	104
<i>Alternativa 1</i>	104
<i>Alternativa 2</i>	104

<i>Alternativa 3</i>	105
Selección de la alternativa adecuada	105
Consideraciones generales de diseño	112
Selección del motor	112
Selección de materiales	113
Sistema de transmisión	113
Factor de seguridad	114
Limitaciones	114
Determinación de la capacidad de molienda de la alfalfa	114
Determinación de la capacidad de molienda del maíz	120
Diseño mecánico del molino de martillos	122
Cálculo del número de martillos	122
Grado de pulverización	122
Distribución de los martillos en los ejes secundarios	124
Distribución de eje primario y ejes secundario en los discos	124
Distribución de separadores en los ejes secundarios	125
Distribución del conjunto triturador (ejes, martillos, discos y separadores)	126
Diseño de los martillos	127
<i>Selección del martillo a utilizar</i>	128
<i>Posiciones de los martillos</i>	129
<i>Energía de ruptura de la alfalfa deshidratada</i>	130
<i>Ensayo de Charpy</i>	130
<i>Cálculo del Radio de giro del martillo</i>	132
<i>Cálculo de la velocidad tangencial del martillo</i>	133
<i>Velocidad del eje con carga</i>	134

<i>Cálculo de la aceleración angular</i>	134
<i>Determinación de la fuerza de corte de la alfalfa</i>	135
<i>Cálculo del momento de inercia de un martillo</i>	138
<i>Cálculo de la masa de los martillos</i>	138
<i>Diseño de la geometría del martillo</i>	138
<i>Análisis de fuerzas presentes en el martillo</i>	141
<i>Fuerzas que actúan sobre el martillo</i>	142
<i>Análisis de elementos finitos del martillo</i>	145
Dimensiones del conjunto triturador	147
Diseño del eje secundario	150
<i>DCL del martillo (caso 1)</i>	152
<i>DCL del martillo (caso 2)</i>	153
<i>DCL del martillo (caso 3)</i>	154
<i>Análisis de elementos finitos del eje secundario</i>	159
Diseño de los discos.....	162
<i>Reacciones en los discos</i>	162
<i>Dimensiones del disco</i>	164
<i>Cálculo del espesor del disco</i>	165
<i>Análisis de elementos finitos en el disco</i>	167
<i>Material del disco</i>	169
<i>Masa y peso del disco</i>	170
Cálculo de potencia del motor eléctrico	171
Cálculo y selección de poleas - bandas de transmisión	173
<i>Selección del factor de servicio</i>	173
<i>Cálculo de la potencia de diseño</i>	173

<i>Selección de perfil de la correa</i>	174
<i>Selección del diámetro de las poleas</i>	174
<i>Cálculo de la velocidad de la banda</i>	176
<i>Cálculo de la longitud de la correa y distancia entre centros</i>	177
<i>Cálculo de ciclos de flexión por segundo</i>	179
<i>Cálculo del ángulo de contacto</i>	180
<i>Cálculo de la potencia nominal transmisible por banda</i>	180
<i>Cálculo de la cantidad de correas</i>	182
<i>Determinación de la fuerza de reacción de las poleas</i>	184
Diseño estático del eje principal	186
<i>Fuerzas presentes en el eje principal</i>	186
<i>Fuerzas resultantes en el plano XY</i>	187
<i>Fuerzas resultantes en el plano ZX</i>	189
Diseño dinámico del eje principal (fatiga)	191
<i>Análisis de elementos finitos en el eje principal</i>	199
Diseño de cuñas.....	201
Selección de rodamientos	203
Selección de chumaceras.....	207
Diseño de los separadores	208
Diseño de la estructura del molino de martillos.....	209
<i>Diseño de la cámara y tapa de molienda</i>	210
<i>Análisis de elementos finitos de la cámara de molienda</i>	214
<i>Diseño de la tolva de ingreso de material</i>	216
<i>Análisis de elementos finitos de la tolva de entrada</i>	219
<i>Diseño de la tolva de salida del material</i>	221

<i>Análisis de elementos finitos de la tolva de entrada</i>	223
<i>Diseño de la estructura de soporte</i>	225
<i>Análisis de elementos finitos de la estructura</i>	228
Diseño del sistema de cribado	231
Ensamblaje y juntas de elementos del conjunto triturador	232
<i>Unión Martillos – separadores – Eje secundario</i>	234
<i>Unión Discos – Eje secundario</i>	234
<i>Unión Discos – Eje principal</i>	234
Simulación del ensamblaje total de la máquina	235
Análisis de vibraciones para la estructura	235
Diseño del sistema eléctrico	238
<i>Parámetros eléctricos del sector</i>	238
<i>Parámetros eléctricos del motor seleccionado</i>	239
<i>Selección del interruptor termomagnético</i>	240
<i>Selección del contactor</i>	242
<i>Selección del relé térmico</i>	243
<i>Selección del conductor eléctrico</i>	244
<i>Selección de pulsadores</i>	245
<i>Selección de luces piloto</i>	246
<i>Selección del paro de emergencia</i>	247
<i>Diseño del circuito eléctrico para el molino de martillos</i>	248
<i>Diseño del tablero de control</i>	250
Implementación del molino de martillos.....	250
<i>Cursograma sinóptico de la construcción</i>	254
<i>Construcción de la cámara de molienda</i>	255

<i>Construcción de la tapa de la cámara de molienda.....</i>	<i>256</i>
<i>Construcción de la tolva de entrada.....</i>	<i>257</i>
<i>Construcción de la tolva de salida</i>	<i>258</i>
<i>Construcción de los martillos.....</i>	<i>259</i>
<i>Construcción de los discos</i>	<i>259</i>
<i>Construcción de los separadores.....</i>	<i>260</i>
<i>Construcción de la estructura soporte</i>	<i>261</i>
<i>Construcción de la estructura base</i>	<i>261</i>
<i>Construcción del eje principal</i>	<i>262</i>
<i>Construcción del eje secundario.....</i>	<i>263</i>
<i>Construcción de la criba</i>	<i>263</i>
<i>Construcción de tubo porta eje primario</i>	<i>264</i>
<i>Construcción de la tapa protectora del sistema de transmisión.....</i>	<i>265</i>
<i>Cursograma de montaje de las piezas y elementos</i>	<i>265</i>
Capítulo IV: Resultados de la investigación	273
Validación del molino de alfalfa deshidratada	273
Protocolo de pruebas.....	277
Análisis de costos	279
<i>Costos materiales y componentes mecánicos</i>	<i>279</i>
<i>Costos de maquinaria y herramientas</i>	<i>282</i>
Manual del molino de alfalfa deshidratada	285
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	286
Conclusiones.....	286
Recomendaciones.....	288
Bibliografía	289

Anexos.....297

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Población total ubicada por cada actividad económica 2010.</i>	36
Figura 2	<i>Cultivos de alfalfa (Medicago Sativa).</i>	37
Figura 3	<i>Alfalfa deshidratada.</i>	39
Figura 4	<i>Alfalfa henificada.</i>	41
Figura 5	<i>Alfalfa troceada.</i>	41
Figura 6	<i>Pellets hechos de alfalfa.</i>	42
Figura 7	<i>Cultivos de la planta de maíz.</i>	43
Figura 8	<i>Floración de la planta de maíz.</i>	43
Figura 9	<i>Animales consumidores del grano de maíz.</i>	44
Figura 10	<i>Tamaños de grano más comunes del grano de maíz.</i>	45
Figura 11	<i>Esquema de las fases de la calidad.</i>	46
Figura 12	<i>Casa de la calidad.</i>	46
Figura 13	<i>Flujograma del proceso de industrialización de la alfalfa deshidratada.</i>	48
Figura 14	<i>Escalones de fragmentación.</i>	49
Figura 15	<i>Máquina moledora de alfalfa.</i>	50
Figura 16	<i>Molino de plato o discos.</i>	51
Figura 17	<i>Molino de rodillos.</i>	51
Figura 18	<i>Molino de martillos.</i>	52
Figura 19	<i>Sistema de martillos.</i>	54
Figura 20	<i>Criba cuadrada.</i>	67
Figura 21	<i>Cribas con perforación circular.</i>	68
Figura 22	<i>Partes de un relé térmico marca Siemens.</i>	69
Figura 23	<i>Partes de un guardamotor y simbología.</i>	70
Figura 24	<i>Interruptor termomagnético marca Schneider.</i>	70

Figura 25	<i>Pulsadores utilizados en tableros de control.....</i>	71
Figura 26	<i>Contactador con cuatro contactos y su simbología.....</i>	72
Figura 27	<i>Interruptor / Selector Eléctrico</i>	72
Figura 28	<i>Paro de emergencia con liberación de giro marca Schneider.....</i>	73
Figura 29	<i>Motor monofásico marca WEG de 3600 RPM.....</i>	74
Figura 30	<i>Elementos de señalización.....</i>	74
Figura 31	<i>Ubicación geográfica de la comunidad “Unión y Trabajo”</i>	76
Figura 32	<i>Características geográficas de la parroquia de Mulalillo.....</i>	77
Figura 33	<i>Aplicación de las encuestas en la comunidad “Unión y Trabajo”</i>	78
Figura 34	<i>Principales formas de distribuir la alfalfa</i>	83
Figura 35	<i>Cantidad de terreno en m² de siembre de alfalfa.....</i>	86
Figura 36	<i>Cantidad de alimento diario utilizado en la alimentación ganadera.....</i>	87
Figura 37	<i>Frecuencia de actividad de cosecha de alfalfa</i>	88
Figura 38	<i>Porcentaje de alfalfa destinado para molienda</i>	89
Figura 39	<i>Características del molino de alfalfa.....</i>	90
Figura 40	<i>Casa de la calidad del molino de alfalfa deshidratada</i>	93
Figura 41	<i>Análisis funcional del molino de martillos</i>	100
Figura 42	<i>Diagrama de subfunciones del molino de martillos.....</i>	101
Figura 43	<i>Grosos de los productos a triturar</i>	123
Figura 44	<i>Distribución de los 24 martillos en el conjunto triturador.....</i>	124
Figura 45	<i>Distribución de los ejes en el disco.....</i>	125
Figura 46	<i>Distribución de los separadores en el eje secundario.....</i>	126
Figura 47	<i>Esquema del conjunto triturador.....</i>	127
Figura 48	<i>Vista isométrica del conjunto triturador.....</i>	127
Figura 49	<i>Tipos de martillos</i>	128

Figura 50 <i>Martillo simple</i>	129
Figura 51 <i>Posiciones de los martillos</i>	130
Figura 52 <i>Ensayo de impacto para material de alfalfa</i>	131
Figura 53 <i>Muestra de alfalfa y cuerpo de impacto</i>	131
Figura 54 <i>Radio de giro del martillo</i>	133
Figura 55 <i>Ensayo de fuerza de corte de la alfalfa</i>	136
Figura 56 <i>Radio de giro alcanzado por la longitud de los martillos</i>	137
Figura 57 <i>Dimensiones del martillo de triturar</i>	140
Figura 58 <i>Fuerzas que actúan en el martillo de trituración</i>	142
Figura 59 <i>Condiciones de frontera para análisis computacional del martillo</i>	145
Figura 60 <i>Análisis estático de tensión Von Mises</i>	146
Figura 61 <i>Análisis estático de desplazamiento</i>	146
Figura 62 <i>Análisis estático del factor de seguridad</i>	147
Figura 63 <i>Dimensiones del conjunto triturador</i>	148
Figura 64 <i>Fuerzas resultantes que aparecen en el eje secundario</i>	151
Figura 65 <i>Fuerzas que actúan en el martillo</i>	152
Figura 66 <i>Fuerzas presentes del martillo del caso 1</i>	152
Figura 67 <i>Fuerzas presentes del martillo del caso 2</i>	153
Figura 68 <i>Fuerzas presentes del martillo del caso 3</i>	154
Figura 69 <i>Fuerzas presentes en el eje secundario</i>	155
Figura 70 <i>Diagrama de fuerzas presentes en el eje secundario</i>	156
Figura 71 <i>Diagrama de fuerzas cortantes y momento máximo eje secundario</i>	156
Figura 72 <i>Diagrama Circulo de Mohr eje secundario</i>	158
Figura 73 <i>Condiciones utilizadas para simulación del eje secundario</i>	159
Figura 74 <i>Análisis estático de tensión Von Mises</i>	160

Figura 75 <i>Análisis estático de desplazamiento</i>	160
Figura 76 <i>Análisis estático del factor de seguridad</i>	161
Figura 77 <i>Reacciones en los discos</i>	162
Figura 78 <i>Reacciones en los discos</i>	163
Figura 79 <i>Reacciones obtenidas en cada disco</i>	163
Figura 80 <i>Dimensiones del disco</i>	164
Figura 81 <i>Reacción crítica y área de falla del disco</i>	165
Figura 82 <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i>	166
Figura 83 <i>Condiciones de frontera para análisis computacional en el disco</i>	167
Figura 84 <i>Análisis estático de tensión Von Mises</i>	168
Figura 85 <i>Análisis estático de desplazamiento</i>	168
Figura 86 <i>Análisis estático del factor de seguridad</i>	169
Figura 87 <i>Dimensiones de planchas de acero ASTM A36</i>	170
Figura 88 <i>Selección de tipo de correa</i>	174
Figura 89 <i>Diámetro mínimo para cada perfil de banda</i>	176
Figura 90 <i>Longitudes de banda comerciales</i>	178
Figura 91 <i>Banda adquirida para el sistema de transmisión</i>	178
Figura 92 <i>Distancia entre centros</i>	179
Figura 93 <i>Valores de coeficientes para cada tipo de correa</i>	181
Figura 94 <i>Longitud de base estándar para cada tipo de correa</i>	183
Figura 95 <i>Poleas para el sistema de transmisión</i>	183
Figura 96 <i>Fuerzas de reacción presentes en el sistema de transmisión</i>	184
Figura 97 <i>Descomposición de la fuerza flexionante</i>	185
Figura 98 <i>Fuerzas y reacciones del eje principal</i>	187
Figura 99 <i>Diagramas del eje principal en el plano XY</i>	188

Figura 100	<i>Diagramas del eje principal en el plano ZX.....</i>	189
Figura 101	<i>Sistema de transmisión del molino de martillos</i>	191
Figura 102	<i>Fuerzas de flexión y torsión en el eje principal</i>	192
Figura 103	<i>Valores para encontrar el factor de superficie</i>	194
Figura 104	<i>Valores para encontrar el factor de temperatura.....</i>	194
Figura 105	<i>Valores para encontrar el factor de confiabilidad.....</i>	195
Figura 106	<i>Sensibilidad a la muesca “q” para flexión</i>	196
Figura 107	<i>Sensibilidad a la muesca “q” para torsión</i>	196
Figura 108	<i>Factor de concentración de esfuerzos para flexión.....</i>	197
Figura 109	<i>Factor de concentración de esfuerzos para torsión</i>	198
Figura 110	<i>Condiciones de frontera para análisis computacional del eje principal</i>	199
Figura 111	<i>Análisis estático de tensión Von Mises.....</i>	200
Figura 112	<i>Análisis estático de desplazamiento.....</i>	200
Figura 113	<i>Análisis estático del factor de seguridad.....</i>	201
Figura 114	<i>Dimensiones principales de las cuñas.....</i>	202
Figura 115	<i>Cuñero del eje primario</i>	203
Figura 116	<i>Dimensiones principales de un rodamiento de bolas.....</i>	203
Figura 117	<i>Fuerzas presentes en un rodamiento de bolas.....</i>	204
Figura 118	<i>Fuerzas de reacción en los rodamientos</i>	205
Figura 119	<i>Magnitudes de reacción en los apoyos.....</i>	205
Figura 120	<i>Chumacera tipo brida con aro prolongado.....</i>	207
Figura 121	<i>Longitud de los separadores del eje secundario.....</i>	208
Figura 122	<i>Dimensiones de los separadores del eje secundario.....</i>	209
Figura 123	<i>Dimensiones de la anchura de la cámara de molienda.....</i>	210
Figura 124	<i>Vista de las paredes laterales de la cámara de molienda</i>	211

Figura 125	<i>Dimensiones de la longitud de la cámara de molienda</i>	212
Figura 126	<i>Modelado CAD de la cámara de molienda</i>	213
Figura 127	<i>Ensamble de la cámara y tapa de molienda</i>	213
Figura 128	<i>Condiciones de contorno para análisis computacional</i>	214
Figura 129	<i>Análisis estático de desplazamiento</i>	215
Figura 130	<i>Análisis estático de tensión Von Mises</i>	215
Figura 131	<i>Dimensiones de la tolva de ingreso</i>	217
Figura 132	<i>Modelado de la tolva de ingreso</i>	218
Figura 133	<i>Condiciones de frontera para análisis computacional</i>	219
Figura 134	<i>Análisis estático de tensión Von Mises</i>	219
Figura 135	<i>Análisis estático de desplazamiento</i>	220
Figura 136	<i>Análisis estático del factor de seguridad</i>	220
Figura 137	<i>Dimensiones de la tolva de salida</i>	222
Figura 138	<i>Modelamiento de la tolva de salida</i>	223
Figura 139	<i>Condiciones de entorno para análisis computacional</i>	223
Figura 140	<i>Análisis estático de desplazamiento</i>	224
Figura 141	<i>Análisis estático del factor de seguridad</i>	224
Figura 142	<i>Dimensiones de la estructura de soporte</i>	225
Figura 143	<i>Modelamiento de la estructura base y de soporte</i>	227
Figura 144	<i>Ensamblaje de la estructura de soporte</i>	228
Figura 145	<i>Condiciones de entorno para análisis computacional</i>	229
Figura 146	<i>Análisis estático de tensión Von Mises</i>	229
Figura 147	<i>Análisis estático de desplazamiento</i>	230
Figura 148	<i>Análisis estático del factor de seguridad</i>	230
Figura 149	<i>Boceto del sistema de cribado</i>	231

Figura 150	<i>Diseño CAD del sistema de cribado</i>	232
Figura 151	<i>Piezas que conforman en cuerpo del conjunto triturador</i>	233
Figura 152	<i>Ensamblaje CAD del molino de martillos</i>	235
Figura 153	<i>Modos de frecuencia resonantes para la estructura</i>	236
Figura 154	<i>Estudio de la estructura con frecuencia resonante 1 y 2</i>	237
Figura 155	<i>Estudio de la estructura con frecuencia resonante 3 y 4</i>	237
Figura 156	<i>Placa de datos del motor eléctrico</i>	239
Figura 157	<i>Calibres y amperajes de cables eléctricos</i>	245
Figura 158	<i>Circuito eléctrico del molino de martillos activado</i>	248
Figura 159	<i>Circuito eléctrico del molino de martillos desactivado</i>	249
Figura 160	<i>Activación de la protección térmica del motor</i>	249
Figura 161	<i>Dimensiones del tablero de control</i>	250
Figura 162	<i>Cursograma de la construcción de la cámara de molienda</i>	256
Figura 163	<i>Cursograma de la construcción de la tapa de la cámara</i>	257
Figura 164	<i>Cursograma de la construcción de la tolva de entrada</i>	258
Figura 165	<i>Cursograma de la construcción de la tolva de salida</i>	258
Figura 166	<i>Cursograma de la construcción de los martillos</i>	259
Figura 167	<i>Cursograma de la construcción de los discos</i>	260
Figura 168	<i>Cursograma de la construcción de los separadores</i>	260
Figura 169	<i>Cursograma de la construcción de la estructura soporte</i>	261
Figura 170	<i>Cursograma de la construcción de la estructura base</i>	262
Figura 171	<i>Cursograma de la construcción del eje principal</i>	262
Figura 172	<i>Cursograma de la construcción del eje secundario</i>	263
Figura 173	<i>Cursograma de la construcción de la criba</i>	264
Figura 174	<i>Cursograma de la construcción del tubo porta eje primario</i>	264

Figura 175	<i>Cursograma de la construcción de la protección del sistema de transmisión</i>	265
Figura 176	<i>Cursograma de montaje del molino de martillos.....</i>	267
Figura 177	<i>Cámara de molienda</i>	268
Figura 178	<i>Construcción del conjunto triturador</i>	268
Figura 179	<i>Construcción y montaje de la tolva de entrada</i>	269
Figura 180	<i>Construcción y montaje de la tolva de salida.....</i>	269
Figura 181	<i>Montaje conjunto triturador en estructura</i>	270
Figura 182	<i>Construcción de la estructura base y de soporte.....</i>	270
Figura 183	<i>Construcción del sistema de cribado.....</i>	271
Figura 184	<i>Montaje motor, poleas, correas</i>	271
Figura 185	<i>Implementación eléctrica del molino de martillos.....</i>	272
Figura 186	<i>Molino de martillos finalizado.....</i>	272
Figura 187	<i>Molienda de alfalfa deshidratada.....</i>	274
Figura 188	<i>Troceado de alfalfa obtenida del proceso de molienda.....</i>	275
Figura 189	<i>Molienda de grano (morochillo)</i>	275
Figura 190	<i>Molienda de grano (maíz).....</i>	276

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características para la floración de la alfalfa</i>	38
Tabla 2 <i>Composición nutricional de la alfalfa (por 100 g)</i>	40
Tabla 3 <i>Características de los molinos</i>	53
Tabla 4 <i>Características de los sistemas de transmisión de movimiento</i>	58
Tabla 5 <i>Tipos de poleas</i>	59
Tabla 6 <i>Tipos de remaches</i>	61
Tabla 7 <i>Tipos de pernos</i>	62
Tabla 8 <i>Tipos de arandelas</i>	64
Tabla 9 <i>Tipos de chumaceras</i>	65
Tabla 10 <i>Precio de algunas formas de distribuir alfalfa</i>	83
Tabla 11 <i>Pasos de la casa de la calidad</i>	85
Tabla 12 <i>Frecuencia de alimentación diaria de los animales de la comunidad</i>	87
Tabla 13 <i>Frecuencia de disponibilidad de alfalfa para molienda</i>	89
Tabla 14 <i>La voz del ingeniero</i>	91
Tabla 15 <i>Características de las máquinas de competencia</i>	92
Tabla 16 <i>Necesidades del cliente</i>	94
Tabla 17 <i>Requerimientos funcionales</i>	95
Tabla 18 <i>Especificaciones técnicas del molino de martillos</i>	97
Tabla 19 <i>Elementos de la estructura funcional</i>	100
Tabla 20 <i>Subfunciones del molino de alfalfa deshidratada</i>	101
Tabla 21 <i>Elaboración de la matriz morfológica</i>	103
Tabla 22 <i>Método de criterios ponderados</i>	106
Tabla 23 <i>Evaluación del criterio “Gama media de materiales”</i>	107
Tabla 24 <i>Evaluación del criterio “Densidad de materiales”</i>	107

Tabla 25	<i>Evaluación del criterio “Sistema de operación sencillo”</i>	108
Tabla 26	<i>Evaluación del criterio “Piezas desmontables”</i>	108
Tabla 27	<i>Evaluación del criterio “Dimensiones de la máquina”</i>	109
Tabla 28	<i>Evaluación del criterio “Estructura de fácil acceso”</i>	109
Tabla 29	<i>Evaluación del criterio “Tamaño de cribas”</i>	110
Tabla 30	<i>Evaluación del criterio Número de martillos</i>	110
Tabla 31	<i>Evaluación del criterio “Motor eléctrico”</i>	111
Tabla 32	<i>Conclusión y selección de propiedades</i>	111
Tabla 33	<i>Cantidad de hectáreas de terreno por persona de la comunidad y propuesta de molienda</i>	115
Tabla 34	<i>Características de la platina</i>	139
Tabla 35	<i>Dimensiones de los componentes ubicados en el conjunto triturador</i>	149
Tabla 36	<i>Peso ejercido por los elementos del molino de martillos</i>	226
Tabla 37	<i>Elementos del conjunto triturador</i>	233
Tabla 38	<i>Datos técnicos principales del motor WEG</i>	239
Tabla 39	<i>Datos técnicos del interruptor termomagnético seleccionado</i>	241
Tabla 40	<i>Datos técnicos contactor</i>	243
Tabla 41	<i>Datos técnicos Relé térmico</i>	244
Tabla 42	<i>Datos técnicos pulsadores</i>	245
Tabla 43	<i>Datos técnicos luces piloto</i>	246
Tabla 44	<i>Datos técnicos paro de emergencia</i>	247
Tabla 45	<i>Máquinas y equipos</i>	251
Tabla 46	<i>Herramientas y/o accesorios</i>	252
Tabla 47	<i>Operaciones tecnológicas</i>	253
Tabla 48	<i>Simbología de elementos de un cursograma</i>	255

Tabla 49	<i>Códigos de las operaciones de montaje</i>	265
Tabla 50	<i>Aprobación de los parámetros en el protocolo de pruebas</i>	276
Tabla 51	<i>Parámetros protocolo de pruebas</i>	277
Tabla 52	<i>Costos de materiales y componentes mecánicos (CMM)</i>	280
Tabla 53	<i>Costos de materiales y componentes eléctricos (CME)</i>	281
Tabla 54	<i>Costo de utilización de las maquinas (CM)</i>	283
Tabla 55	<i>Costo de herramientas (CE)</i>	283

Resumen

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un molino de alfalfa deshidratada usando un mecanismo de martillos. Su objetivo principal es impactar la alfalfa para descomponerla y desintegrarla en partículas más pequeñas, logrando un tamaño adecuado conocido como troceado de alfalfa. Esto brinda diversos beneficios al sector agropecuario, como una mejor conservación de los nutrientes de la alfalfa, almacenamiento prolongado del alimento para los animales y un valor agregado a la alfalfa, incluyendo su aplicación en la fabricación de pellets. Para desarrollar un sistema electromecánico apropiado, se empleó la metodología de Ingeniería Concurrente. Este enfoque se basa en identificar las necesidades de los usuarios de la comunidad, a través de encuestas, con el fin de recopilar datos y características del entorno. Esto resulta fundamental para determinar los parámetros de diseño ingenieril necesarios para el cálculo, análisis, validación y construcción de la máquina que permiten garantizar una molienda adecuada mediante el uso de recursos disponibles. La aplicación del estudio permite identificar la necesidad adicional de realizar la molienda de granos de maíz para complementar, junto a la molienda de la alfalfa, la dieta del conjunto de animales de granja que tienen en la comunidad. Se realizan los diseños geométricos y dimensionales de los diferentes componentes y soporte estructural que forman parte de la máquina haciendo uso de un programa CAD, se determinan las fuerzas estáticas y dinámicas que se presentan según el requerimiento de producción y el posterior diseño de los componentes, que mediante el uso de programa CAE se someten a la simulación y posterior validación de los diseños en los elementos de la máquina. Se hará enfoque en el dimensionamiento y la selección de componentes eléctricos que se alojarán en un pequeño tablero de control, estos contribuirán a la protección y el accionamiento del motor del molino.

Palabras clave: troceado, alfalfa deshidratada, molienda, molino de martillos.

Abstract

The project consists of the design and implementation of a dehydrated alfalfa mill using a hammer mechanism. Its main objective is to impact the alfalfa to break it down and disintegrate it into smaller particles, achieving a suitable size known as chopped alfalfa. This provides various benefits to the agricultural sector, such as better conservation of alfalfa nutrients, prolonged storage of feed for animals and added value to alfalfa, including its application in the manufacture of pellets. To develop an appropriate electromechanical system, the Concurrent Engineering methodology was used. This approach is based on identifying the needs of community users, through surveys, in order to collect data and characteristics of the environment. This is essential to determine the engineering design parameters necessary for the calculation, analysis, validation and construction of the machine that allow guaranteeing adequate grinding through the use of available resources. The application of the study allows to identify the additional need to carry out the milling of corn grains to complement, together with the milling of alfalfa, the diet of all the farm animals that they have in the community. The geometric and dimensional designs of the different components and structural support that are part of the machine are made using a CAD program, the static and dynamic forces that occur according to the production requirement and the subsequent design of the components are determined. that through the use of the CAE program are submitted to the simulation and subsequent validation of the designs in the elements of the machine. Focus will be on the sizing and selection of electrical components that will be housed in a small control panel, these will contribute to the protection and drive of the mill motor.

Keywords: chopped, dehydrated alfalfa, grinding, hammer mill.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Planteamiento del problema

En la actualidad, en la provincia de Cotopaxi, específicamente en la comunidad "Unión y Trabajo" del Cantón Salcedo, se observa un problema destacado relacionado con la disponibilidad, conservación y alimentación adecuada de la alfalfa para el sustento del ganado.

La alfalfa, que pertenece a la familia de las leguminosas, tiene la capacidad de desarrollarse en un rango de altura de 30 a 60 centímetros. Se caracteriza por sus tallos delgados y erguidos, así como por sus hojas ovaladas y lisas. Además, presenta pequeños racimos de flores violetas. La composición de la alfalfa es notable, por lo que posee un contenido de humedad del 76.7% y aporta un 20.36% de proteínas como nutrientes esenciales.

Debido a los cambios estacionales a lo largo del año, se experimentan periodos de sequía en los que la producción de la alfalfa necesaria para satisfacer la demanda de los animales del sector se ve afectada. Por otro lado, cuando se cosecha grandes cantidades de alfalfa y se conserva de inmediato, se pierden sus propiedades nutritivas debido a la oxidación química que ocurre en esta planta debido a su alto contenido de humedad. Por último, si se deja la alfalfa en el terreno durante demasiado tiempo y se la cosecha de manera gradual, irá perdiendo sus nutrientes. Por lo tanto, es ideal recolectarla en su etapa de madurez, es en ese momento donde se aprovechan todos los nutrientes en su totalidad.

Con el objetivo de abordar estas problemáticas anteriormente mencionadas, se propone realizar la trituración tanto de la alfalfa deshidratada como también del maíz, por lo que este grano la comunidad utiliza cuando la producción de alfalfa decrece, la cual permite brindar una solución óptima para la demanda alimenticia durante los cambios estacionales. Este enfoque también busca mejorar la conservación de los nutrientes de la alfalfa durante su almacenamiento a largo plazo, asegurando la disponibilidad del alimento cuando sea necesario

para el ganado. Para lograr esto, se empleará un molino de martillos para trocear la alfalfa deshidratada y como extra poder realizar molienda de grano de maíz.

Considerando los altos precios de las máquinas disponibles en el mercado para este propósito, se reconoce que resultan inaccesibles para los pequeños agricultores y sectores agropecuarios. Por lo tanto, la propuesta consiste en diseñar y crear una máquina que cumpla con las mismas funciones, características y calidad, pero que requiera un mantenimiento básico, tenga repuestos de fácil acceso y bajo costo para los pequeños productores.

Antecedentes

A través de la historia el crecimiento económico del Ecuador se ha visto sustentado en su mayoría por la producción agrícola, por lo que este sector aporta a la balanza comercial del país. En el área rural del Ecuador reside el 36.18% de la población, de este gran número de habitantes está conformado por productores agrícolas, los mismos que habitan en el mismo lugar donde realizan sus actividades agrícolas. El 20% de la población en el Ecuador está enfocada en el sector agropecuario y se estima que un 54% se encuentra desempeñando actividades agrícolas. (Chuncho Juca, Uriguen Aguirre, & Apolo Vivanco, 2021).

El uso de un proceso adecuado en la producción agrícola y agropecuaria han sido factores decisivos, para la modernización y obtención de los logros hasta ahora alcanzados (aumento de las áreas de producción, exportaciones, productividad, reducción de costos, entre otros factores) (Chuncho Juca, Uriguen Aguirre, & Apolo Vivanco, 2021).

Resulta evidente que, con la creciente expansión del mercado agropecuario en Salcedo, surge la necesidad de establecer un modelo de estrategias efectivas para la comercialización de los productos provenientes del sector agrícola y ganadero. Estas iniciativas contribuyen a desarrollar procesos relacionados con la industrialización del sector agropecuario, con el objetivo de aumentar su competitividad.

Como antecedente, se encuentra la tesis de (Bermeo Diana, 2014), donde se presenta un molino de martillos diseñado específicamente para la trituración de granos de maíz utilizados como alimento y balanceado en las granjas avícolas. Este molino ha sido diseñado con el objetivo de lograr una capacidad de molienda de 10 quintales por hora, utilizando un motor de 5Hp de potencia y una velocidad en el eje principal de 3000 rpm. Este trabajo mencionado proporciona consideraciones y recomendaciones valiosas para la construcción de la máquina de molienda. Se establecen relaciones y comparaciones entre el volumen de producción requerido por la comunidad y el material con el que se pretende trabajar en este proyecto.

Justificación e importancia

Según el (INEC, 2010), en el cantón Salcedo, las actividades económicas predominantes se relacionan con el sector agropecuario, el cual emplea al 49,3% de la población económicamente activa total, igual a 22.181 habitantes y representa el 14,2% de los puestos de trabajo en la provincia. En las proximidades de Salcedo, se ubica un significativo número de empresas agrícolas que impulsan la economía local y, junto con los cantones Latacunga y Pelileo, forman parte del motor económico de la provincia de Cotopaxi (MIES, 2014).

Dada la importancia económica del sector agropecuario y agrícola, es fundamental fomentar e implementar procesos industrializados que agilicen y optimicen las labores realizadas por los miembros de la comunidad. Esto permitirá a los agricultores aumentar su producción, diversificarse y aprovechar al máximo los terrenos que poseen. Además, tendrán la oportunidad de agregar valor a sus productos, por lo que es ampliamente conocido que los agricultores primarios suelen obtener beneficios económicos más limitados de sus cosechas.

Por lo general, los animales de granja se alimentan de alfalfa fresca recién cosechada. Sin embargo, durante ciertas temporadas, debido a cambios estacionales y sequías, la

producción y el crecimiento de la alfalfa disminuyen. Por lo tanto, resulta crucial contar con una reserva de alfalfa troceada u otro alimento como el maíz triturado para ser utilizado en momentos de escasez. De esta manera se obtendrá siempre un alimento almacenable y disponible cuando sea necesario.

En el Cantón Salcedo, se encuentran extensas áreas de terreno dedicadas al cultivo y cosecha de la alfalfa y en menor cantidad a la planta del maíz. Con el objetivo de impulsar el desarrollo socioeconómico de estas comunidades, se busca mejorar la comercialización, procesamiento y almacenamiento de los alimentos derivados de estas plantas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un molino de alfalfa deshidratada y granos de maíz dirigido a la fundación “AYLLU APU FAA” del sector occidental del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador.

Objetivos específicos

- Determinar las características y alternativas del proceso de molienda para el troceado de alfalfa deshidratada y granos de maíz.
- Realizar un análisis de factibilidad para la fabricación de un molino de alfalfa deshidratada y granos de maíz.
- Utilizar una metodología de diseño para el desarrollo de un molino para la producción de alfalfa y maíz troceado.
- Obtener la documentación técnica y diseño del sistema mediante software CAD.
- Establecer un escenario de cargas para el análisis mecánico, utilizando un software computacional.
- Construir el molino para la alfalfa deshidratada y granos de maíz.
- Someter la máquina realizada bajo los protocolos de pruebas para su validación.

Capítulo II

Marco Teórico

Acerca de la Fundación “AYLLU APU FAA”

La Fundación “AYLLU APU FAA” es una organización sin fines de lucro de derecho privado cuyo objetivo principal es promover el desarrollo integral de la célula familiar y fomentar las relaciones culturales en diversas comunidades, con un enfoque especial en el campo agroindustrial. Sus actividades están estrechamente vinculadas a la agricultura, ganadería y agropecuaria.

Entre las labores que lleva a cabo se encuentra la coordinación de recursos naturales y económicos del sector, así como el desarrollo de infraestructuras y la implementación de soluciones que contribuyen a la mejora continua de la producción y el comercio en la región. Además, la fundación brinda apoyo a emprendedores y organizaciones interesadas en participar en el programa, permitiéndoles aportar de diversas maneras.

Situación agropecuaria en Salcedo

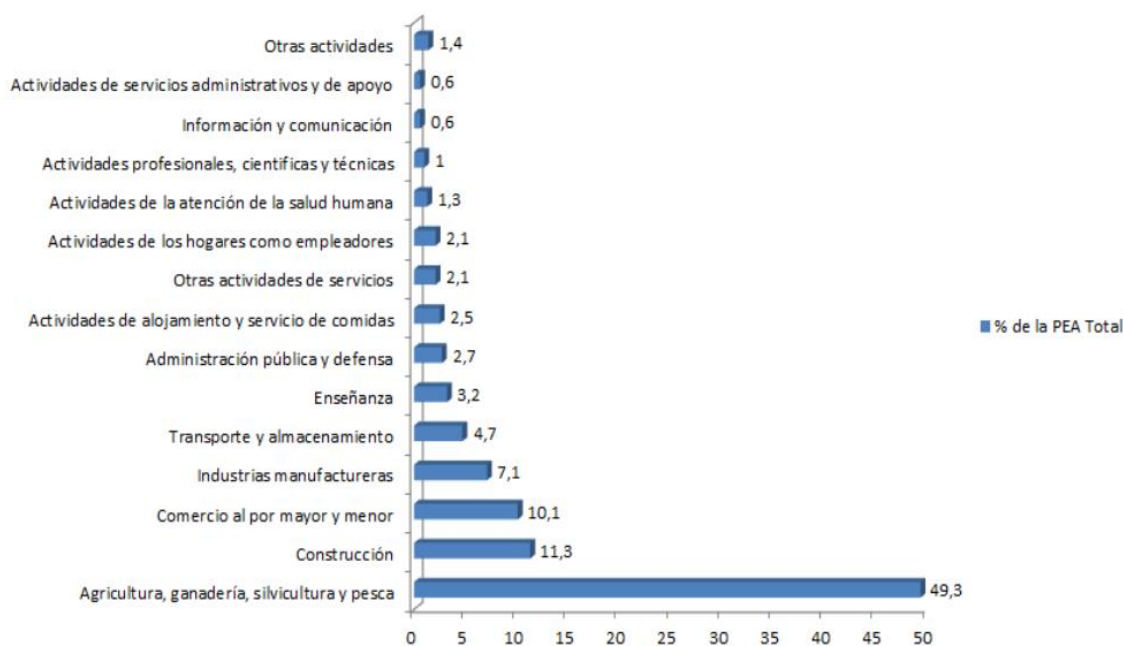
De acuerdo con los datos recopilados en el Censo de Población y Vivienda del año 2010 en el cantón Salcedo, se observa que aproximadamente el 49.3% de la población económicamente activa está involucrada en actividades agropecuarias, tales como agricultura, ganadería, agropecuaria, pesca, entre otras. En segundo lugar, se encuentra el sector de la Construcción, con una participación del 11.3% de la población, seguido por el comercio, que representa el 10.1%. En conjunto, estas tres actividades económicas aportan alrededor del 70.7% de la población total. La figura 1 muestra las actividades más representativas del cantón Salcedo junto con sus respectivos porcentajes (Moya Balarezo, 2014).

Las actividades que tienen que ver con las temáticas de agropecuaria, ganadería y agricultura abarcan un gran porcentaje de la economía del cantón Salcedo, por lo que es indispensable centrarse en estas tareas, realizando automatizaciones de sus procesos,

invirtiendo en proyectos e ideas de mejora continua, con el fin de aumentar la producción de las diferentes actividades que se realicen principalmente en el sector rural.

Figura 1

Población total ubicada por cada actividad económica 2010.



Nota. Esta figura muestra las actividades económicas que más se realizan en el cantón Salcedo censado en el año 2010. Tomado de (Moya Balarezo, 2014).

Cultivos de alfalfa

La planta herbácea conocida como alfalfa (*Medicago Sativa*) pertenece al grupo de las leguminosas y tiene la capacidad de adaptarse a una amplia variedad de condiciones climáticas, mostrando resistencia tanto a altas como a bajas temperaturas. Es especialmente tolerante a la sequía y requiere suelos profundos y permeables para lograr un florecimiento y desarrollo óptimos. Durante períodos de riego, la alfalfa demuestra una alta productividad y un crecimiento constante a lo largo del verano. Además, se caracteriza por su rápida germinación y establecimiento (Flores, 2017).

La alfalfa es una valiosa fuente de vitaminas, minerales y proteínas, lo que la convierte en un alimento altamente beneficioso tanto para los seres humanos como para los animales. Su uso desempeña un papel fundamental en la nutrición de personas y animales que sufren de malnutrición, debilidad y retraso en el crecimiento (Canals, Peralta, & Zubiri, 2019).

Figura 2

Cultivos de alfalfa (Medicago Sativa)



Nota. En esta figura se puede apreciar el aspecto que tiene una planta de alfalfa. Tomado de (Lifeder, 2019).

Características morfológicas de la Alfalfa

La alfalfa es una planta que crece verticalmente y puede tener una altura de 30 a 60 cm. Su color es una mezcla de verde y gris, y cada una de sus partes se puede describir de la siguiente manera, tanto física como visualmente (Flores, 2017).

Características climatológicas en la floración de la alfalfa

Para que la planta de alfalfa pueda crecer adecuadamente, es necesario cumplir ciertos requerimientos que están influenciados por variables como el tipo de suelo, la temperatura ambiente y el nivel de alcalinidad del suelo en el que se siembra.

Las características de estas variables climatológicas se encuentran detalladas en la tabla 1.

Tabla 1*Características para la floración de la alfalfa*

Variable	Característica
Ambiente	Pueden enflorar en climas templados, áridos, con inviernos fríos, veranos secos y cálidos.
Tipo de suelo	Se prefiere suelos profundos y arcillosos, mayores a 60 centímetros, sin salinidad.
Temperatura	La temperatura media anual para la producción de la alfalfa es de 15 °C , pudiendo estar entre 18 – 28 °C
Floración	Los primeros brotes ocurren entre 8 a 12 días después de la siembra, el primer corte se puede dar desde los 60 días de la siembra.
Nivel de pH	El nivel de pH óptimo para la floración de la alfalfa debe ser aproximadamente de 7.2

Nota. Esta tabla indica las condiciones y entorno más adecuadas para el desarrollo y floración de la planta de alfalfa. Tomado de (Rabanillo, 2022).

Alfalfa deshidratada

La deshidratación de la alfalfa implica la eliminación de la humedad, lo cual presenta ventajas como la reducción del riesgo de contaminación microbiana y oxidación química. Este proceso permite preservar de manera más efectiva los nutrientes presentes en esta planta alimenticia. Además de disminuir las pérdidas nutricionales, la deshidratación mejora la calidad

higiénica y permite una prolongada conservación hasta su uso como alimento para animales de granja (Interempresas, 2021).

La deshidratación de la alfalfa puede lograrse mediante métodos de secado rápido a altas temperaturas, secado natural al sol o mediante el uso de calderas especializadas para el secado. La alfalfa deshidratada puede emplearse como ingrediente principal en la producción de pellets de alfalfa, combinada con otros componentes que aumentan el contenido de nutrientes para favorecer el desarrollo de los animales rumiantes (Agronews Castilla y León, 2016)

Figura 3

Alfalfa deshidratada



Nota. En esta figura se aprecia el aspecto de la alfalfa luego de haberla deshidratado en cierto tiempo. Tomado de (Campo Galego, 2022)

Características fisicoquímicas de la Alfalfa

La alfalfa se cultiva masivamente y es utilizada principalmente como forraje, convirtiéndose en uno de los mejores alimentos para animales de granja. Esta planta tiene diversos componentes alimenticios y características alimenticias, contiene nutrientes como calcio, potasio, hierro, fósforo, magnesio, sodio, zinc y vitaminas del grupo B. Es fuente de proteínas, antibacteriana, antioxidante y antiinflamatoria (Grupo Medifer, 2022).

Tabla 2

Composición nutricional de la alfalfa (por 100 g)

Elemento	Cantidad
Calorías	23 kcal
Humedad	76.70%
Proteínas	4 g
Carbohidratos	3.78 g
Grasas	0.7 g
Azúcares	0.2 g
Fibra	2.5 g
Sodio	6 mg

Nota. Esta tabla muestra los nutrientes que brinda la alfalfa en una muestra de 100 gramos de esta planta. Tomado de (Soldano, 2015).

Formas de conservación de la Alfalfa

Existen varias formas de conservar la alfalfa, asegurando su disponibilidad y preparación oportuna para alimentar al ganado. Esta planta desempeña un papel fundamental como alimento para los animales rumiantes. A continuación, se presentan diferentes métodos para conservar la alfalfa con fines de alimentación animal:

Alfalfa en Heno

Esta planta es ideal para ser utilizada como heno en áreas con altas horas de radiación solar, en donde normalmente hay escasas precipitaciones y temperaturas elevadas durante el período de producción. El heno de alfalfa posee una variedad de propiedades que resultan beneficiosas para los animales rumiantes durante la etapa de lactancia, el crecimiento inicial y el desarrollo (Ribero, 2022).

Figura 4*Alfalfa henificada*

Nota. En la figura se aprecia que la alfalfa henificada se conserva en fardos de forma cúbica.

Tomado de (Agritotal, 2013).

Alfalfa troceada

El troceado de alfalfa es un proceso en el cual la alfalfa se corta o se fragmenta en trozos más pequeños, puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos, dependiendo del equipo o maquinaria utilizada, los más comunes incluyen el uso de segadoras, cortadoras de forraje, picadoras o trituradoras. Estas máquinas cortan la alfalfa en trozos más manejables, lo que permite su posterior procesamiento o almacenamiento de manera más eficiente. Estos trozos de alfalfa pueden utilizarse directamente como forraje para el ganado o para la producción de pellets de alimentación animal.

Figura 5*Alfalfa troceada*

Nota. En la figura se aprecia la alfalfa troceada, la cual puede variar de tamaño dependiendo la molienda realizada. Tomado de (AEFA, 2018)

Alfalfa en Pellets

Esta técnica implica conservar la alfalfa como alimento para ciertos animales mediante un proceso de deshidratación y compactación. Consiste en mezclar alfalfa deshidratada con agua, y opcionalmente se pueden agregar otros componentes nutritivos. Luego, esta mezcla se prensa en una máquina peletizadora, obteniendo pequeñas cápsulas como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6

Pellets hechos de alfalfa



Nota. En la figura se observan que los pellets hechos de troceado de alfalfa tienen un aspecto similar a unas pequeñas cápsulas. Tomado de (Forga, 2014).

Cultivos de maíz

Los cultivos de maíz constan de un conjunto de plantas que tienen longitud elevada, con un tallo erecto y sin ramificaciones. Se trata de una planta robusta de producción anual, la cual requiere mucha humedad e hidratación, es indispensable realizar riegos antes de la floración, y mantener la humedad, de ello dependerá la cantidad de producción. (Franquesa, 2016).

El maíz se cosecha cuando los granos tienen un color amarillo anaranjado, antes de que se pongan demasiado duros. Si las mazorcas están verdes, su sabor no está bien definido, cuando ya están muy maduras, se vuelven duras. (Franquesa, 2016).

Figura 7

Cultivos de la planta de maíz



Nota. En la figura se observa el aspecto de las plantaciones de maíz. Tomado de (ACOSEMILLAS, 2021)

Características de floración de la planta de maíz

La planta de maíz puede crecer en climas templados y puede adaptarse muy bien a cualquier tipo de suelos del tipo fértil, pero requiere un buen aporte en nutrientes en materia orgánica durante el crecimiento, puede cultivarse más de una cosecha en el mismo año. El maíz prospera entre las temperaturas de 21 a 27°C. Los suelos deben de estar bastante calientes para poder asegurar germinación y crecimiento constante. (None, 2018)

Figura 8

Floración de la planta de maíz



Nota. En la figura se observa la cosecha de granos de maíz. Tomado de (Agrositio, 2018)

Alimentación de maíz molido para las especies

El maíz partido o molido se refiere a la forma en que el grano de maíz ha sido procesado previamente para romper o triturar el grano en partículas más pequeñas. Este proceso puede realizarse mediante sistemas de molienda. Al alimentar al ganado de esta forma se reduce la necesidad de masticación, por lo que el grano molido es más fácil de digerir, brinda alta energía en sus nutrientes y proteínas (Villalon, 2022). Entre las ventajas más representativas se tiene las siguientes:

- Mayor digestibilidad: El maíz partido es más fácil de digerir para muchos animales, lo que puede resultar en una mayor absorción de nutrientes.
- Mayor eficiencia en el consumo de energía: Al reducir el esfuerzo de masticación, los animales pueden destinar más energía a su crecimiento, producción de leche o carne, en lugar de utilizarla en el proceso de masticación.
- Control de la alimentación: El maíz partido puede mezclarse con otros ingredientes para crear una dieta balanceada y específica para las necesidades nutricionales de los animales de granja.

Figura 9

Animales consumidores del grano de maíz



Nota. En la figura se observa los consumidores principales del maíz.

Maíz triturado

El maíz partido es beneficioso en la dieta de los animales, por lo que debe ser cuidadosamente equilibrada para garantizar que reciban todos los nutrientes necesarios para una buena salud y rendimiento. El tamaño de grano dependerá del tipo de animal, su etapa de vida y los objetivos específicos de alimentación del ganado. Los animales mayormente consumidores del maíz molido son: ganado vacuno, cerdos, aves de corral, ovejas y cabras (Montana, 2022).

Figura 10

Tamaños de grano más comunes del grano de maíz



Nota. Tomado de (Globalpiyasa, 2009)

Diseño para la calidad QFD

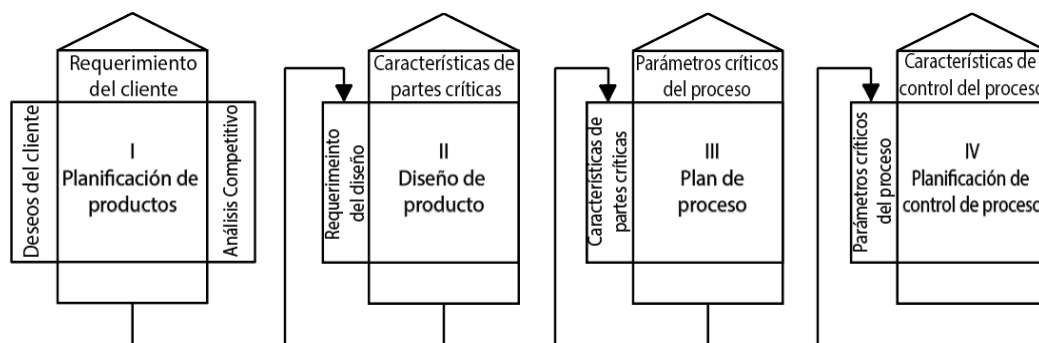
El enfoque de diseño de calidad tiene como objetivo identificar las necesidades y expectativas de los clientes, priorizando la satisfacción de estas expectativas en base a variables relacionadas con su importancia. Además, guía la asignación de recursos humanos y materiales disponibles para cumplir con dichas expectativas (Jimeno, 2012).

Las cuatro fases de la calidad

- **Fase 1:** Planeación del producto: casa de la calidad.
- **Fase 2:** Diseño del producto: despliegue de las partes.
- **Fase 3:** Planeación del proceso.
- **Fase 4:** Control del proceso (cartas de control de calidad).

Figura 11

Esquema de las fases de la calidad



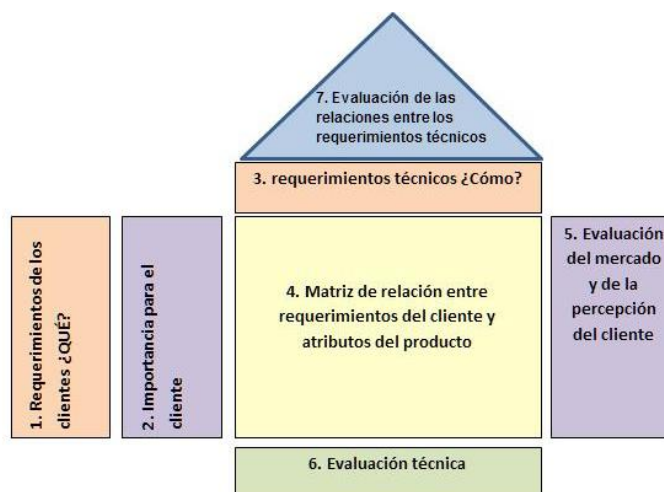
Nota. En esta figura se puede apreciar las 4 fases de la calidad.

La casa de la calidad

Esta herramienta tiene como objetivo asegurar la calidad en la creación de productos y la prestación de servicios, con el fin de garantizar la satisfacción del cliente. Para desarrollar la matriz de la casa de la calidad, se utilizará la siguiente clasificación de características para organizar las necesidades y expectativas de los clientes (IONOS, 2020).

Figura 12

Casa de la calidad



Nota. En esta figura se aprecia la forma que se debería seguir para la elaboración de la matriz de la casa de calidad. Tomado de (Gómez Villoldo, 2023).

Ingeniería concurrente

La ingeniería concurrente es un enfoque sistemático que busca lograr un diseño integrado y simultáneo del producto, su proceso de fabricación y su servicio asociado.

Su objetivo es que los responsables del desarrollo consideren desde el principio todos los elementos del Ciclo de Vida del Producto (CVP), desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, incluyendo aspectos como calidad, costo y las necesidades de los usuarios (Salazar López, 2019).

Teorías de fallas

Una falla se refiere a la pérdida de funcionalidad que puede ocurrir en una pieza o elemento que desempeña un papel específico dentro de un mecanismo.

Estas fallas pueden deberse a deformaciones o fracturas, y dependen en gran medida de la estructura microscópica y los enlaces atómicos del material en cuestión (Sanchez, 2023).

Con el fin de predecir las fallas que ocurren en diversos materiales sometidos a cargas estáticas y lograr un diseño adecuado de los elementos de las máquinas que garantice su confiabilidad, se han desarrollado teorías específicas para diferentes grupos de materiales.

Estas teorías incluyen:

- Factor de seguridad
- Esfuerzo de cedencia
- Esfuerzo efectivo
- Esfuerzo cortante máximo
- Energía de distorsión

Proceso de industrialización del troceado de alfalfa

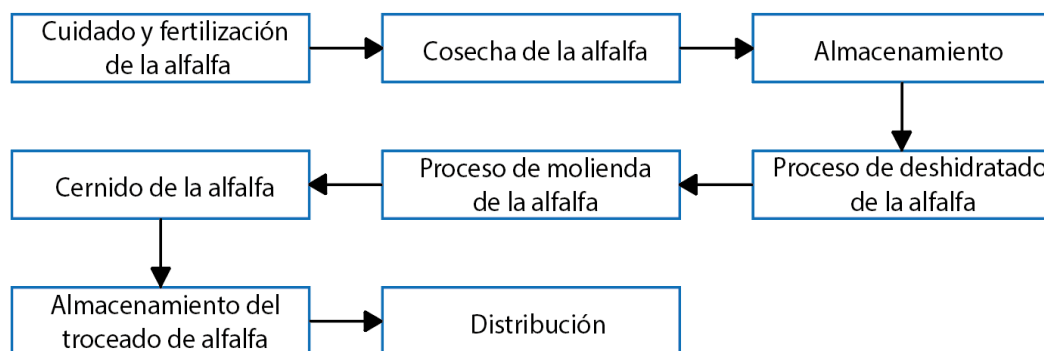
Para llevar a cabo la industrialización de la alfalfa, es necesario seguir una serie de procesos secuenciales que van desde el cuidado de las extensas cosechas de la planta de alfalfa hasta su distribución a las diferentes zonas ganaderas, con el propósito de proporcionar

alimento a los animales del sector especialmente a los que se alimentan netamente de estas hierbas.

En la figura 13 se detallan los pasos que deben llevarse a cabo en este proceso, y a través de ellos se podrá identificar el diseño adecuado de la maquinaria para mejorar dicho proceso.

Figura 13

Flujograma del proceso de industrialización de la alfalfa deshidratada



Nota. En esta figura se observa la secuencia que tiene la planta alfalfa, desde que se siembra hasta su procesamiento y distribución.

Proceso de molienda

La etapa de molienda es el último paso en el proceso de fragmentación dentro de la industria. Esta fase sigue a la trituración y se distingue por el tamaño de salida del producto, que puede variar entre milímetros y micrómetros dependiendo también la aplicación final que se necesite del material (Blanco E. A., 2023).

Para llevar a cabo este proceso, se utiliza un equipo llamado molino, que puede trabajar tanto con material seco como húmedo. En el caso del trabajo en seco, se considera óptimo un contenido de humedad que no supere el 3% o 4%, lo cual garantiza un rendimiento superior. Por otro lado, en el trabajo en húmedo, se emplea un contenido de humedad que oscila entre el

5% y 10%, aunque esto conlleva una disminución en el rendimiento debido a la formación de una pasta húmeda y pegajosa, la cual es más difícil de procesar (Blanco E. A., 2023)

La figura 14 muestra la clasificación del proceso de fragmentación según el tamaño de producto requerido, el cual puede ser aplicado tanto para la alfalfa deshidratada como para los granos de maíz.

Figura 14

Escalones de fragmentación

Proceso	Etapas	Escalón	Humedad	Tipo de equipo
Fragmentación (Reducción de un bloque a tamaños menores)	Trituración (Etapa de la fragm. para tamaños gruesos)	Primaria Secundaria Terciaria	Seco o Húmedo	Trituradoras (Mandibulas, conos, rodillos, martillos, etc.)
	Molienda (Etapa de la fragm. para tamaños finos)	Gruesa Media Fina Ultrafina	Seco o Húmedo	Molinos (Barras, bolas, SAG, autógenos y de guijarros)

Nota. Esta figura representa las dos etapas de fragmentación que podría tener un cierto material y el tipo de máquina con el que se consigue este proceso. Tomado de (Blanco E. A., 2023).

Molienda de la alfalfa deshidratada y granos de maíz

Durante las temporadas de sequía, la producción y el crecimiento de la alfalfa se ven afectados, lo que lleva a los granjeros a depender de reservas que puedan conservarse durante períodos prolongados sin perder sus propiedades nutritivas. Estas reservas son vitales para su utilización durante las épocas de escasez de alfalfa o cuando se necesite como complemento nutritivo para los animales en desarrollo.

En la actualidad, se utilizan máquinas industriales para procesar la molienda de la alfalfa deshidratada, granos de maíz u otros productos agrícolas utilizados en la alimentación ganadera.

Estas máquinas pueden funcionar según diferentes principios de trituración de las plantas. En el sector agropecuario, el diseño más comúnmente utilizado para la molienda de la alfalfa y granos de maíz es el ilustrado en la figura 15, que se basa en el principio de golpes al material mediante martillos.

Figura 15

Máquina moledora de alfalfa



Nota. En la figura se observa el aspecto estructural que tiene una máquina con principio de martillos utilizada en la trituración de ciertos elementos. Tomado de (Maquinova, 2020)

Tipos de molinos, características y funcionamiento.

Para la trituración de granos y cereales existen tres tipos principales de máquinas:

Molinos de plato o disco

El mecanismo de operación de estos molinos es similar al de los molinos tradicionales, donde una piedra grande gira sobre otra para triturar los granos. En la actualidad, se han reemplazado las piedras por discos metálicos que realizan la misma función (LAVAL LAB, 2023).

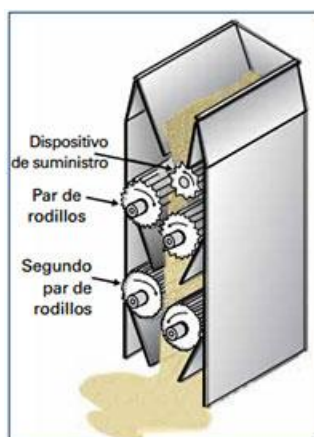
La figura 16 ilustra estos discos metálicos. Existen dos tipos de molinos disponibles: aquellos con discos ubicados de formas vertical y los que cuentan con discos sobrepuestos de manera horizontal.

Figura 16*Molino de plato o discos*

Nota. Tomado de (LAVAL LAB, 2023)

Molinos de rodillos

Debido a su capacidad para moler una amplia variedad de granos y cereales, este molino es muy popular debido a su versatilidad. El proceso comienza cuando el grano cae desde la tolva y entra en la cubeta interna, donde se encuentran dos rodillos metálicos que giran a alta velocidad en direcciones opuestas y a una distancia milimétrica entre ellos (generalmente con velocidades diferentes). Estos dos rodillos pueden ser lisos o estriados, dependiendo del tipo de grano o cereal que se va a moler (El sitio Avícola, 2016)

Figura 17*Molino de rodillos*

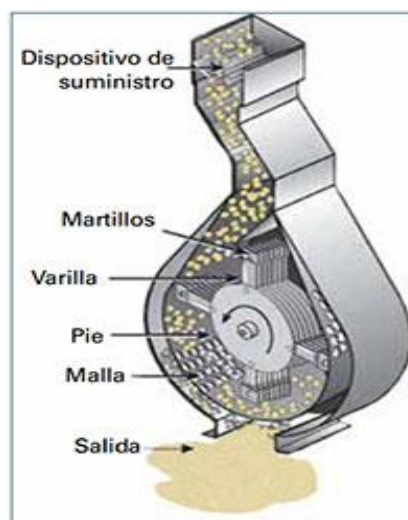
Nota. Tomado de (El sitio Avícola, 2016)

Molinos de martillo

Dentro de esta máquina, en su tambor, se encuentra un eje equipado con una serie de martillos pequeños. El grano caerá sobre estos martillos, que pueden ser de tipo fijo u oscilante. Cuando la máquina está en funcionamiento, los martillos giran a alta velocidad, golpeando y triturando el cereal. En la parte inferior de la máquina, hay una malla que permite tamizar el material triturado (El sitio Avícola, 2016).

Figura 18

Molino de martillos



Nota. En la figura se aprecia la parte interna de la cámara de un molino que funciona con principio de martillos oscilantes. Tomado de (El sitio Avícola, 2016).

Tipo de molino adecuado para la molienda de alfalfa deshidratada

En la tabla 3 se presentan los molinos que se utilizan comúnmente en la molienda de alimentos como: cereales, granos y forrajes, junto con sus características correspondientes, las cuales son útiles para seleccionar el molino apropiado en la molienda de la alfalfa deshidratada y maíz.

Tabla 3*Características de los molinos*

Tipo de molino	Características
Molino de plato o discos	<ul style="list-style-type: none"> • Ideales para la trituración fina. • Tritura materiales blandos, duros, viscosos y sensibles a la temperatura. • Baja capacidad de molienda. • Nivel medio de conocimiento para el mantenimiento. • Fácil limpieza.
Molino de rodillos	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente frente a productos blandos. • Facilidad en la selección del grosor de molienda. • Nivel medio de conocimiento para el mantenimiento. • Alto costo de los rodillos.
Molino de martillos	<ul style="list-style-type: none"> • Gran resistencia. • Eficiente para la molienda media y fina. • Alta capacidad de molienda. • Fácil de operar y mantener. • Fácil y rápida limpieza del equipo.

Nota. Esta tabla indica las características principales que posee diferentes tipos de molinos utilizados en varias finalidades. Tomado de (El sitio Avícola, 2016).

Al identificar las características mencionadas anteriormente, es evidente que el molino de martillos es la opción óptima para la molienda de alfalfa y maíz. Esto se debe a su

capacidad de molienda para producir un tamaño de grano medio y fino, además de su mantenimiento sencillo.

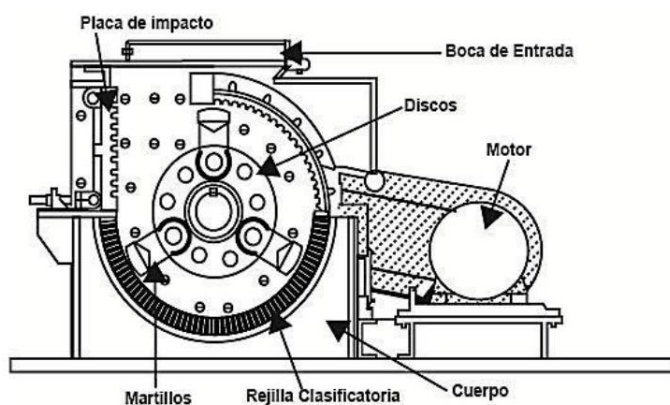
Definición de molinos de martillos.

La fuerza de la molienda en estos molinos depende del tamaño de los agujeros de la malla y de la velocidad a la que circula el material molido a través de la cámara de molienda. Estos molinos son robustos y cuentan con un sistema de martillos, ya sea fijos u oscilantes, que tienen una larga vida útil y son fáciles de intercambiar.

El proceso de molienda comienza cuando el material se introduce en la cámara del molino y cae por efecto de la gravedad. A continuación, es golpeado repetidamente por los martillos, que están unidos a un eje que gira a alta velocidad dentro de la cámara. El material se tritura por el impacto de los martillos contra las paredes de la cámara de molienda. Al final, las láminas de metal perforado o las rejillas de barras que cubren la abertura de descarga del molino retienen los materiales más gruesos para una posterior molienda, al mismo tiempo que permiten que los materiales de tamaño deseado pasen a través de ellas (Metallurgist, 2021).

Figura 19

Sistema de martillos



Nota. En la figura se observa las partes principales de la cámara de molienda de un molino de martillos. Tomado de (Chicaiza Songor, 2015)

Características técnicas de un molino de martillos

Ventajas:

- Alta capacidad de producción (kg/h)
- Bajo costo
- Control de tamaño de grano mediante criba
- Obtención de grano fino
- Bajo costo en mantenimiento
- Poco mantenimiento en los martillos
- Capacidad de introducir elementos de espesores medios
- Cámara de molienda

Desventajas:

- No adecuado para espesores altos
- Alta dispersión de la granulometría
- Genera mucho polvo

Materiales que se pueden triturar:

- Metales
- Madera
- Orgánicos
- Áridos

Materiales que no se pueden triturar:

- Papel - Cartón
- Caucho
- Plástico

Componentes mecánicos/eléctricos en un molino de martillos

- **Estructura:** Elementos metálicos utilizados para soportar y guiar los componentes de la máquina.
- **Cámara de alimentación:** Espacio en donde se aloja el conjunto triturador en donde se realiza toda la acción de molienda.
- **Tolva de alimentación:** Elemento en forma de pirámide con diferentes grados de inclinación, se encuentra en la parte superior de una máquina y permite la recepción de la materia prima.
- **Pernos:** Dispositivo cilíndrico roscado metálica utilizada para unir piezas y componentes que se puedan desmontar.
- **Motor:** Dispositivo encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica rotacional, al utilizar los campos magnéticos generados por las bobinas.
- **Sistema de Transmisión por poleas:** Sistema encargado de transmitir el movimiento de un mecanismo a otro por medio de una correa.
- **Láminas galvanizadas:** Lámina metaliza cubierta por zinc que previene la corrosión y prolonga la vida útil del producto.
- **Eje principal:** Eje que recibe el movimiento del motor por medio de las poleas y la banda, en la misma se encuentran colocados los discos los discos.
- **Eje secundario:** Se encuentran colocados en los discos y en ellos se encuentran los elementos percusores o martillos.
- **Discos:** Encargados de sujetar los ejes secundarios, pueden existir de diferentes configuraciones dependiendo el diseñador.
- **Martillos:** Colocados en los ejes secundarios encargados de golpear y triturar al material que ingresa por las tolvas de alimentación.
- **Rodamientos:** Elemento utilizado para minimizar la fricción entre un eje cilíndrico

conectado a una pieza.

- **Separadores:** Encargados de separar elementos mecánicos, en el caso de la máquina de martillos mantienen fijos y separados los martillos de los demás componentes del árbol de trituración.
- **Chumacera:** Pieza mecánica en la que se inserta el rodamiento, en el que girara un eje de la máquina.
- **Control eléctrico:** Controla el funcionamiento de la máquina, el arranque, paro y velocidad límite del motor, utilizando interruptores, contactores, pulsadores, paro de emergencias y señales iluminadas.
- **Tablero de control:** aloja a todos los componentes eléctricos que ayudan al accionamiento del motor e inicio del proceso de molienda.
- **Protecciones eléctricas:** Encargado de proteger al operario y la maquina en caso de una falla eléctrica.
- **Cernidor o criba:** Elemento que da paso al producto resultante de la molienda de acuerdo al diámetro del mismo.
- **Canales para criba:** Son los encargados de formar un camino de guía para poder insertar la lámina de la criba de molienda.
- **Bandeja de despacho:** Recibe el producto de la molienda del material, para este caso sería el troceado de alfalfa y maíz molido.

Sistema de transmisión

El sistema de transmisión es una metodología comúnmente utilizada para transferir energía mecánica, aprovechando el movimiento de elementos sólidos interconectados, como engranajes y bandas de transmisión. Esta ofrece la capacidad de ajustar la velocidad de rotación de entrada para lograr una velocidad de salida más alta o más baja. Se utiliza en una

amplia gama de aplicaciones, incluyendo turbinas, molinos, generadores, procesos de molienda, entre otros. (Capell JR, 2020)

Tipos de sistema de transmisión

En la tabla 4 se encuentran algunos parámetros representativos y características principales de cada uno de los sistemas de transmisión de movimiento.

Tabla 4

Características de los sistemas de transmisión de movimiento

Tipos	Características
Ruedas de fricción	<p>La transmisión no es exacta.</p> <p>Los deslizamientos o resbalamientos falsean la relación de transmisión.</p> <p>Los ejes giran con distinto sentido, para el mismo sentido se debe colocar una rueda.</p>
Sistema de poleas	<p>Transmisión del 95 al 98% de rendimiento.</p> <p>Transmisión por medio de rozamiento</p> <p>Bajo costo.</p>
Tren de engranajes	<p>Transmite grandes esfuerzos.</p> <p>Transmisión fija y exacta.</p>
Cadenas	<p>Soporta Mayores esfuerzos que las poleas.</p> <p>Necesidad de lubricación y limpieza</p> <p>Aumento de ruido</p> <p>Alto costo</p>

Nota. Esta tabla indica los diferentes modos de transmisión de movimiento y sus características más representativas.


Poleas

Una polea funciona como un punto de apoyo donde una correa se desplaza a lo largo de ella, lo que posibilita la transferencia de movimiento y fuerza, como la generada por un motor o una turbina, hacia otra polea. Esta segunda polea se opone al movimiento que debe ser superado. La tabla 5 proporciona información sobre los distintos tipos de poleas disponibles.

Tabla 5

Tipos de poleas

Tipo	Características	Elemento
Poleas Polirib	Presentan dientes longitudinales de sección trapezoidal. Tienen un perfil delgado y una gran flexibilidad, lo que les permite funcionar en diámetros muy reducidos y alcanzar altas velocidades.	
Poleas trapezoidales	Estas poleas tienen un orificio cilíndrico y se utilizan en conjunto con correas tipo V de sección trapezoidal. La velocidad lineal típica es de aproximadamente 42 m/s para poleas macizas y perforadas, y de 38 m/s para poleas con radios.	
Poleas planas	Estas poleas se emplean para realizar ajustes adicionales en la correa y permitir un ajuste adecuado de la tensión en las transmisiones por correa. También tienen la capacidad de	

Tipo	Características	Elemento
	modificar las trayectorias de las correas y despejar obstrucciones.	
Poleas sincrónicas	Gracias a que posee un ajuste perfecto de los dientes de la correa con los de la polea, estas permiten una transmisión de potencia de alta precisión.	

Nota. Esta tabla indica los tipos de poleas que existen y sus características más representativas. Tomado de (Dinamica, 2019)

Elementos de sujeción




Los elementos mecánicos desempeñan un papel fundamental al fijar y ensamblar diversas piezas y estructuras mecánicas, tanto en aplicaciones dinámicas como estáticas. Además, desempeñan un papel crucial al soportar las reacciones, presiones y vibraciones que pueden presentarse en el funcionamiento del sistema.

A continuación, se detallan algunos elementos de sujeción que pueden ser utilizados en la máquina objeto de estudio:

Remaches

Un remache es un dispositivo utilizado para unir de manera permanente dos piezas. Consiste en un tubo cilíndrico con una cabeza en uno de sus extremos, la cual tiene un diámetro mayor que el resto del remache. Esto permite que, al insertarlo en un agujero, se ajuste correctamente. (Franco, 2021). Los diferentes tipos de remaches, clasificados según su colocación, se detallan en la tabla 6.

Tabla 6*Tipos de remaches*

Tipo	Características	Elemento
Remaches de golpe	Es un método altamente efectivo para unir láminas y perfiles a superficies suaves y fibrosas, como paredes y estructuras. Este tipo de unión, conocido como ciego, es ampliamente utilizado en el sector de la construcción metalmecánica.	
Remaches ciegos	Presentan la ventaja de permitir la unión de piezas que solo tienen acceso a través de un lado en sus agujeros de unión. Se destacan por su resistencia a las vibraciones y a la fatiga.	
Remaches de compresión	Estos elementos de unión consisten en dos componentes independientes: uno con una cabeza y caña maciza y otro con una caña hueca. Cuando se ensamblan, generan cabezas idénticas en ambos extremos.	






Nota. Esta tabla indica los tipos de remaches que se pueden utilizar en una construcción mecánica. Tomado de (Máquinas y herramientas, 2011).





Pernos

Son elementos que tienen filetes enrollados sobre una superficie cilíndrica y son unos de los elementos más utilizados en las máquinas, sirven para unir o asegurar dos o más partes estructurales o de maquinaria, los tipos de pernos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Tipos de pernos

Tipo	Características	Elemento
Perno cabeza hexagonal SAE grado 2	Este tipo de elemento está fabricado en acero de bajo contenido de carbono y se utiliza en aplicaciones que requieren una alta resistencia a la corrosión.	
Perno cabeza hexagonal SAE grado 5	Este elemento está fabricado en acero de bajo contenido de carbono y ha sido tratado mediante revenido y templado. Debido a su alta resistencia a cargas, se utiliza comúnmente en la industria automotriz y metalmecánica.	
Perno cabeza hexagonal SAE grado 8	Está diseñado con acero de medio carbono y templado con una alta resistencia para trabajar en industria automotriz y metalmecánica. Se distingue del perno anterior por presentar seis líneas en su cabeza.	
Perno en acero inoxidable	Son capaces de soportar la corrosión y son apropiados para su uso en sectores industriales que involucran alimentos, textiles y laboratorios. Además, pueden estar en contacto con sales y ácidos sin sufrir deterioro.	
Perno cabeza redonda	Este tipo de perno se caracteriza por tener una cabeza redonda similar a la forma de un hongo, su vástago	

Tipo	Características	Elemento
	<p>presenta un cuello cuadrado que evita la rotación y su base de apoyo es plana. Es comúnmente utilizado para unir madera con madera, madera con cemento o madera con metal.</p>	
<p>Perno Allen con cabeza cilíndrica</p>	<p>Este perno cuenta con una cabeza cilíndrica que incluye un orificio hexagonal en su interior, permitiendo el uso de una llave Allen para apretar o aflojar el perno.</p>	
<p>Perno Allen avellanado</p>	<p>También se emplea en situaciones donde la cabeza del tornillo debe quedar nivelada con la superficie que está uniendo.</p>	
<p>Perno Button</p>	<p>Este tipo de perno está diseñado específicamente para ser apretado con una llave tipo Allen, pero su cabeza redondeada y sin bordes afilados lo hace ideal para lugares con tráfico de personas y objetos.</p>	
<p>Perno prisionero</p>	<p>Este tipo de perno se emplea en situaciones en las que se requiere aplicar un elevado torque de apriete.</p>	





Nota. En esta tabla se indica este elemento de sujeción que se puede encontrar en ensambles de partes mecánicas. Tomado de (Aceropedia, 2021).

Arandelas

Una arandela metálica es una pieza circular delgada con un radio externo e interno. Su función principal es asegurar el sellado hermético de una junta o prevenir el contacto directo entre dos piezas. Los diferentes tipos de arandelas metálicas se detallan en la tabla 8.

Tabla 8

Tipos de arandelas

Tipo	Característica	Elemento
Arandelas planas de hierro	Son las más comunes, y se utilizan sobre todo para proteger tornillos. Pueden presentar diferentes formas: redonda, cuadrada, etc.	
Arandelas de presión	Sirven para prevenir el desgaste de la fijación causado por las vibraciones, se caracterizan por su flexibilidad axial.	
Arandelas dentadas	se componen principalmente de carbono y se utilizan para evitar que la fricción aumente, aflojándose con ello la unión con el material.	
Arandelas bloqueo	Evitan la rotación del dispositivo de anclaje, impidiendo el aflojamiento del tornillo.	




Nota. En esta tabla se indica algunos tipos de arandelos utilizados en el ensamble de piezas mecánicas. Tomado de (Teminsa, 2023).


Chumaceras

Las chumaceras son dispositivos de rodamiento instalados en una estructura con el propósito de proporcionar soporte o servir como ejes de rotación. Los distintos tipos de chumaceras se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Tipos de chumaceras

Tipo	Característica	Elemento
Tensora	Tiene una estructura en forma de "T" y cuenta con una sujeción especial que permite ajustar la tensión. Es comúnmente empleada en aplicaciones de cintas transportadoras para alinear las bandas de manera precisa.	
Pared	Esta chumacera presenta perforaciones en cada una de sus esquinas y se suele instalar de forma permanente en la máquina, asegurándola al piso o al soporte mediante pernos.	
Ovalada	Dispone de dos orificios alineados con el eje de transmisión. Su principal ventaja radica en la posibilidad de ajustarla según las necesidades específicas de su aplicación.	

Tipo	Característica	Elemento
Pedestal	<p>Conocida como chumacera de piso o pie, esta chumacera presenta dos extensiones laterales en forma de orejas que permiten sujetarla al piso o al soporte mediante pernos. Los puntos de fijación se colocan en ángulo recto con respecto al eje de transmisión.</p>	

Nota. En esta tabla se indica diferentes tipos de chumaceras que se pueden encontrar en máquinas. Tomado de (Quintero, 2021).

Sistema de cernido

El proceso de cernido tiene como objetivo separar y clasificar el material molido según el tamaño o densidad de las partículas obtenidas luego de un proceso de molienda o trituración, esto permite la separación de la harina producida del resto de partículas residuales para su posterior procesamiento (IAOM, 2012).

La clasificación del material se realiza mediante la utilización de una o varias cribas, las cuales se seleccionan en función del tamaño de las partículas. Diversos factores influyen en el cribado, como la dirección del movimiento (que puede ser giratorio, circular, vertical, oscilante, rotativo o centrífugo), las características superficiales de la criba, el tamaño de la apertura, la cantidad de superficie, la cantidad de material en la superficie y el movimiento del material en contacto con la superficie. Por lo cual se han diseñado varios elementos de cernido, pero el más adecuado para el sistema de molienda de martillos será una criba de superficie perforada para grano medio (IAOM, 2012).

Cribas

La criba, también conocida como harnero o zaranda, se compone de una amplia superficie delgada fabricada con un material liviano. En toda su área, presenta perforaciones de diferentes formas como cuadradas o circulares, cuyo diámetro varía según la aplicación y el tamaño de grano deseado.

Este dispositivo se utiliza comúnmente para separar el grano, como el trigo, de la paja, el polvo u otros sólidos no deseados que puedan estar mezclados, otra aplicación es la de dejar pasar solo los elementos que cumplan ciertas dimensiones. Su diseño y función permiten realizar esta tarea de manera eficiente y efectiva.

Tipos de cribas

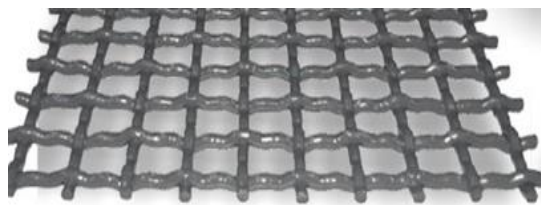
Existen diversos tipos de cribas que se seleccionan según la aplicación, material y el tamaño de grano requerido. A continuación, se presentan algunos ejemplos de dichos tipos de cribas más utilizadas:

Criba cuadrada

Las mallas de alambre con aberturas cuadradas son muy comunes y se destacan por su alta precisión en las aberturas, lo que facilita una clasificación efectiva de los materiales. Además, su amplia área abierta contribuye a aumentar la producción de material procesado de manera significativa (Arturo, 2022).

Figura 20

Criba cuadrada



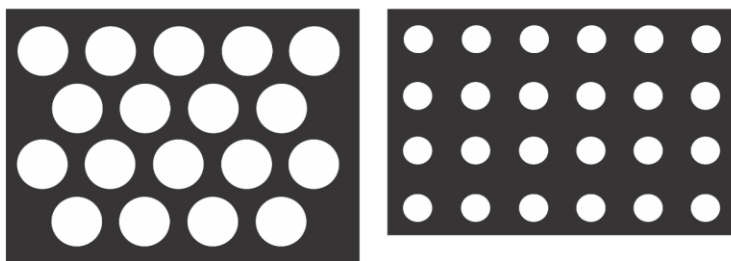
Nota. Tomado de (Arturo, 2022).

Criba perforada

Se puede utilizar materiales perforados para separar o clasificar una gran variedad de materiales, el tamaño de grano final requerido depende del diámetro del que se construyan los agujeros, se puede hacer en diferentes materiales como acero o aluminio (Cribas, 2022).

Figura 21

Cribas con perforación circular



Nota. En la figura se aprecia dos cribas de diferente diámetro de perforación. Tomado de (Cribas, 2022)

Elementos eléctricos

Estos elementos se refieren al conjunto de componentes utilizados en redes y circuitos eléctricos. Estos circuitos pueden dividirse en diferentes elementos eléctricos interconectados mediante conductores de electricidad, cada uno con funciones específicas que afectan diversas variables eléctricas, como el voltaje, la corriente, entre otras. Existen diversos tipos, incluyendo aquellos de protección, control, indicación, etc.

Elementos de protección eléctrica

En todas las instalaciones eléctricas, se incluyen diversos componentes diseñados para proteger otros elementos en caso de fallos o situaciones imprevistas. El objetivo principal es garantizar la seguridad tanto de los equipos valiosos como del personal que interactúa con ellos (Endesa, 2022).

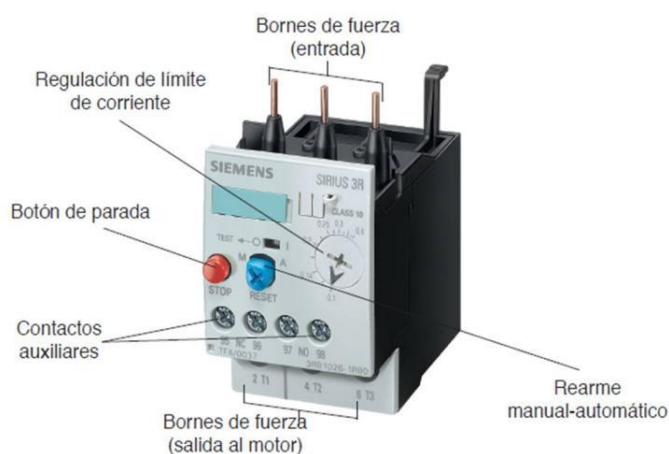
Los elementos de protección más habituales que se pueden encontrar en un circuito eléctrico son los siguientes:

Relé térmico

Es uno de los dispositivos de protección más comunes, capaz de detectar corrientes anormales que suelen producirse por sobrecargas u otras irregularidades, lo que puede resultar en calentamiento y pérdidas de energía. Gracias a este dispositivo, las máquinas e instalaciones pueden operar dentro de parámetros adecuados y evitar daños irreparables a largo plazo. Para su correcto funcionamiento, estos elementos requieren de otro equipo de desconexión que permita desactivar el equipo a proteger (Endesa, 2022).

Figura 22

Partes de un relé térmico marca Siemens



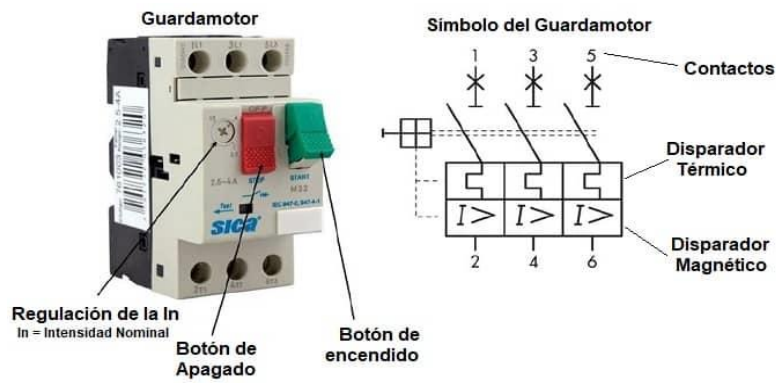
Nota. En la figura se observa un relé térmico. Tomado de (Vasquez, 2018).

Guardamotor

Es un componente de protección empleado en el circuito principal que ofrece la capacidad de encender y apagar motores de forma manual. Además, proporciona protección contra sobrecargas, cortocircuitos y pérdida de fase. La utilización de este dispositivo en las instalaciones eléctricas conlleva ventajas como ahorro en costos de mantenimiento y espacio, y garantiza respuestas rápidas ante cortocircuitos al permitir desenergizar el motor en milisegundos (Transelec, 2023).

Figura 23

Partes de un guardamotor y simbología



Nota. En la figura se observa un guardamotor. Tomado de (AreaTecnologia, 2020)

Interruptor termomagnético

Es un dispositivo de protección que ofrece la capacidad de interrumpir el circuito eléctrico en casos de sobrecargas y cortocircuitos. La selección adecuada de un interruptor termomagnético depende de su curva característica, la cual determina las zonas de desconexión basadas en los efectos térmicos y magnéticos. Esta curva representa el tiempo de respuesta del dispositivo frente a diferentes niveles de corriente (Endesa, 2022).

Figura 24

Interruptor termomagnético marca Schneider



Nota. En la figura se observa un interruptor termomagnético. Tomado de (Eimpesa, 2020).

Elementos de maniobra y control

Son elementos que permiten hacer cambios en las conexiones eléctricas o estados de un determinado circuito como, por ejemplo, pulsadores, interruptores, conmutadores.

Pulsadores

Es un componente eléctrico que, al ser presionado, permite cambiar el estado de un circuito de su posición inicial a otra, y al soltar la presión vuelve a su estado original. Esto implica que el dispositivo solo se mantendrá en una posición específica mientras el operario lo mantenga presionado. Es ampliamente utilizado en tableros de control industrial para iniciar y detener el funcionamiento de las máquinas (AreaTecnologia, 2020).

Figura 25

Pulsadores utilizados en tableros de control



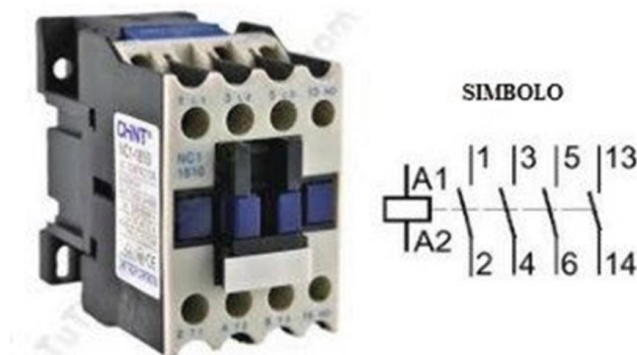
Nota. En la figura se observa pulsadores de control industrial. Tomado de (CHINT, 2023).

Contadores

Es uno de los componentes fundamentales utilizados para realizar operaciones de apertura o cierre en instalaciones eléctricas industriales. Su funcionamiento se asemeja al de un relé, basado en el principio del electromagnetismo, donde se energiza una bobina principal para mover los contactos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC) que posee. Esto permite abrir y cerrar circuitos que llevan cargas con corrientes eléctricas significativas, evitando posibles riesgos para los operarios que manejan este tipo de sistemas en general (NIVIHE S.A, 2021).

Figura 26

Contactor con cuatro contactos y su simbología



Nota. En la figura se observa un contactor de 4 polos. Tomado de (AreaTecnologia, 2020)

Interruptor selector

El interruptor desempeña la función de abrir y cerrar un circuito eléctrico. Esto se logra mediante la rotación de la perilla, lo que permite cambiar entre dos estados y volver al estado original al girar nuevamente. De esta manera, se puede permitir o bloquear el flujo de corriente eléctrica en el circuito.

Figura 27

Interruptor / Selector Eléctrico



Nota. En la figura se observa un interruptor eléctrico. Tomado de (Weg, 2022).

Paro de emergencia

El dispositivo de paro de emergencia es un componente indispensable en cualquier maquinaria para situaciones imprevistas. Consiste en un botón especial que, al ser activado,

permite detener rápidamente el funcionamiento de la máquina hasta que se resuelva el problema en cuestión. Su objetivo principal es garantizar la seguridad y protección tanto de los operarios como de la maquinaria en casos de emergencia (ABB, 2022).

Figura 28

Paro de emergencia con liberación de giro marca Schneider



Nota. En la figura se observa un paro de emergencia. Tomado de (ABB, 2022).

Elementos de fuerza

Motor eléctrico

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica cuando se encuentra activado. Su funcionamiento se basa en los principios de los campos magnéticos, lo que permite que, al ser energizado, el motor pueda impulsar un eje y, a su vez, poner en movimiento otros mecanismos acoplados a él para realizar una función específica. En comparación con los motores de combustión interna, los motores eléctricos presentan ventajas significativas, como su tamaño compacto, alta potencia y un rendimiento superior para realizar diversas tareas.

Existen diversas clasificaciones de motores eléctricos, siendo la principal distinción entre aquellos que funcionan con corriente continua y los que funcionan con corriente alterna. Esta elección depende del tipo de aplicación para el cual se utilizará el motor, así como de las características de alimentación y las fases disponibles en la instalación.

Figura 29

Motor monofásico marca WEG de 3600 RPM



Nota. En la figura se observa un motor eléctrico. Tomado de (Rodaseros, 2020)

Elementos de señalización

Los elementos de señalización desempeñan un papel crucial en las instalaciones eléctricas industriales, permiten conocer el estado de funcionamiento de las máquinas, así como detectar el inicio o finalización de un proceso, e identificar posibles fallas en los mismos. Entre los elementos de señalización más comunes en estas instalaciones se encuentran las luces piloto, sirenas, pulsadores iluminados, lámparas, entre otros. Es fundamental comprender el significado de los diferentes colores utilizados en estos indicadores, cada uno representa un estado específico de funcionamiento.

Figura 30

Elementos de señalización



Nota. En la figura se observa tipos de señalización. Tomado de (ElectroControl, 2020)

Capítulo III

Diseño y construcción de un molino de alfalfa deshidratada

Análisis del entorno de producción

Con el fin de analizar el entorno de la comunidad, en donde se pretende implementar la máquina, es necesario determinar parámetros importantes que se pueden obtener mediante la realización de una encuesta, la cual está en detalle en el Anexo A, esta contendrá preguntas fundamentales que ayudarán a recopilar los datos necesarios para el diseño de la máquina, considerando aspectos económicos, ingenieriles, agropecuarios y del entorno relacionados con el proyecto.

Determinación del número de muestra

En la comunidad “Unión y Trabajo” ubicada en la parroquia de Mulalillo del cantón Salcedo, existen varias familias que se dedican a la actividad agropecuaria referida a la alfalfa, por lo que la población a considerar es de 18 representantes de las diferentes familias. A partir de esto se puede calcular el número de muestra necesario para obtener los datos correspondientes al diseño de la máquina de molienda utilizando la ecuación 1.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

n = *Tamaño de muestra buscado*

N = *Tamaño de Población o Universo*

z = *Parámetro estadístico dependiente del nivel de confianza (NC)*

e = *Error de estimación máximo aceptado*

p = *Probabilidad de que ocurra el evento*

$q = (1 - p)$ = *Probabilidad de que no ocurra el evento*

Según (Muguiru, 2023) “el nivel de confianza mínimo aceptado para considerar una investigación confiable es del 95% en donde el valor correspondiente de $z = 1.96$ ”, por lo cual se tomará en cuenta este valor, considerando una estimación de error de $e = 10\%$, con una probabilidad de que ocurra el evento del 50% por lo que es desconocida.

Con los datos anteriores se procede a reemplazar en la fórmula de determinación de muestra:

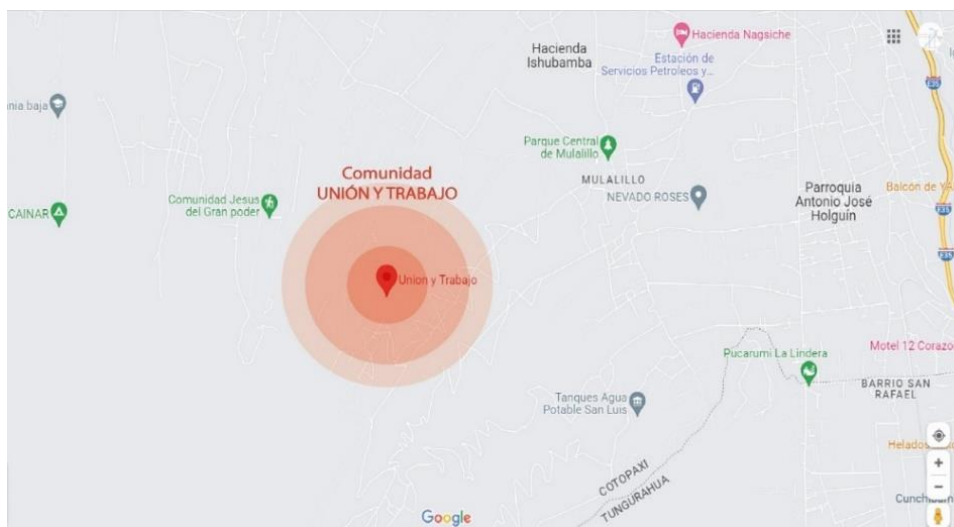
$$n = \frac{18 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (18 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 15 \text{ personas}$$

Según la fórmula utilizada para determinar el tamaño de la muestra, se obtuvo un resultado de 15 individuos de la comunidad que serían suficientes para responder las preguntas planteadas en las encuestas.

Figura 31

Ubicación geográfica de la comunidad “Unión y Trabajo”



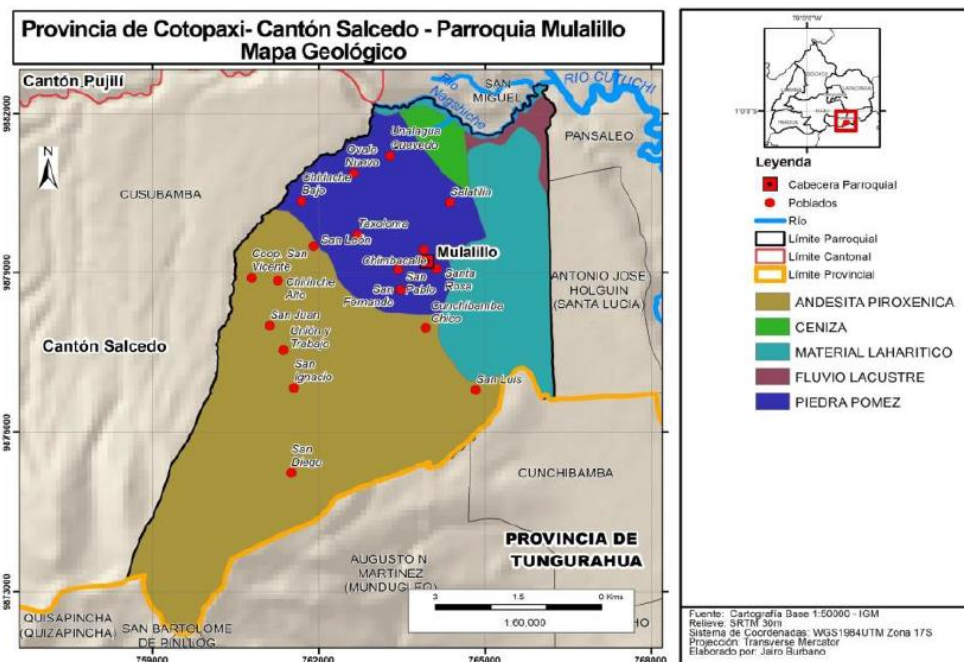
Nota. Se puede identificar en la figura la ubicación de la comunidad estudiada en la parroquia Mulalillo del Cantón Salcedo en la provincia de Cotopaxi. Tomado de (Google Maps, 2023)

Las características geográficas más representativas de la ubicación de la comunidad "Unión y Trabajo" son las siguientes:

Se encuentra ubicada en la parroquia de Mulalillo, limitando con áreas vecinas como Cusubamba, Cunchibamba y Panzaleo. El sistema hídrico que provee agua para riego y consumo humano es el río Nagsiche. Los suelos de la región tienen un origen volcánico, y predominan las áreas moderadamente onduladas con una profundidad media. Estos suelos abarcan la mayor parte de la superficie y presentan una amplia variedad, desde arenosos hasta arcillosos, proporcionando un entorno propicio para la práctica de actividades agrícolas y ganaderas en terrenos planos y escarpados. (Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2020).

Figura 32

Características geográficas de la parroquia de Mulalillo



Nota. Se puede identificar en la figura la ubicación de la comunidad "Unión y Trabajo" junto con sus referencias geográficas más representativas, como ríos, límites y suelos. Tomado de (Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2020).

Datos recopilados de la encuesta

Se recopilaron diversos datos y características a través de una encuesta dirigida a los miembros de la comunidad "Unión y Trabajo" del sector agropecuario en la parroquia de Mulalillo, quienes se dedican a cultivar y cosechar alfalfa y granos de maíz. Estos datos y características serán utilizados como referencias para el diseño y tamaño adecuado de la máquina, considerando también la producción requerida por los comuneros en este entorno específico. Las respuestas obtenidas a cada una de las preguntas formuladas en la encuesta a la población de la comunidad ubicada en Salcedo occidental se encuentran detallados en el Anexo B.

Figura 33

Aplicación de las encuestas en la comunidad "Unión y Trabajo"



Nota. En la figura se observa a los autores realizando las encuestas a los miembros de la comunidad en donde se implementa el molino de alfalfa deshidratada.

En los resultados de la encuesta se destacaron algunos puntos importantes a considerar. Uno de ellos es la necesidad de que la máquina sea liviana para facilitar su movilidad a diferentes lugares donde se llevará a cabo el proceso de molienda. Otro aspecto relevante es que debe ser fácil de limpiar y mantener, de modo que los propios miembros de la

comunidad puedan realizar estas tareas y reemplazar fácilmente las piezas que se desgasten con el tiempo de uso.

Las personas involucradas en el cultivo de alfalfa han destacado que realizan la cosecha correspondiente de esta planta durante un período de 1 a 2 meses, lo que equivale a un promedio de 6 a 7 cortes por año en toda el área sembrada. Cada hectárea cultivada les permite obtener alrededor de 30 toneladas anuales. Es importante señalar que la comunidad ha implementado un enfoque de rotación de cultivos, alternando los sembríos de alfalfa en diferentes momentos, con el objetivo de aumentar el número de cortes por año. En total, la comunidad "Unión y Trabajo" cuenta con al menos 20 áreas de cultivo de alfalfa distribuidas en terrenos pertenecientes a las familias más comprometidas con la sostenibilidad en esta región. Esto les permite realizar aproximadamente 200 cortes en promedio.

Los miembros de esta comunidad manifestaron que utilizan más de 60.000 m² para el cultivo y recolección de alfalfa en sus terrenos. Además, destacan la importancia de recolectarla en su etapa de madurez, es cuando presenta el mayor contenido nutricional. No obstante, debido a la falta de un plan de almacenamiento adecuado, a veces solo cosechan lo necesario para el consumo diario o semanal. Esta situación conlleva el riesgo de que la alfalfa pierda nutrientes importantes si permanece en el campo durante mucho tiempo. Por lo tanto, sería óptimo cosechar toda la alfalfa de manera conjunta cuando alcance su punto de madurez. Aquí se observa una desventaja evidente al cortar y almacenar una gran cantidad de alfalfa de una sola vez, por lo que todo el material recolectado permanece en lugares húmedos y se descompone químicamente. Como resultado, también pierde sus nutrientes, por lo que no se le brinda una conservación adecuada. Por esta razón, es necesario someterlo a un proceso de secado (deshidratación) adecuado para evitar estos problemas. Los usuarios de esta comunidad destinarán aproximadamente entre el 50% y el 60% de su cosecha total a deshidratarlo y tritarlo posteriormente para obtener troceado de alfalfa.

La comunidad manifestó que la forma más común de alimentar a sus animales es mediante la yerba fresca, la cual cortan y suministran directamente. Sin embargo, como alternativa, también utilizan troceado de alfalfa, heno, pellets y maíz triturado, especialmente cuando sus animales están en etapas de desarrollo y crecimiento. La desventaja de estas dos últimas opciones es que necesitan adquirirlos de terceros, por lo que carecen del conocimiento y los recursos necesarios para fabricarlos por sí mismos.

Desde el punto de vista financiero, el sector agropecuario de la comunidad está dispuesto a invertir en el proceso de molienda de alfalfa deshidratada, con un costo aproximado de 1000 dólares en promedio. Se les explicó que este proceso les permitirá obtener un alimento nutritivo y altamente disponible para sus animales. Además, podrán utilizar y vender a otras comunidades vecinas la alfalfa a troceada y maíz triturado como materia prima para la fabricación de pellets o concentrados de alto valor nutricional, lo cual podría incrementar sus ingresos económicos. De esta manera, recuperarían la inversión inicial realizada en la implementación de esta máquina en su comunidad.

La idea inicial era obtener troceado de alfalfa deshidratada, pero durante la visita de campo se identificó que los comuneros también cuentan con plantaciones de maíz. Sin embargo, se encontró que enfrentan un problema debido a la falta de maquinaria para triturar estos granos y mejorar la alimentación de sus animales. Por lo tanto, se decidió implementar una máquina que permita tanto el troceado de la alfalfa como la molienda de los granos de maíz.

Es importante destacar otro punto relevante, el tipo de energía eléctrica disponible en la comunidad, que se utilizará para alimentar y hacer funcionar la máquina. Ellos cuentan con dos valores de voltaje: 110V y 220V. Esta información resulta crucial al momento de seleccionar y dimensionar los componentes eléctricos de la máquina.

Se realizaron preguntas relacionadas con la limpieza y el mantenimiento de la máquina. En primer lugar, se consultó si la comunidad cuenta con agua disponible en el sector, ya sea potable o para riego, es necesario utilizar agua para limpiar la máquina una vez finalizado el proceso de molienda. Además, se consideró importante conocer el entorno en el que la máquina será conservada y utilizada, ya sea al aire libre o bajo techo. En el caso específico de esta comunidad, se informó que la máquina trabajará cerca de los terrenos comunitarios, es decir, en un ambiente abierto. Esta información es crucial para determinar los materiales adecuados que garanticen la durabilidad de la máquina frente a los efectos climáticos del entorno.

Finalmente, se recopilaron datos sobre algunas características que el sector agropecuario requiere para la máquina moledora de alfalfa y maíz. Entre las más destacadas mencionadas por los usuarios se encuentran la necesidad de que sea pequeña, liviana, fácil de movilizar y desarmable para llevar a cabo su correspondiente limpieza y mantenimiento. Para analizar todas las estadísticas obtenidas de las respuestas de la comunidad a cada pregunta se puede revisar el Anexo C.

Análisis de factibilidad de implementación

Las preguntas de la encuesta realizadas a la comunidad del Cantón Salcedo fueron de gran ayuda para determinar si la implementación del molino de alfalfa deshidratada es factible, para este sector de estudio se identificaron ciertos aspectos diferentes relacionados con este proyecto, los cuales son:

Recursos económicos

Desde el punto de vista económico, la comunidad del cantón Salcedo ha expresado su interés en adquirir una máquina capaz de moler alfalfa deshidratada. Están dispuestos a invertir en su implementación, con cifras de inversión que oscilan entre los 500 y 2000 dólares. Se

espera que esta inversión pueda recuperarse en un plazo medio, a partir del momento en que se empiece a utilizar la máquina.

Cosecha y sembríos de alfalfa

En Ecuador, especialmente en la región Sierra, la principal fuente de ingresos económicos proviene de la agricultura y la actividad agropecuaria. En el caso particular de este proyecto, se ha observado una gran actividad relacionada con la siembra, cosecha y procesamiento de las plantaciones de alfalfa y maíz en el sector occidental del cantón Salcedo, ubicado en Cotopaxi. La alfalfa y el maíz son los alimentos más utilizados en el sector ganadero por las comunidades locales.

Por tanto, es viable invertir en esta actividad económica e industrializar el sector, mediante la automatización de los procesos, con el objetivo de mejorar la calidad del producto, aumentar la producción y reducir el tiempo requerido para cada una de las tareas llevadas a cabo por los miembros de la comunidad.

Mercado

Según los miembros de las comunidades que se dedican a la siembra y cosecha de alfalfa, pueden obtener de 5 a 6 cortes de alfalfa por año y cierta vez 7 cortes cuando las condiciones climatológicas son las más favorables. Además, manifestaron que de la comida que utilizan para sus animales, la mitad es de alfalfa y la otra parte es de maíz.

El porcentaje de la cosecha destinado a la deshidratación y obtención de alfalfa troceada se sitúa entre el 50% y el 60%. El resto se utiliza para distribuir en diferentes lugares con el propósito de ser utilizado como alimento instantáneo para animales y en otros procesos derivados.

Es importante destacar que los precios tanto de los granos de maíz y alfalfa procesada aumentan su costo. La alfalfa convertida en troceado de alfalfa puede experimentar un aumento de tres veces su valor original. Además, otros productos como los pellets pueden

alcanzar precios de más de cinco veces el valor de la alfalfa sin procesar. Estos valores de mercado se detallan en la tabla 10:

Tabla 10

Precio de algunas formas de distribuir alfalfa

Forma de venta	Precio en baja demanda	Precio en alta demanda
Alfalfa fresca (40 Kg)	\$6	\$7
Pacas de alfalfa deshidratada (40Kg)	\$10	\$14
Costal de alfalfa troceada (40Kg)	\$18	\$22
Cubos de alfalfa (40Kg)	\$26	\$28
Costal de Pellets (40Kg)	\$32	\$38

Nota. En esta tabla se indica las formas más comunes del sector agrícola de Salcedo para comercializar la alfalfa y su respectivo precio.

Figura 34

Principales formas de distribuir la alfalfa



Nota. En la figura se observa el aspecto de: a) Alfalfa henificada, b) cubos de alfalfa, c) troceado de alfalfa, d) Pellets de alfalfa.

Empleo

La mayoría de las comunidades del cantón Salcedo dependen principalmente de la actividad agropecuaria como fuente de ingresos. Sin embargo, al distribuir sus productos directamente cosechados no obtienen ganancias representables que ayude a crecer a la comunidad en general, por lo cual, si estas comunidades se organizan, podrán aprovechar la oportunidad de vender y distribuir los excedentes del troceado de alfalfa y maíz triturado a las comunidades vecinas.

El troceado puede ser utilizada tanto como alimento directo o como materia prima en la producción de pellets o concentrados energéticos, lo que brinda un valor agregado y crea empleo tanto directo como indirectamente, se necesitará personal para realizar estos procesos de molienda.

Despliegue de la función de la calidad

Para la evaluación de datos, se emplea una herramienta que toma en cuenta los requisitos y necesidades de los usuarios de la comunidad a la que está dirigida la máquina de molienda. Estos datos se utilizan para generar parámetros de diseño desde el punto de vista ingenieril, garantizando así la calidad necesaria del producto final desde diversas perspectivas involucradas.

La casa de la calidad

Según las cuatro fases del desarrollo del QFD (Despliegue de la Función de Calidad), la primera matriz utilizada es la "Casa de la Calidad". Esta matriz tiene como objetivo traducir las demandas de los usuarios, también conocida como la "voz del cliente", en requerimientos técnicos específicos del producto. Consta de 6 pasos y se muestran en la tabla 11.

Tabla 11*Pasos de la casa de la calidad*

N°	Nombre	Descripción
1	Voz del usuario	Explica las exigencias, requerimientos y preferencias de los usuarios.
2	Análisis de competitividad	Indica la satisfacción del usuario en relación al producto o servicio de la empresa en comparación con los ofrecidos por la competencia, según su perspectiva.
3	Voz del ingeniero	Describe los requisitos técnicos que deben adaptarse con el fin de cumplir con las necesidades de los usuarios de manera satisfactoria.
4	Correlaciones	Se establece una conexión entre la opinión del usuario y la perspectiva del ingeniero, estableciendo una correlación entre ambas.
5	Comparación técnica	Compara el producto de la empresa y los ofrecidos por la competencia en el mercado.
6	Compromisos técnicos	Define las obligaciones existentes y posibles entre las diversas características técnicas del producto.

Nota. Esta tabla indica los pasos para elaborar la herramienta de la casa de la calidad que se deben seguir para encontrar la factibilidad de un producto. Tomado de (IONOS, 2020).

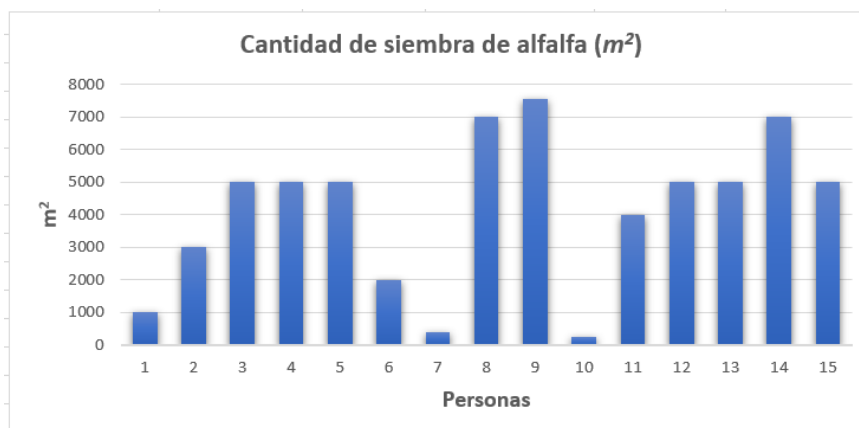
Voz del usuario

Según los resultados obtenidos de la encuesta realizada, que recopiló información sobre las preferencias de los usuarios con respecto a las características de la máquina de molino de martillos, se tomaron en consideración las preguntas 1,2, 3, 8 y 10, y se obtuvieron los siguientes resultados:

El resultado de la pregunta 1 “¿Qué cantidad de terreno en m^2 utiliza para la siembra de alfalfa?” se observa en la figura 35.

Figura 35

Cantidad de terreno en m^2 de siembra de alfalfa



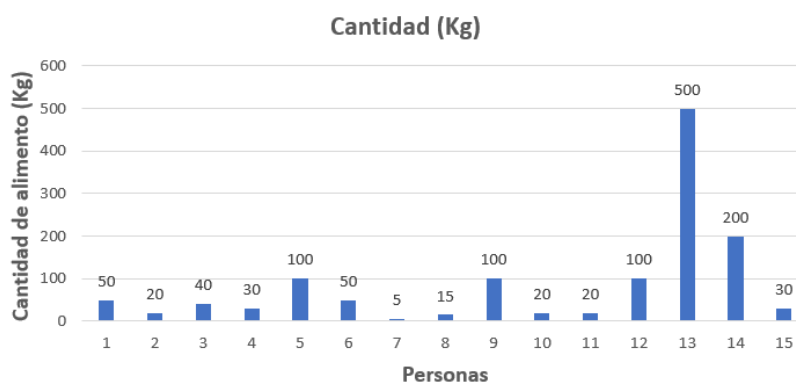
Nota. La figura representa la cantidad de área de terreno que utiliza cada familia encuestada para la siembra de alfalfa.

De acuerdo a las encuestas realizadas a las 15 familias de la comunidad, se establece que el área de sembrío de alfalfa máxima es de $7560 m^2$ y mínima es de $250 m^2$. Obteniendo como resultado la suma de todos los terrenos de la comunidad ubicada en Salcedo cuenta aproximadamente con $62210 m^2$ de sembríos de alfalfa.

El resultado de la pregunta 2 “¿Qué cantidad de alimento utiliza para sus animales al día?” se observa en la figura 36.

Figura 36

Cantidad de alimento diario utilizado en la alimentación ganadera



Nota. La figura representa la cantidad de alimento en Kg que cada miembro de la comunidad utiliza diariamente para sus animales.

Para obtener la frecuencia de alimentación y el promedio de alimento que utiliza la comunidad para alimentar a sus animales se realiza en la tabla 12.

Tabla 12

Frecuencia de alimentación diaria de los animales de la comunidad

x	f	Fr	%	(x)(f)
5	1	0,067	6,67	5
15	1	0,067	6,67	15
20	3	0,200	20,00	60
30	2	0,133	13,33	60
40	1	0,067	6,67	40
50	2	0,133	13,33	100
100	3	0,200	20,00	300
200	1	0,067	6,67	200
500	1	0,067	6,67	500
Total	15	1	100	1280
			Promedio	85,33

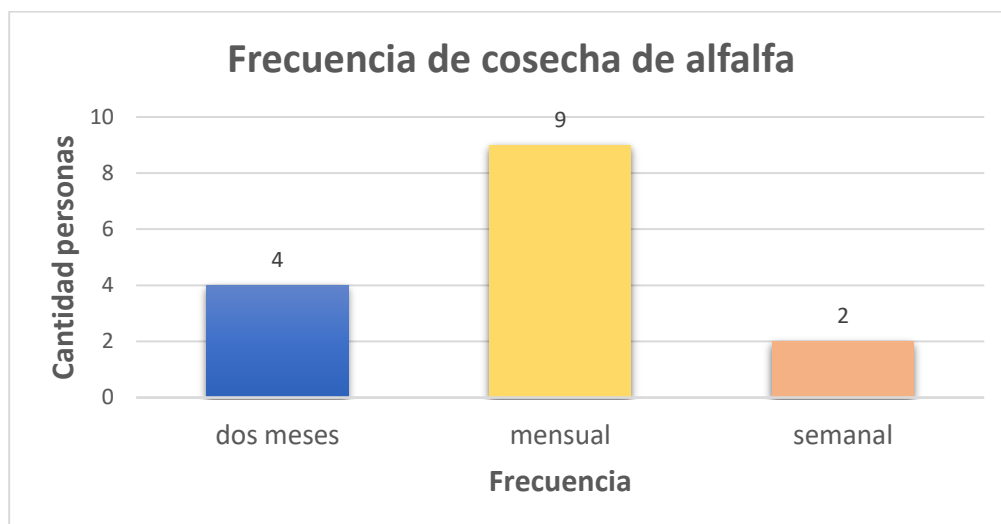
Nota. En la tabla se observa la frecuencia de alimentación de los animales.

De la tabla 12 se observa que el valor máximo de comida utilizada al día es de 500 Kg y la menor cantidad es de 5 Kg al día, dando un promedio de 85.3 Kg de alimento que utiliza cada persona encuestada de la comunidad, esto indica que en general si utilizan un valor representativo de alimento para todos sus animales, por lo que sí es factible buscar alternativas de conservación y procesamiento tanto de la alfalfa como los granos de maíz.

El resultado de la pregunta 3 “¿Cada cuánto tiempo se realiza la cosecha de alfalfa?” se observa en la figura 37.

Figura 37

Frecuencia de actividad de cosecha de alfalfa



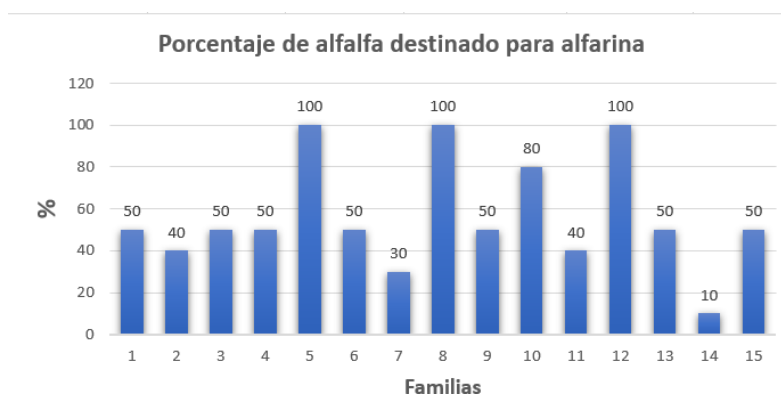
Nota. La figura representa la frecuencia con la que los comuneros realizan cosechas de alfalfa considerables en sus terrenos.

De acuerdo a los datos recopilados de la pregunta 3 se estable que el 60% de las familias realizan la cosecha mensualmente, lo que es un indicio necesario para saber con qué frecuencia podría trabajar la máquina.

El resultado de la pregunta 8 “¿Qué porcentaje de su cosecha de alfalfa utilizaría para la molienda?” se observa en la figura 38.

Figura 38

Porcentaje de alfalfa destinado para molienda



Nota. La figura representa el porcentaje que cada familia estaría dispuesta a utilizar para la molienda y obtención de troceado de alfalfa.

A continuación, se realiza una tabla en la cual se aprecia la frecuencia de cada porcentaje de disponibilidad de alfalfa para la respectiva molienda:

Tabla 13

Frecuencia de disponibilidad de alfalfa para molienda

x	f	Fr	%	x*f
10	1	0,067	6,67	10
30	1	0,067	6,67	30
40	2	0,133	13,33	80
50	7	0,467	46,67	350
80	1	0,067	6,67	80
100	3	0,2	20	300
Total	15	1	100	850
			Promedio	56,67

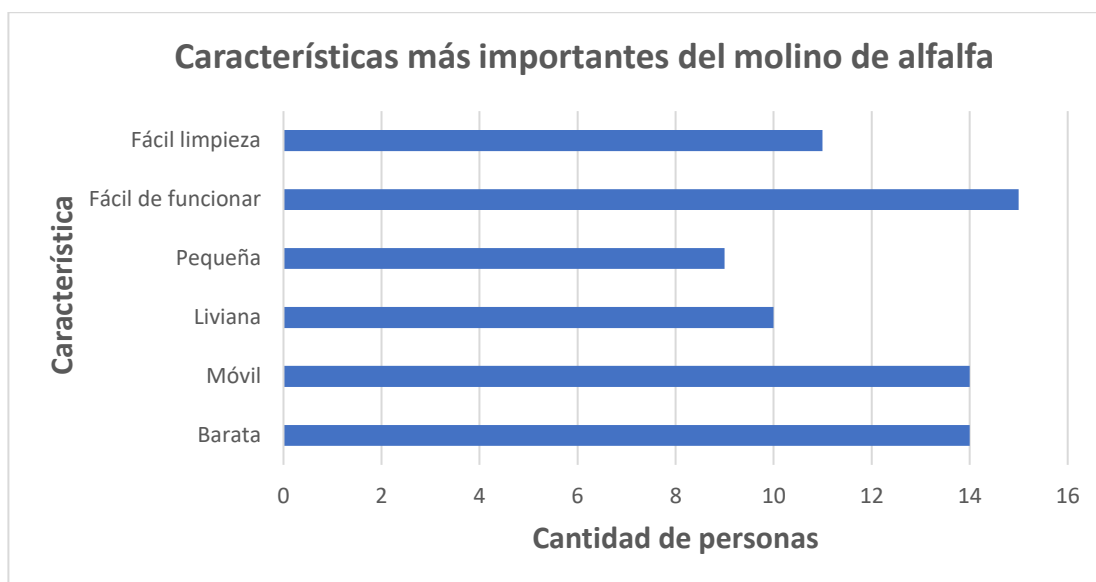
Nota. En la tabla se observa la cantidad de materia disponible para moler.

De acuerdo con los datos recopilados de la tabla 13 se considera que las familias dispondrán de un 56.70% en promedio de la cosecha para crear troceado de alfalfa.

El resultado de la pregunta 10 “Le gustaría que su máquina para obtener troceado de alfalfa sea:” se observa en la figura 39.

Figura 39

Características del molino de alfalfa



Nota. En la figura de barras se visualiza las características más importantes del molino para los miembros de la comunidad.

Entre las características más importantes requeridas por los usuarios de la comunidad se obtiene que las más destacadas están en que sea de bajo costo, móvil, fácil de funcionar y fácil limpieza.

Voz del ingeniero

En este apartado se analiza las necesidades que manifiestan los usuarios y posteriormente se les asigna una variable o indicador medible para poder solucionarla como se indica en la tabla 14.

Tabla 14*La voz del ingeniero*

Necesidad del usuario	Voz del ingeniero
Barato	Gama media de materiales
Liviana	Densidad de materiales
Fácil de funcionar	Sistema de operación sencillo
Móvil	Piezas desmontables
Pequeña	Dimensiones de la máquina
Fácil limpieza	Estructura de fácil acceso
Grosor de grano medio	Tamaño de cribas
Molienda rápida	Número de martillos
Mucha cantidad (producto triturado)	Motor eléctrico

Nota. En esta tabla se observan los requerimientos del usuario en la máquina y la respectiva característica ingenieril que propone el ingeniero.

Análisis de competitividad

En este apartado se debe comparar a empresas líderes en la producción de molinos de diversos modelos y distintas capacidades de las cuales se tomó máquinas con características similares que se pueden identificar en la tabla 15, sus especificaciones serán ponderadas con un valor entre 1 a 5 para ingresarlas a la matriz de la Casa de la Calidad.

Tabla 15

Características de las máquinas de competencia

Especificaciones	Competencia 1	Competencia 2
Marca y modelo	MAQUINOVA MMQ16	VEYCO MMV06
Figura de la maquinaria		
Dimensiones de cámara de molienda	400mmx600mm	150mmx250mm
Motor	10 HP	3 HP
Velocidad de giro	1700 rpm	1750 rpm
Peso	200 kg	70 kg
Producción	500-1000 Kg/h	50-300 Kg/h
N° martillos	32	16
Precio	\$1850	\$1230

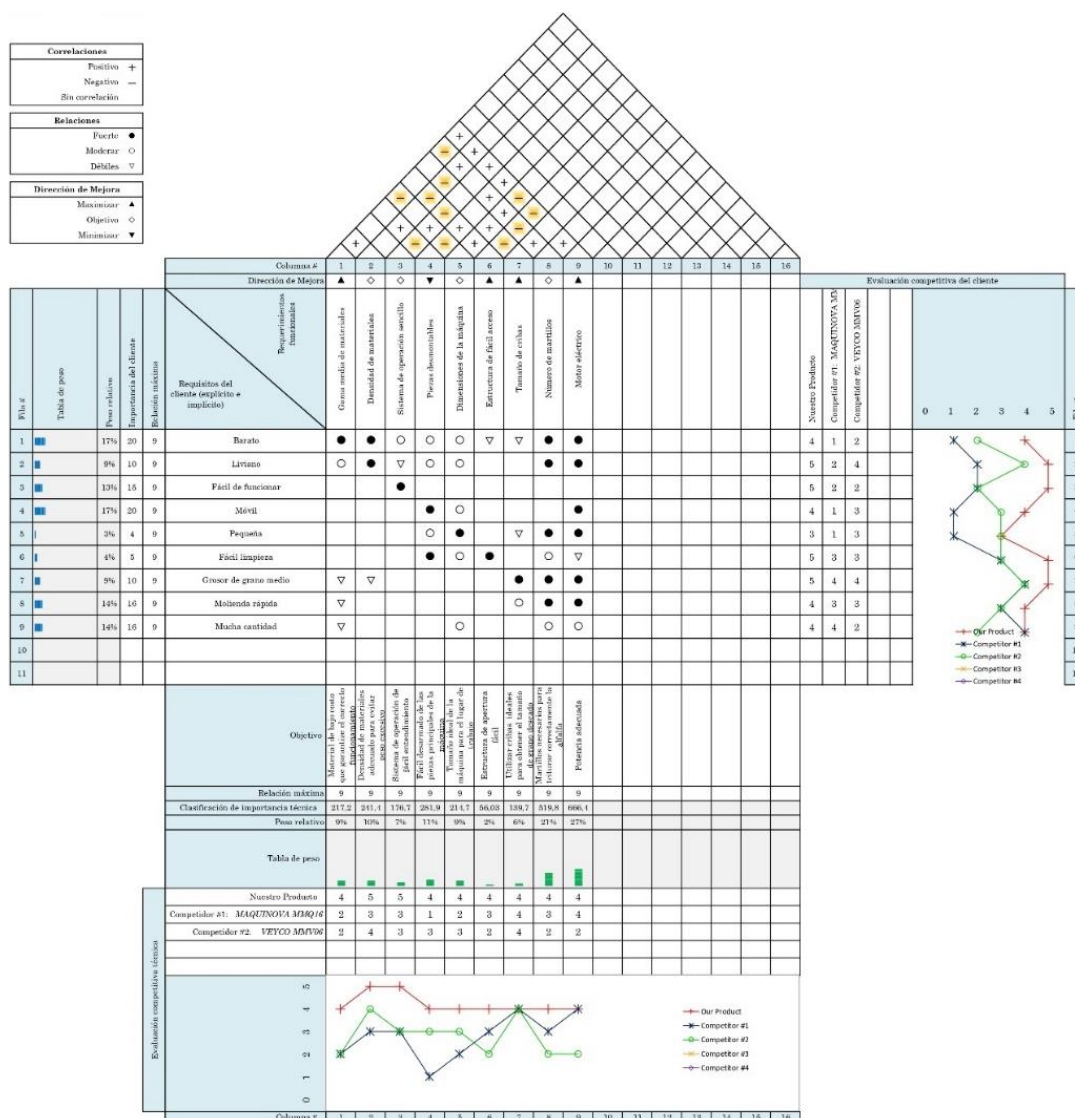
Nota. En esta tabla se presentan las características de las máquinas de competencia que se toman en cuenta para la comparación con la máquina a construir.

Elaboración de la casa de la calidad

En la casa de la calidad se analizan los dos puntos de vista, tanto del lado del cliente como el del ingeniero, y se llega a un acuerdo para dar solución y satisfacer las necesidades del cliente dentro de los parámetros técnicos que considera la voz del ingeniero.

Figura 40

Casa de la calidad del molino de alfalfa deshidratada



Nota. En la figura se observa la matriz de la casa de la calidad que se realizó referente a las necesidades del cliente y perspectiva ingenieril para la construcción de la máquina.

La matriz de la casa de la calidad referente al molino de alfalfa deshidratada en tamaño completo y con todos los detalles especificados se pueden apreciar en el Anexo D.

Resumen de la casa de la calidad

Concluida la casa de calidad se obtiene valores de gran importancia los cuales se refieren a las variables más importante a considerar para el diseño de la máquina según la encuesta realizada a las personas de la comunidad.

En la estructura de la casa de la calidad se obtiene el requerimiento y necesidad más importante para el usuario y se muestra la ponderación de cada una de ella en la tabla 16.

Tabla 16

Necesidades del cliente

Necesidad del usuario	Peso relativo (%)
Barato	17%
Móvil	17%
Molienda rápida	14%
Mucha cantidad	14%
Fácil de funcionar	13%
Liviano	9%
Grosor de grano medio	9%
Fácil limpieza	4%
Pequeña	3%

Nota. Esta tabla indica el peso relativo de cada requerimiento del usuario en orden descendente obtenido de la casa de la calidad.

De acuerdo al peso de las necesidades con relación al resto se observa 4 necesidades principales en las cuales se debe tomar hincapié como se puede observar en la tabla 17.

Dentro del análisis de comparación con los competidores 1 y 2, el diseño propuesto se adapta de mejor manera a los requerimientos de los usuarios.

Tabla 17

Requerimientos funcionales

Requerimientos funcionales	Peso relativo %
Motor eléctrico	27%
Número de martillos	21%
Piezas desmontables	11%
Densidad de materiales	10%
Gama media de materiales	9%
Dimensiones de la máquina	9%
Sistema de operación sencillo	7%
Tamaño de cribas	6%
Estructura de fácil acceso	2%

Nota. En esta tabla se indica el peso relativo de cada requerimiento funcional del molino de martillos obtenido de la casa de la calidad.

Con los datos obtenidos utilizando la herramienta de la casa de la calidad se realiza el siguiente análisis textual de cada requerimiento funcional:

Motor eléctrico: con el fin de mantener un nivel óptimo de eficiencia en el proceso de molienda y producción de troceado de alfalfa, se emplea un motor eléctrico con una potencia adecuada.

Número de martillos: es necesario disponer de múltiples martillos para lograr que la alfalfa deshidratada sea sometida a un mayor número de impactos, lo cual permite triturarla de manera más rápida y obtener un tamaño de grano más fino.

Piezas desmontables: Con el fin de que se pueda realizar un fácil mantenimiento, limpieza y movilización, la máquina debe contar con un sistema de ensamble sencillo, pero sin descuidar su seguridad y robustez una vez ensamblada.

Densidad de materiales: Para una mayor facilidad al momento de transportar el molino de martillos se selecciona materiales que no generen un peso excesivo en la máquina y presente complicaciones.

Gama media de materiales: este es un factor el cual determina el costo final de la máquina, si es elevado no será accesible económicamente para los miembros de la comunidad.

Dimensiones de la máquina: Esta variable es importante por lo que se necesita que el molino de alfalfa y maíz sea de tamaño óptimo para poder transportarlo a los diferentes terrenos de la comunidad.

Especificaciones técnicas (Cuadro, C, I, D, R)

Utilizando el análisis de deseo (D) o requerimiento (R) se obtiene las características para el diseño del molino de martillos para la obtención del material triturado, las propuestas pueden ser en base al cliente (C) o a la ingeniería (I). En este análisis se consideran varios aspectos que ayuden a cumplir los requerimientos del usuario como se observa en la tabla 18.

Tabla 18

Especificaciones técnicas del molino de martillos

Especificaciones	Propone	D/R	Características
Función	C	D+R	Obtener molienda de alfalfa y granos de maíz después del proceso de molienda.
	C	D+R	Obtener troceado de alfalfa y molienda de maíz de grano medio.
	I	R	Alta eficiencia en el proceso de molienda de los materiales.
	I	D+R	Obtención de troceado de alfalfa y maíz en gran cantidad en poco tiempo.
Dimensión	I	R	La estructura de la máquina debe tener medidas accesibles para la movilidad.
Materiales	C+I	D	Los materiales de la máquina deben ser de baja densidad para que su peso no sea excesivo.
	I	R	Pintura anticorrosiva
Alimentación eléctrica	C+I	R	El motor debe ser alimentado con una fuente de 220 voltios para su funcionamiento.

Especificaciones	Propone	D/R	Características
Mantenimiento	I	R	Fácil desarmado para el mantenimiento.
Seguridad	C+I	R	Protección en las zonas de alto riesgo (Sistema de transmisión de movimiento, cámara de molienda y panel de control eléctrico).
Costos	I	R	Protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos.
	I	R	Paro de emergencia.
	C+I	D+R	Estructura robusta.
	C	D	Bajo costo para su adquisición.
	C+I	D+R	Fácil de manipular.
	I	D+R	Bajo consumo energético.
	C+I	D	Alta disponibilidad de repuestos.
	C	D	Bajo costo para la limpieza y de mantenimiento.

Nota. En esta tabla se indica las especificaciones técnicas de la máquina con las respectivas características a considerar.

Estructura funcional

Una estructura funcional engloba un modelo o conjunto que puede agrupar, dividir, subdividir y organizar las diversas tareas o funciones realizadas en conjunto para lograr un objetivo final general, con lo cual se puede llegar a resolver distintos problemas en el área de diseño o tener una mejor perspectiva de la ubicación de cada subfunción para cumplir con la actividad deseada (Minsal Pérez & Pérez Rodríguez, 2007).

Las etapas o pasos para desarrollar una estructura funcional se detallan en los siguientes ítems:

- Establecer y organizar las actividades necesarias dentro del sistema para lograr un objetivo final.
- Agrupar las actividades identificadas en áreas funcionales estratégicas con características similares.
- Determinar el flujo y secuencia de cada grupo de actividades para que cumplan su función requerida.
- Diseñar y proporcionar los mecanismos necesarios para coordinar eficientemente todas las actividades independientes en conjunto, es decir el flujo correspondiente para lograr realizar una acción que conlleva a otra.

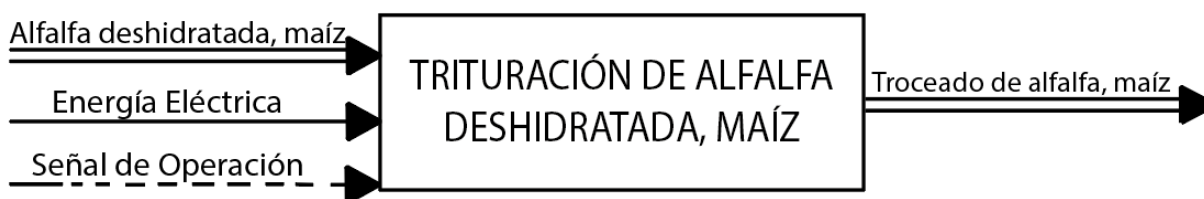
Se debe realizar un modelo esquemático en donde se indique la relación de las diferentes etapas de procesos entre sí, tomando en cuenta los flujos de entrada y salida para cada una de las etapas, utilizando diferentes símbolos que representan el flujo del diagrama en general.

La simbología de los elementos que se utilizan para representar una estructura funcional se puede identificar en la tabla 19.

Tabla 19*Elementos de la estructura funcional*

Elemento	Simbología
Función	Rectángulo en línea continua
Flujo de material y dirección	Flecha de doble línea continua
Flujo de energía y dirección	Flecha de línea continua
Flujo de señal y dirección	Flecha de línea discontinua
Sistema, subsistema, módulo	Polígono de línea de punto y raya

Nota. En esta tabla se indican la simbología a utilizar en la elaboración del análisis funcional y diagrama de subfunciones del molino de martillos. Tomado de (Romeva, 2002)

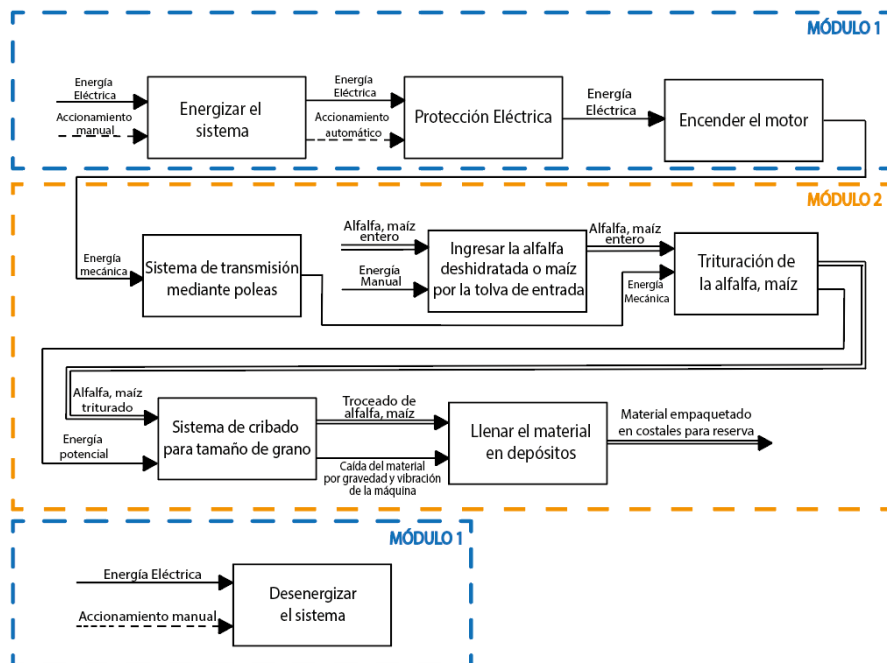
Figura 41*Análisis funcional del molino de martillos*

Nota. En la figura se observa los flujos principales que interviene en la funcionalidad del molino de martillos.

La funcionalidad general de este proceso se la puede descomponer en dos etapas, la primera etapa consta de las subfunciones de la parte eléctrica y la segunda etapa tiene parte de las subfunciones relacionadas con la parte mecánica. El diagrama de las subfunciones que intervienen en el proceso total se puede observar en la figura 42.

Figura 42

Diagrama de subfunciones del molino de martillos



Nota. En la figura se observa las subfunciones pertenecientes al molino de martillos.

Tabla 20

Subfunciones del molino de alfalfa deshidratada

Subfunción	Elementos
Energizar el sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor • Pulsador • Selector con Llave
Protección eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor Termomagnético • Guardamotor • Relé térmico
Encendido del motor	<ul style="list-style-type: none"> • Contactador • Motor eléctrico

Subfunción	Elementos
Sistema de transmisión mediante poleas	<ul style="list-style-type: none"> • Poleas • Banda
Ingreso de la alfalfa deshidratada por la tolva de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Tolva piramidal • Tolva cónica • Tolva cuadrada inclinada
Trituración de la alfalfa	<ul style="list-style-type: none"> • Martillos fijos • Martillos oscilantes
Sistema de cribado para tamaño de grano	<ul style="list-style-type: none"> • Cribas de grano grueso • Cribas de grano mediano • Cribas de grano fino
Llenado del material en depósitos	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja inclinada
Desenergizar del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsador • Interruptor • Llave

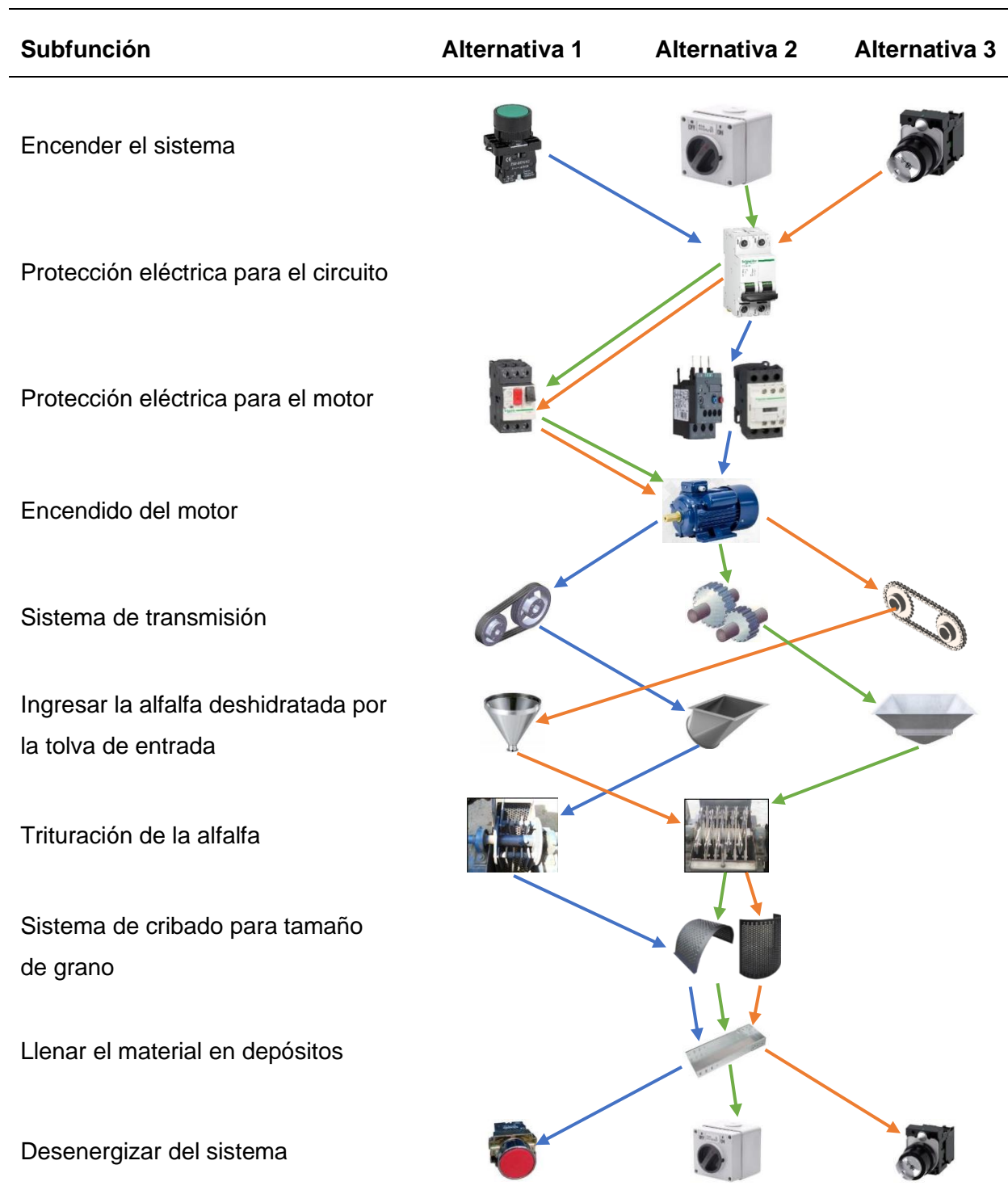
Nota. En esta tabla se indican las subfunciones de la máquina.

Matriz morfológica

La matriz morfológica es una herramienta que facilita la selección de los componentes y elementos más adecuados para llevar a cabo cada subfunción necesaria para lograr el objetivo de la función principal. Mediante este análisis, es posible evaluar y elegir entre una lista de elementos con características similares, para determinar cuáles de ellos cumplen de manera más efectiva su propósito, y así decidir cuáles utilizar en el diseño del molino de alfalfa deshidratada. En la tabla 21 se detallan las subfunciones que intervienen en la molienda.

Tabla 21

Elaboración de la matriz morfológica



Nota. Esta tabla indica las tres alternativas propuestas para cada subfunción de la máquina.

Planteamiento de alternativas de solución

Se evaluaron tres opciones de componentes, tanto eléctricos como mecánicos, para ser utilizados en el diseño y construcción del molino de alfalfa deshidratada.

A continuación, se detallan las características de cada una de las 3 alternativas escogidas inicialmente.

Alternativa 1

La primera alternativa para energizar el sistema implica el uso de un pulsador de color verde, seguido de la protección del circuito principal que consta de un interruptor termomagnético para detectar sobrecargas. Además, en esta opción se emplea un contactor y un relé térmico que se encargarán de dar marcha y proteger al motor eléctrico para mantener los parámetros adecuados de funcionamiento.

En cuanto a la parte mecánica, se utiliza una transmisión por poleas y banda. La alimentación de la alfalfa seca se realiza a través de una tolva cuadrada inclinado un cierto ángulo.

La trituración de la alfalfa y maíz se lleva a cabo mediante martillos oscilantes y se utilizan cribas de grano medio. También se utiliza una bandeja inclinada para el llenado del material triturado en los depósitos. Por último, para desactivar el sistema, se utiliza un pulsador plástico de color rojo.

Alternativa 2

La segunda alternativa para energizar el sistema involucra el uso de un interruptor de dos posiciones, seguido de la protección eléctrica del circuito principal mediante un interruptor termomagnético. En esta opción, se utiliza un guardamotor que cumple la función de energizar y proteger al motor eléctrico.

En cuanto a la parte mecánica, se emplea una transmisión por engranajes. El ingreso de la alfalfa seca se realiza a través de una tolva piramidal. La trituración de la alfalfa se lleva a cabo mediante martillos fijos y se utilizan cribas de grano medio.

Asimismo, se utiliza una bandeja inclinada para el llenado del material en los depósitos. Por último, para desactivar el sistema, se utiliza el mismo interruptor de dos posiciones.

Alternativa 3

En la tercera alternativa, se emplea un interruptor con llave para la energización del sistema, seguido de la protección eléctrica del circuito principal, el cual está compuesto por un interruptor termomagnético. Posteriormente, se utiliza un guardamotor que cumple la función de energizar y proteger al motor eléctrico.

En cuanto a la parte mecánica, se utiliza una transmisión por cadena y catalinas. La alimentación de la alfalfa seca se realiza a través de una tolva cónica. La trituración de la alfalfa y maíz se lleva a cabo mediante martillos fijos y se utilizan cribas de grano medio.

Además, se utiliza una bandeja inclinada para el llenado del material triturado en los depósitos. Por último, para desactivar el sistema, se utiliza el mismo interruptor con llave.

Selección de la alternativa adecuada

De las alternativas previamente establecidas para el diseño y construcción del molino de alfalfa, se selecciona la más adecuada utilizando una herramienta de ponderación basada en criterios específicos.

Esta herramienta de ponderación consiste en una tabla en la que se enumeran los criterios de solución en filas y columnas. Se comparan los criterios uno a uno, asignándoles valores de 1 si la solución de la fila es mejor que la de la columna, 0.5 si son iguales y 0 si la solución de la fila es peor que la de la columna.

Tabla 22

Método de criterios ponderados

	Gama media de materiales	Densidad de materiales	Sistema de operación sencillo	Piezas desmontables	Dimensiones de la máquina	Estructura de fácil acceso	Tamaño de cribas	Número de martillos	Motor eléctrico	$\Sigma+1$	Ponderación
Gama media de materiales	-	0.5	0.5	1	0.5	1	1	0	0.5	6	0.133
Densidad de materiales	0.5	-	1	1	0.5	0.5	1	0	0	5.5	0.122
Sistema de operación sencillo	0.5	0	-	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	5	0.111
Piezas desmontables	0	0	0.5	-	0.5	0.5	1	0.5	0	4	0.089
Dimensiones de la máquina	0.5	0.5	0.5	0.5	-	0.5	1	0.5	0	5	0.111
Estructura de fácil acceso	0	0.5	0	0.5	0.5	-	1	0.5	0.5	4.5	0.100
Tamaño de cribas	0	0	0.5	0	0	0	-	0	0	1.5	0.033
Número de martillos	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	-	0.5	6.5	0.144
Motor eléctrico	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	-	7	0.156
										45	

Nota. En la tabla se puede identificar el método de criterios ponderados.

Tabla 23*Evaluación del criterio "Gama media de materiales"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	0.5	2.5	0.417
Alternativa 2	0	-	1	2	0.333
Alternativa 3	0.5	0	-	1.5	0.250
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 24*Evaluación del criterio "Densidad de materiales"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
	1				
Alternativa 1	-	1	1	3	0.500
Alternativa 2	0	-	0.5	1.5	0.250
Alternativa 3	0	0.5	-	1.5	0.250
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 25*Evaluación del criterio "Sistema de operación sencillo"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.500
Alternativa 2	0	-	0.5	1.5	0.250
Alternativa 3	0	0.5	-	1.5	0.250
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 26*Evaluación del criterio "Piezas desmontables"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.500
Alternativa 2	0	-	0	1	0.167
Alternativa 3	0	1	-	2	0.333
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 27*Evaluación del criterio "Dimensiones de la máquina"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	0.5	2.5	0.417
Alternativa 2	0	-	0	1	0.167
Alternativa 3	0.5	1	-	2.5	0.417
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 28*Evaluación del criterio "Estructura de fácil acceso"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.500
Alternativa 2	0	-	0	1	0.167
Alternativa 3	0	1	-	2	0.333
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 29*Evaluación del criterio "Tamaño de cribas"*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0.5	0.5	2	0.333
Alternativa 2	0.5	-	0.5	2	0.333
Alternativa 3	0.5	0.5	-	2	0.333
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 30*Evaluación del criterio Número de martillos*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.500
Alternativa 2	0	-	0.5	1.5	0.250
Alternativa3	0	0.5	-	1.5	0.250
Suma					

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 31*Evaluación del criterio “Motor eléctrico”*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0.5	0.5	2	0.333
Alternativa 2	0.5	-	0.5	2	0.333
Alternativa 3	0.5	0.5	-	2	0.333
Suma				6	

Nota. En la tabla se puede identificar la evaluación de criterios ponderados.

Tabla 32*Conclusión y selección de propiedades*

Alternativa	Gama media de materiales	Densidad de materiales	Sistema de operación sencillo	Piezas desmontables	Dimensiones de la máquina	Estructura de fácil acceso	Tamaño de cribas	Número de martillos	Motor eléctrico	$\Sigma+1$	Prioridad
1	0.417	0.500	0.500	0.500	0.417	0.500	0.333	0.500	0.333	5	1
2	0.333	0.250	0.250	0.167	0.167	0.167	0.333	0.250	0.333	3.25	3
3	0.250	0.250	0.250	0.333	0.417	0.333	0.333	0.250	0.333	3.74	2

Nota. Esta tabla indica la alternativa que tiene más consideración para tomar en cuenta en la priorización.

Finalmente se puede concluir que la alternativa con más prioridad para utilizar en el diseño y construcción del molino de alfalfa deshidratada es la primera opción.

Consideraciones generales de diseño

En este apartado, se llevará a cabo el diseño de los distintos elementos de máquinas y la selección de materiales apropiados para la aplicación del molino de martillos oscilantes. Esto forma parte del conjunto de componentes de la parte mecánica. Asimismo, se dimensionarán y seleccionarán los dispositivos eléctricos adecuados para el funcionamiento del molino dentro de los parámetros requeridos en la parte eléctrica.

Selección del motor

Utilizando los datos obtenidos de las encuestas realizadas en la comunidad estudiada, se ha confirmado que cuentan con suministro eléctrico de 110V y 220V. Además, según (Bermeo, 2014), teniendo en cuenta los diseños de fabricantes de máquinas de molienda, acerca de que la velocidad angular adecuada para los molinos debe oscilar entre 2500 y 3500 rpm, por lo que se ha tomado la siguiente decisión:

Se ha optado por utilizar un motor monofásico alimentado por 220V, esta alimentación permite aprovechar de manera más eficiente la potencia del motor. La velocidad angular seleccionada para el motor será de 3600 rpm, la cual es una velocidad comercial comúnmente encontrada. Posteriormente, se empleará un sistema de transmisión reductor para disminuir esta velocidad hasta alcanzar los 2500 a 3500 rpm necesarios para el eje de los martillos. En este caso, se ha elegido una velocidad angular intermedia de 3000 rpm, que se encuentra dentro del rango recomendado.

$$Velocidad\ angular\ del\ molino = \omega_{molino} = 3000 \frac{rev}{min}$$

Selección de materiales

- Para los materiales de los ejes se va a utilizar acero AISI 1020 laminado en caliente.
- Para los materiales de los discos se utilizará plancha de acero al carbono laminadas en caliente ASTM A36 de 6 mm de espesor.
- Para los materiales de los martillos se utilizarán platinas ASTM A36 de 4 mm de espesor, a los cuales se les realiza un tratamiento térmico de templado, que consiste en calentar la zona de impacto del martillo a una temperatura aproximada de 150 °C y luego enfriar rápidamente en agua, de esta forma se aumenta la dureza y disminuye el desgaste que produce el impacto hacia los materiales a triturar, aumentando la vida útil del mismo.
- Para las tolvas de entrada y salida se utilizará planchas de tol de acero inoxidable de 0.9 mm de espesor.
- Para las paredes de la cámara se utilizará planchas ASTM A36 de 3 mm de espesor.
- Para la estructura base se va a utilizar perfil tipo “L” de 50mm de ancho y 3 mm de espesor.

La selección de todos los materiales y dimensiones antes mencionados serán justificados a lo largo de este capítulo.

Sistema de transmisión

Tomando en cuenta que el motor eléctrico tiene una velocidad de placa de 3600 rpm y que la velocidad angular recomendada para una máquina de martillos está entre los 2500 a 3000 rpm, se utilizará un sistema de poleas reductor para conseguir una velocidad angular en el eje de los martillos de 3000 rpm.

Factor de seguridad

Este es un factor importante a considerar al momento de realizar un diseño de elementos de máquinas, el cual se determina de diversas consideraciones de una estructura o elemento como son el número y tipo de cargas, tipo de fallas, variación de sus propiedades, deterioro, etc. Determinar un adecuado coeficiente de seguridad es sinónimo de confiabilidad al usuario de que la máquina cumplirá con las expectativas de diseño y funcionamiento.

Para materiales que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que pueden calcularse se recomienda utilizar factores de seguridad en el rango de 2 a 2,5 (Redosado, 2023).

Limitaciones

- Se debe considerar la altura que tendrá la tolva, porque el ingreso de la alfalfa deshidrata se hará de forma manual y por ende debe tener fácil acceso y comodidad para realizar esta acción.
- Este molino de martillos está diseñado para la trituración de alimentos de animales de granja como la alfalfa deshidratada, otras hierbas de similares características y granos de maíz.
- El molino de alfalfa debe tener la posibilidad de desarmarse, con el objetivo de movilizar la máquina, debido a que los miembros de la comunidad realizarán la actividad de molienda en diferentes lugares que les brinden mejor comodidad.

Determinación de la capacidad de molienda de la alfalfa

Para determinar la capacidad que tendrá la máquina se utilizan las estadísticas obtenidas de las encuestas realizadas a la comunidad “Unión y Trabajo”, las preguntas que se utilizan para este apartado son la número 1 y 8 que se pueden leer más detenidamente en el Anexo C, estos datos se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 33

Cantidad de hectáreas de terreno por persona de la comunidad y propuesta de molienda

#	Cantidad m² de terreno de alfalfa	Porcentaje destinado para molienda %	Cantidad de m² destinado para molienda
1	1000	50	500
2	3000	40	1200
3	5000	50	2500
4	5000	50	2500
5	5000	100	5000
6	2000	50	1000
7	400	30	120
8	7000	100	7000
9	7560	50	3780
10	250	80	200
11	4000	40	1600
12	5000	100	5000
13	5000	50	2500
14	7000	10	700
15	5000	50	2500
TOTAL	62210	Promedio: 56.67%	Total: 36100

Nota. En la tabla se puede identificar la cantidad de hectáreas de terreno por persona de la comunidad y respectivo proceso de molienda.

Como se puede apreciar en la tabla 33, la comunidad posee un área total aproximada de terreno de 62210 m^2 , lo que equivale a 6.2 hectáreas de sembríos de alfalfa. Por lo tanto, se puede concluir que:

$$\text{Área de alfalfa sembrada} = A_{sem,alfalfa} = 62210 \text{ m}^2 = 6.2 \text{ hectáreas}$$

Sin embargo, el área de alfalfa sembrada mencionada anteriormente no representa la totalidad de la tierra que la comunidad está dispuesta a utilizar para el troceado de alfalfa. En la última columna de la tabla 33 se puede observar cómo se multiplicó el área total del terreno por el porcentaje asignado a cada miembro de la comunidad, obteniendo así el valor del área de alfalfa fresca disponible para el proceso de secado y molienda. Por lo tanto, se puede concluir que:

$$\text{Área de alfalfa disponible} = A_{alfalfa,disponible} = 36100 \text{ m}^2 \approx 3.7 \text{ hectáreas}$$

Con base en esta información, se estima que el área de tierra destinada al cultivo de alfalfa fresca para el troceado de alfalfa será de aproximadamente 37000 m^2 lo que equivale a 3.7 hectáreas. Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Área de alfalfa disponible} = A_{alfalfa,disponible} = 3.7 \text{ hectáreas}$$

Para determinar la cantidad de alfalfa en kilogramos que se deberá triturar, se establece una relación entre el área obtenida anteriormente y la cantidad de kilogramos de alfalfa que se puede obtener por cada hectárea de cultivo. Según los miembros de la comunidad, se puede obtener entre 3 y 5 toneladas por hectárea en cada corte total. Para este cálculo, se tomará el valor intermedio de 4 toneladas por hectárea. Por lo tanto, se realiza la siguiente operación:

$$\text{Producción de alfalfa por hectárea} = m_{alfalfa/hectarea} = 4 \frac{\text{toneladas}}{\text{hectárea}}$$

$$m_{alfalfa/hectarea} = 4 \frac{\text{toneladas}}{\text{hectárea}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ tonelada}}$$

$$m_{alfalfa/hectarea} = 4000 \frac{\text{Kg}}{\text{hectárea}}$$

La relación anterior permite identificar que los comuneros obtienen 400 kilogramos de alfalfa por cada hectárea de cosecha. Entonces se busca la masa total de alfalfa dispuesta utilizando la siguiente ecuación:

$$m_{alfalfa,dispuesta} = m_{alfalfa/hectarea} * A_{alfalfa,disponible}$$

$$m_{alfalfa,dispuesta} = 4000 \frac{Kg}{hectárea} * 3.7 \text{ hectárea}$$

$$m_{alfalfa,dispuesta} = 14800 \text{ Kg}$$

Se estima que se cosecharán aproximadamente 14,800 kg de alfalfa fresca destinada a la molienda en un período de aproximadamente un mes y medio en las 3.7 hectáreas de terreno.

Es importante destacar que la cantidad de materia seca es menor que la materia húmeda debido a la pérdida de agua, lo que resulta en una disminución de peso. Por lo tanto, es necesario multiplicar el valor obtenido anteriormente por un factor para determinar la cantidad final de materia deshidratada que se obtendrá para la molienda. Según (Agronews Castilla y León, 2016) "El contenido de materia seca de la alfalfa se sitúa entre el 88% y 92%". Para este cálculo, se utilizará un valor intermedio del 90% de materia seca como referencia. Por lo tanto, la masa de alfalfa deshidratada por hectárea es:

$$m_{alfal,deshidra} = m_{alfalfa,dispuesta} * \frac{90\%}{100\%}$$

$$m_{alfal,deshidra} = 14800 \text{ Kg} * \frac{90\%}{100\%}$$

$$m_{alfal,deshidra} = 13320 \text{ Kg}$$

Por lo cual se concluye que la masa de alfalfa deshidratada obtenida del porcentaje de destinación de cosecha será de 13320 Kg durante cada mes y medio aproximadamente.

En consideración a que este análisis se centra en las familias más representativas dedicadas a la cosecha de alfalfa, se debe tener en cuenta que representan solo el 60% de la

población total. Además, según los testimonios de los dirigentes de la comunidad, se prevé la posibilidad de adquirir también alfalfa recién cosechada de comunidades vecinas y utilizar el proceso de molienda para aumentar su valor. Con base en estas consideraciones, es necesario aplicar un factor de proyección para evitar una subestimación en la capacidad de la máquina de molienda y asegurar que pueda satisfacer la demanda futura de toda la comunidad. El factor multiplicador de proyección a tener en cuenta es de 1.2. Por lo tanto, se calcula que:

$$m_{alfal,Total} = m_{alfal,deshidra} * f_{proyección}$$

donde:

$f_{proyección}$ = factor multiplicador de proyección a futuro

$$m_{alfal,Total} = m_{alfal,deshidra} * 1.2$$

$$m_{alfal,Total} = 13320Kg * 1.2$$

$$m_{alfal,Total} = 15984 Kg \approx 16000 Kg$$

Por lo tanto, se estima que la cantidad de alfalfa deshidratada destinada a la molienda puede llegar aproximadamente a los 16000 kg, considerando a toda la comunidad y teniendo en cuenta la proyección futura.

Esta cantidad deberá ser procesada en un período aproximado de un mes y medio. Sin embargo, teniendo en cuenta que la comunidad ha manifestado que utilizarán la máquina al menos 1 a 2 veces por semana, se estima que la máquina trabajará aproximadamente 12 días dentro del lapso de un mes y medio. Entonces para calcular la capacidad de molienda referente a un día de funcionamiento de la máquina, se tiene que:

$$Capacidad\ de\ molienda = Q_{molienda,alfal} = \frac{16000Kg}{12\ dias\ laborales}$$

$$Capacidad\ de\ molienda = Q_{molienda,alfal} = 1333.33 \frac{Kg}{dia,\ laboral,\ molienda}$$

Según los miembros de la comunidad, mencionaron que la ocuparán entre 4 a 5 horas al día, que da como resultado un promedio de 270 minutos de disponibilidad para utilizar la

máquina y realizar el proceso de molienda. Con esta información, se puede deducir que el flujo de molienda al que la máquina deberá enfrentarse es de:

$$Q_{molienda,alfal} = 1333.33 \frac{Kg}{dia, laboral, molienda} * \frac{1 dia, laboral, molienda}{270 min}$$

$$Q_{molienda,alfal} = 4.94 \frac{Kg}{min} \approx 5 \frac{Kg}{min}$$

Para relacionar la capacidad de molienda con el grado de pulverización se transforma la cantidad de kilogramos obtenidos de la capacidad de molienda con el volumen que ocupa cierta cantidad de heno de alfalfa. Según algunos comerciantes de productos derivados de la alfalfa, el volumen de un fardo de heno de alfalfa que pesa 20 Kg tiene las dimensiones de $85cm * 40cm * 40cm$. Entonces calculando el volumen de un fardo se tiene:

$$V_{fardo} = a * h * b$$

$$V_{fardo} = 85cm * 40cm * 40cm$$

$$V_{fardo(20Kg)} = 136000cm^3$$

Luego para calcular la densidad que tendría un fardo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{m_{fardo}}{V_{fardo}}$$

$$\rho_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{20000 g}{136000 cm^3}$$

$$\rho_{fardo,alfalfa,seca} = 0.147 \frac{g}{cm^3}$$

Calculando el volumen específico del dato anterior se tiene que:

$$v_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{1}{\rho_{fardo,alfalfa,seca}}$$

$$v_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{1}{0.147 \frac{g}{cm^3}}$$

$$v_{fardo,alfalfa,seca} = 6.8 \frac{cm^3}{g}$$

Ahora si se puede transformar la capacidad de molienda en masa a capacidad de molienda volumétrica, realizando la siguiente multiplicación:

$$Q_{molienda,vol} = Q_{molienda,alfal} * \rho_{fardo.alfalfa,seca}$$

$$Q_{molienda,vol} = 5000 \frac{g}{min} * 6.8 \frac{cm^3}{g}$$

$$Q_{molienda,vol} = 34000 \frac{cm^3}{min}$$

Relacionado la capacidad de molienda y la velocidad de rotación que tendrá el molino elegido con anterioridad se tiene que:

$$Capacidad\ de\ molienda\ por\ revolución = Q_{molienda,rev}$$

$$Q_{molienda,rev} = \frac{Q_{molienda,vol}}{\omega_{molino}}$$

$$Q_{molienda,rev} = \frac{34000 \frac{cm^3}{min}}{3000 \frac{rev}{min}}$$

$$Q_{molienda,rev} = 11.3 \frac{cm^3}{rev}$$

Determinación de la capacidad de molienda del maíz

Ahora, se realiza el mismo análisis anterior, pero con el material de granos de maíz. En el estudio de campo la comunidad supo manifestar que de la cantidad de alimento que utilizan para sus animales, aproximadamente la mitad proviene de las plantaciones de maíz, por lo que se puede partir desde este punto para tener una referencia de cuanto maíz se tendría la necesidad de moler diariamente. Entonces conociendo que en la pregunta 2 de la encuesta se obtiene que, entre toda la comunidad utilizan al menos 1280 Kg de alimento al día, se puede decir que se necesitaría triturar:

$$m_{maiz} = 640 \frac{Kg}{dia} * 30\ dias$$

$$m_{\text{maiz}} = 19200 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}}$$

Y sabiendo que la comunidad manifestó que puede usar el molino para el maíz con la misma frecuencia a la semana y horas de funcionamiento que la alfalfa se tiene que la máquina debería moler durante los días de uso una masa de:

$$\text{Capacidad de molienda} = Q_{\text{molienda,maiz}} = \frac{19200 \text{ Kg}}{12 \text{ días laborales}}$$

$$\text{Capacidad de molienda} = Q_{\text{molienda,maiz}} = 1600 \frac{\text{Kg}}{\text{día, laboral, molienda}}$$

$$Q_{\text{molienda,maiz}} = 1600 \frac{\text{Kg}}{\text{día, laboral, molienda}} * \frac{1 \text{ día, laboral, molienda}}{270 \text{ min}}$$

$$Q_{\text{molienda,alfal}} = 5.9 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Conociendo también que según la (FAO, 2023) el volumen específico del maíz es de 1.25 cm³/g se puede calcular la molienda volumétrica necesaria para este grano:

$$Q_{\text{molienda,vol}} = Q_{\text{molienda,maiz}} * \rho_{\text{maiz}}$$

$$Q_{\text{molienda,vol}} = 5900 \frac{\text{g}}{\text{min}} * 1.25 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$$

$$Q_{\text{molienda,vol}} = 7375 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

A continuación, se puede obtener la capacidad de molienda por revolución del maíz:

$$Q_{\text{molienda,rev}} = \frac{Q_{\text{molienda,vol}}}{\omega_{\text{molino}}}$$

$$Q_{\text{molienda,rev}} = \frac{7375 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{3000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$Q_{\text{molienda,rev}} = 2.46 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

Finalmente, para obtener la capacidad de molienda total que tendrá que enfrentar el molino de martillos, se suma la capacidad de volumen de la alfalfa y el maíz por cada revolución:

$$Q_{molienda,total} = 11.3 \frac{cm^3}{rev} + 2.46 \frac{cm^3}{rev}$$

$$Q_{molienda,total} = 13.76 \frac{cm^3}{rev}$$

Diseño mecánico del molino de martillos

El diseño de la parte mecánica de la máquina implica la selección y dimensionamiento de los diversos componentes y piezas utilizados en el conjunto triturador y la estructura en general.

Además, se realiza un análisis de esfuerzos en los puntos más críticos tanto desde el punto de vista estático como dinámico.

Cálculo del número de martillos

La cantidad total de martillos a utilizar viene de la mano con las características relacionadas con la capacidad de molienda requerida, velocidad angular y el tamaño de grano a conseguir, el cual es un parámetro obtenido del grado de pulverización deseado.

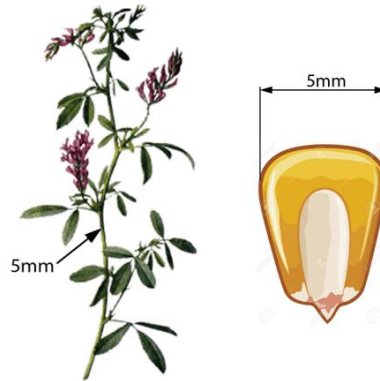
Grado de pulverización

Este índice es útil para calcular el número de martillos requeridos, establece una relación entre el material a triturar con el tamaño final luego de la trituración.

En este caso el producto a triturar es alfalfa y maíz, por lo cual se considera una medida inicial promedio de 5 mm que representa el ancho de un grano de maíz y la parte más dura de la alfalfa (figura 43).

Figura 43

Grosos de los productos a triturar



Nota. En la figura se identifica el tamaño de grosor del tallo de la alfalfa y el maíz.

El valor de este índice es adimensional y se presenta en la ecuación 2:

$$i = \frac{L}{l} \quad (2)$$

i: grado de pulverización

L: tamaño promedio del material antes de triturar [mm]

l: tamaño promedio del material triturado [mm]

$$i = \frac{5 \text{ mm}}{3 \text{ mm}}$$

$$i = 1.67$$

Ahora, utilizando la capacidad de molienda obtenida y el índice de pulverización obtenido, según (Bermeo, 2014) se puede calcular el número de martillos necesarios para lograr una trituración adecuada utilizando la ecuación 3.

$$\#martillos_{molino} = Q_{molienda,rev} * i \quad (3)$$

$$\#martillos_{molino} = 13.76 \frac{cm^3}{rev} * 1.67$$

$$\#martillos_{molino} = 22.98 \text{ martillos}$$

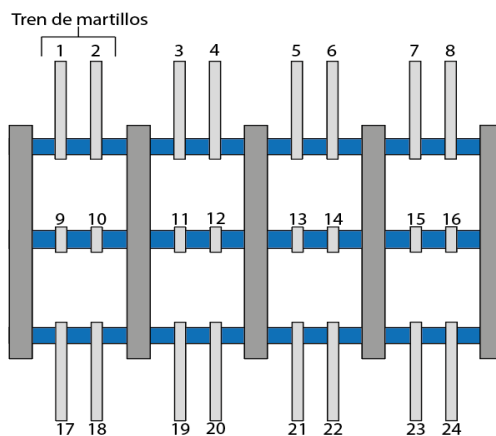
Para una distribución homogénea de los martillos en cada disco y en cada eje secundario, se puede utilizar una cantidad de 24 martillos para la trituración.

Distribución de los martillos en los ejes secundarios

Teniendo en cuenta los diseños y fabricaciones de molinos de martillos realizados por otros autores, se ha determinado que el número adecuado de martillos entre discos oscila entre 2 y 5 (conocido como tren de martillos). Por lo cual, para el presente diseño de este molino se utilizará 2 martillos entre cada disco, lo que da un total de 8 martillos por cada eje secundario y un total de 24 martillos en el conjunto triturador completo, tal como se muestra en la figura 44.

Figura 44

Distribución de los 24 martillos en el conjunto triturador



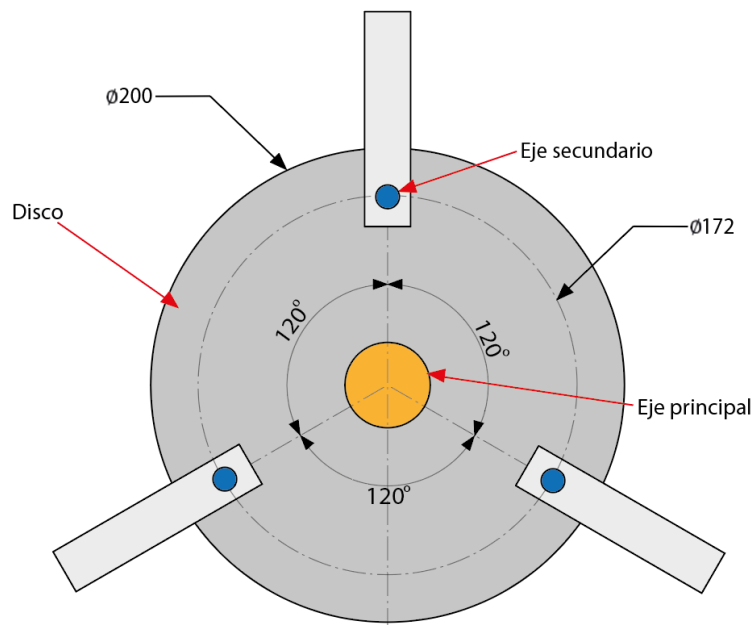
Nota. En la figura se aprecia el juego de martillos distribuidos homogéneamente en todo el conjunto triturador.

Distribución de eje primario y ejes secundario en los discos

Se utilizará tres ejes secundarios distribuidos homogéneamente alrededor de todo el diámetro del disco, entre cada eje secundario existirá una separación de 120° , mientras que en eje principal irá en todo el centro del disco, se deben repartir de esta manera para evitar desbalanceo en el rotor y una descompensación y sobrecarga en el motor en general, la distribución de ejes quedaría como se indica en la figura 45.

Figura 45

Distribución de los ejes en el disco



Nota. En la figura se observa la distribución de los tres ejes secundarios en el disco porta martillos desde una vista frontal al mismo.

Distribución de separadores en los ejes secundarios

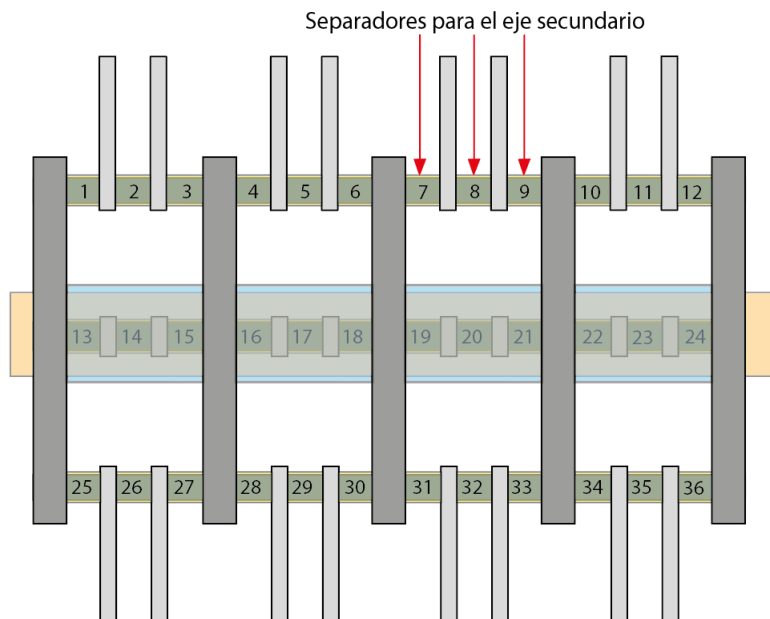
Los separadores son elementos de máquinas, que en este caso ayudan a evitar que los martillos estén juntos entre sí y separarlos de los discos para que no exista contacto, golpeteo y genere algún tipo de desgaste indeseado.

Según (Bermeo, 2014), la longitud de cada separador debe ajustarse a las dimensiones del material a triturar y, por ende, el espesor del martillo, por lo que sería adecuado una longitud mayor o igual a tres veces el espesor de un martillo.

Con esto en mente, la configuración de separadores para este diseño en particular consistiría en 12 separadores por cada eje secundario, en total, se requerirán 36 separadores para dividir los martillos, tal como se muestra en la figura 46.

Figura 46

Distribución de los separadores en el eje secundario

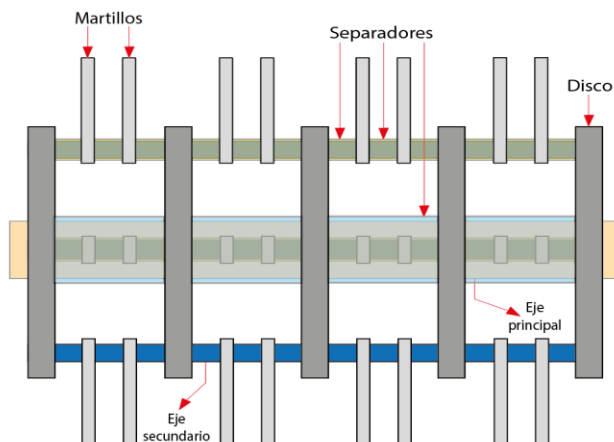


Nota. En la figura se observan la ubicación de los separadores, tanto en el eje secundario como en el principal.

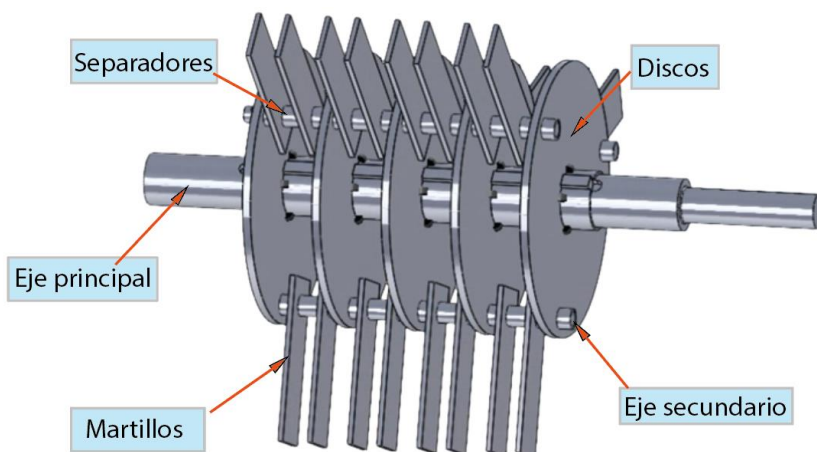
Distribución del conjunto triturador (ejes, martillos, discos y separadores)

Dado que el número total de martillos a utilizar es de 24, se emplearán 3 ejes secundarios en 5 discos que estarán ubicados directamente en el eje principal. Cada conjunto de tren de martillos contendrá dos martillos, los cuales se colocarán entre dos discos en un solo eje secundario.

Esto significa que se colocará un total de 8 martillos por cada eje secundario, dispuestos a una distancia establecida entre ellos mediante los separadores correspondientes. En la figura 47 se puede observar el esquema de una vista lateral del de eje principal, eje secundario, martillos, discos y separadores que conformarán todo el cuerpo de molienda que estará ubicado dentro de una cámara.

Figura 47*Esquema del conjunto triturador*

Nota. En la figura se presenta los elementos principales que conforman el conjunto triturador del molino de martillos.

Figura 48*Vista isométrica del conjunto triturador*

Nota. En la figura se observa el ensamblaje de la distribución de los discos, separadores, ejes y martillos en vista isométrica para una mejor comprensión de su estructura.

Diseño de los martillos

Los martillos son el componente fundamental de la máquina de molienda, son responsables de triturar los materiales mediante golpes o impactos dirigidos hacia el producto

que se desea pulverizar o triturar. Las características de diseño para un martillo vienen de la mano con las siguientes variables:

- Material a triturar
- Dimensiones del material a triturar
- Velocidad del motor

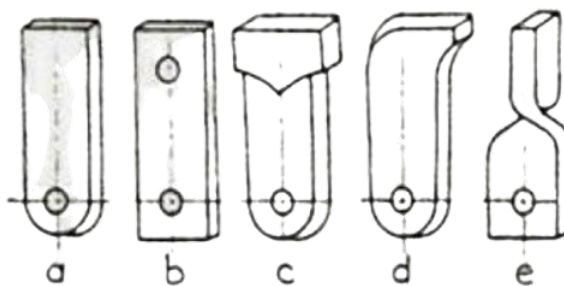
El material a triturar para este caso es la alfalfa deshidrata y maíz, hay que tomar en cuenta la dureza del maíz y el alto volumen que tiende a ocupar la alfalfa, por esta razón hay que procurar dimensionar la fuerza de corte de los martillos con las características de los materiales antes mencionados.

Selección del martillo a utilizar

Los martillos del molino pueden tener varias formas y dimensiones dependiendo de la utilización y aplicación, como por ejemplo el tipo de material que se necesita triturar y el grosor de grano requerido. Los tipos más comunes de martillos utilizados en algunas máquinas del mercado son los siguientes:

Figura 49

Tipos de martillos



Nota. Tipos de martillos. Tomado de (Miranda, 2023)

- Martillo simple más empleado
- Martillo tipo reversible
- Martillo pesado con cabeza ensanchada

- d) Martillo para materiales fibrosos y tenaces
- e) Martillo para pulverizar

Para el caso de la máquina moledora de alfalfa y maíz se decide utilizar el martillo más empleado en la industria de molinos, el cual sería el del literal a) de la figura 49, en este caso el material a triturar (alfalfa y maíz) son secos y por lo cual tienen baja dureza, además que los miembros de la comunidad solicitan un grano medio al finalizar la molienda, cabe recalcar que la geometría de este tipo de martillo se utilizará pero sin redondear las esquinas, por lo que sería un diseño más eficiente al momento de impactar con el material a triturar.

Figura 50

Martillo simple



Nota. En la figura se observa el martillo más empleado en la molienda y el que será utilizado para el diseño del molino. Tomado de (Agrofy, 2023)

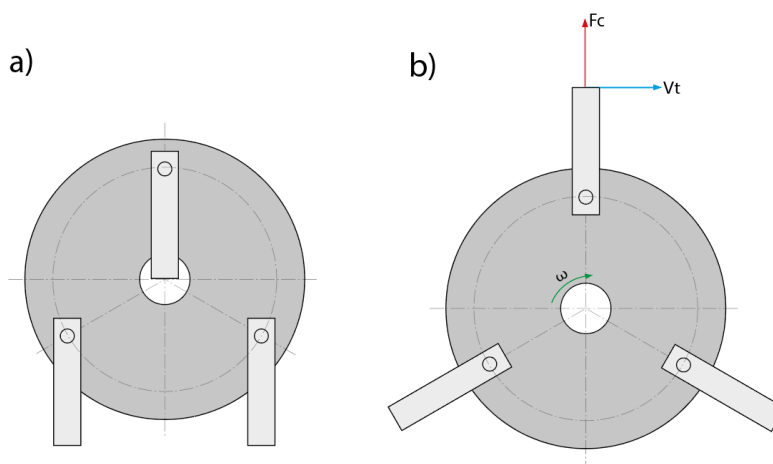
Posiciones de los martillos

Los martillos tienen dos posiciones distintas. En el primer estado, cuando la máquina está completamente inactiva, se muestra en la figura 51a. En el segundo estado, cuando la máquina se energiza, el eje comienza a girar a una velocidad angular (ω) y en los extremos de los martillos aparece una velocidad tangencial (V_t), y debido a la fuerza centrífuga (F_c), los martillos se colocan perpendicularmente al eje principal, como se muestra en la figura 51b. Es

importante destacar que los cálculos y el diseño de esfuerzos deben realizarse teniendo en cuenta esta segunda posición, es allí donde se aplican las cargas correspondientes.

Figura 51

Posiciones de los martillos



Nota. En la figura se observa: a) estado de los martillos con la máquina apagada, b) estado de los martillos con la máquina en funcionamiento.

Energía de ruptura de la alfalfa deshidratada

Para obtener información relevante sobre la resistencia de un material a la ruptura, en este caso, la alfalfa deshidratada, se puede iniciar mediante la realización de un ensayo de Charpy. A continuación, se explica en qué consiste este ensayo:

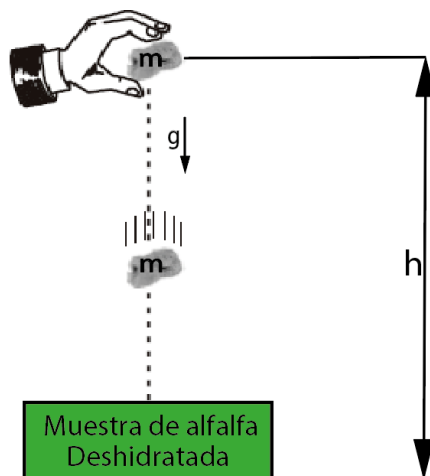
Ensayo de Charpy

Es un ensayo el cual se somete al material a estudiar a un impacto conocido, esto ayuda a determinar la fragilidad o resistencia que opone un material a la ruptura del mismo (Instron, 2020).

En general, en este tipo de ensayo, se suele utilizar un péndulo que se eleva hasta cierto ángulo y luego se suelta para impactar el material. Sin embargo, en el caso de estudio actual, se llevará a cabo utilizando la técnica de dejar caer un peso conocido (en este caso, una roca) desde una altura determinada, como se ilustra en la figura 52.

Figura 52

Ensayo de impacto para material de alfalfa

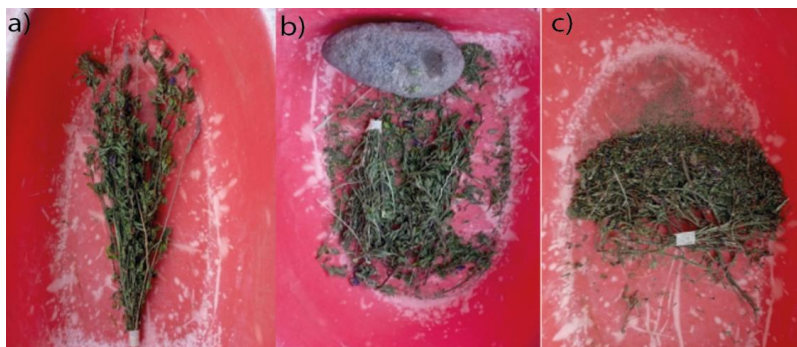


Nota. En la figura se observa un esquema del ensayo de ruptura de la alfalfa deshidratada.

El ensayo representado en la figura anterior se lleva a cabo con el objetivo de triturar la alfalfa deshidratada hasta alcanzar el tamaño de grano deseado, tal como se muestra en la figura 53c. Esta etapa es fundamental para determinar la cantidad de energía requerida en el proceso de trituración de esta planta.

Figura 53

Muestra de alfalfa y cuerpo de impacto



Nota. En la figura se muestra: a) alfalfa antes del impacto, b) prueba de impacto, c) alfalfa impactada y triturada al tamaño de grano deseado.

Conociendo los datos relacionados con la altura desde donde se arrojó la roca (0.40 m) y su masa conocida medida en una balanza electrónica (2.012 Kg), se procede al cálculo de la energía de ruptura de la alfalfa utilizando la fórmula de la ley de energía potencial que se indica en la ecuación 4.

$$E_{rup} = m_p * g * h \quad (4)$$

Donde:

$m_p = \text{masa de prueba [Kg]}$

$g = \text{gravedad [m/s}^2\text{]}$

$h = \text{altura de experimento [m]}$

$$E_{rup} = (2.012 \text{ Kg}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0.40\text{m})$$

$$E_{rup} = 7.896 \text{ Nm}$$

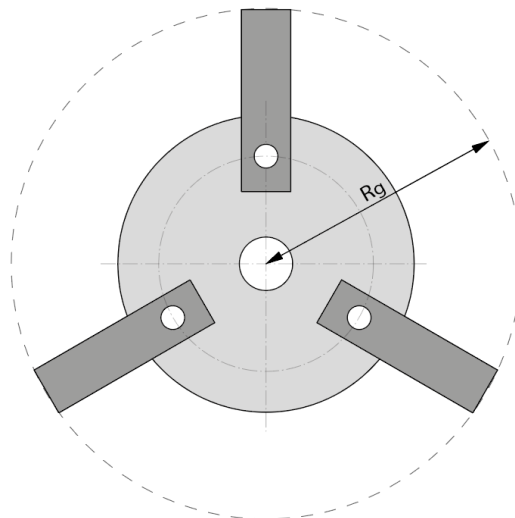
Con base al experimento realizado anteriormente, se logró descomponer la muestra de hierbas de alfalfa deshidratada hasta alcanzar el tamaño requerido.

Por lo tanto, se puede concluir que la energía necesaria para lograr dicha descomposición es de 7.896 Nm.

Se debe considera además que la alfalfa tiene una energía de ruptura semejante o incluso mayor que el maíz según (Mancera Rico, 2016), esto se debe a que la alfalfa tiene mayor contenido de fibra acumulada en sus tallos y hojas por lo que su composición es más densa, entonces, para el diseño en los siguientes apartados que considerará la energía de ruptura calculada anteriormente.

Cálculo del Radio de giro del martillo

El radio de giro es necesario calcularlo para saber la distribución de área o masa alrededor del eje del molino de martillos, o sea el alcance que tendrá al momento de girar, como se indica en la figura 54.

Figura 54*Radio de giro del martillo*

Nota. En la figura se puede identificar que el radio de giro comprende la longitud desde el centro del eje principal hasta el extremo final de los martillos.

Para calcular el radio de giro, se puede emplear la fórmula 5, que relaciona la velocidad tangencial y la velocidad angular en el eje de los martillos:

$$R_g = \frac{V_t}{\omega_{eje}} \quad (5)$$

Donde:

R_g = Radio de giro [m]

ω_{eje} = velocidad angular en el eje en [rad/s]

V_t = Velocidad tangencial del martillo [m/s]

Cálculo de la velocidad tangencial del martillo

La velocidad tangencial se refiere a la generada en el extremo final de los martillos y está relacionada con la masa de la alfalfa y la energía de ruptura necesaria para su trituración.

Puede calcularse utilizando la ecuación 6:

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * E_{rup}}{m_h}} \quad (6)$$

Donde:

$V_t =$ Velocidad tangencial del martillo [m/s]

$m_h =$ masa del conjunto de alfas [Kg]

$E_{rup} =$ Energia de ruptura de la alfalfa [Nm]

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * 7.896 \text{ Nm}}{0.004 \text{ Kg}}}$$

$$v_t = 62.833 \frac{m}{s}$$

Ahora sí, calculando el radio de giro utilizando la fórmula 5, se tiene que:

$$R_g = \frac{V_t}{\omega_{eje}}$$

$$R_g = \frac{62.833 \frac{m}{s}}{3000 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60s}}$$

$$R_g = 0.20 \text{ m}$$

Velocidad del eje con carga

$$\omega_{eje,carga} = \frac{V_t}{R_g}$$

$$\omega_{eje,carga} = \frac{62.833 \frac{m}{s}}{0.20 \text{ m}}$$

$$\omega_{eje,carga} = 314.16 \text{ rad/s}$$

Cálculo de la aceleración angular

Para calcular la aceleración angular que se genera en el martillo se lo puede utilizar con la expresión 7.

$$\omega_{eje}^2 = \omega_o^2 + 2\alpha * (\theta - \theta_o) \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\omega_{eje}^2 - \omega_o^2}{2(\theta - \theta_0)}$$

Teniendo en cuenta que la aceleración angular parte desde el reposo y que no existe un ángulo inicial se puede decir que:

$$\omega_o^2 = 0$$

$$\theta_0 = 0$$

Entonces, la expresión se reduce a la que se indica en la ecuación 8:

$$\alpha = \frac{\omega_{eje}^2}{2\theta} \quad (8)$$

Donde:

ω_{eje} = Velocidad angular en el eje del molino [rad/s]

α = Aceleración angular en el eje del molino [rad/s²]

θ = Ángulo de desplazamiento del molino [360°] = [6.28 rad]

$$\alpha = \frac{(314.16 \text{ rad/s})^2}{2(6.28 \text{ rad})}$$

$$\alpha = 7858 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Determinación de la fuerza de corte de la alfalfa

La fuerza de corte se la puede determinar utilizando una fuerza conocida hasta dar con la ruptura deseada al material, en este caso, la alfalfa deshidratada y granos de maíz, pero como es evidente que el maíz tendrá más resistencia a la ruptura por su dureza, se puede realizar la experimentación con este grano, la fuerza de ruptura obtenida servirá para el cálculo de trituración de los dos materiales mencionados.

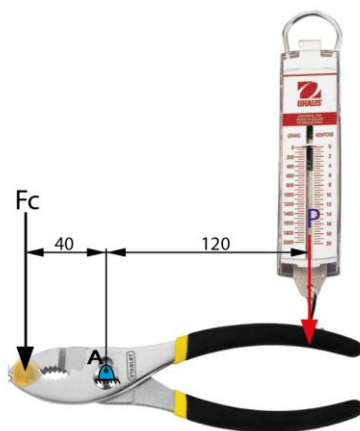
Para determinar esta fuerza se utilizará un dinamómetro unido a una herramienta de presión, con la cual se aplastará un solo grano de maíz, se deberá ir aplastando lentamente,

hasta que se observe la ruptura del grano, e ir verificando la fuerza que se va aplicando durante el ensayo.

El esquema del experimento de ruptura mencionado anteriormente se puede apreciar en la figura 55.

Figura 55

Ensayo de fuerza de corte de la alfalfa



Nota. En la figura se puede identificar el experimento utilizando un dinamómetro unido una herramienta de presión.

$$\sum M_A = 0$$

$$F_c * 0.04m - P * 0.12m = 0$$

$$F_c = \frac{P * 0.12m}{0.04m}$$

$$F_c = \frac{15N * 0.12m}{0.04m}$$

$$F_c = 45N$$

El experimento anteriormente realizado tiene como resultado una fuerza de corte para la el maíz de $F_c = 45 N$, el cual servirá también para la alfalfa por lo que son similares.

Para encontrar otras variables que se relacionan con la fuerza de corte se puede utilizar la siguiente expresión 9:

$$F_c = \frac{I_m * \alpha}{L_m} \quad (9)$$

donde:

$L_m =$ Longitud del martillo [m]

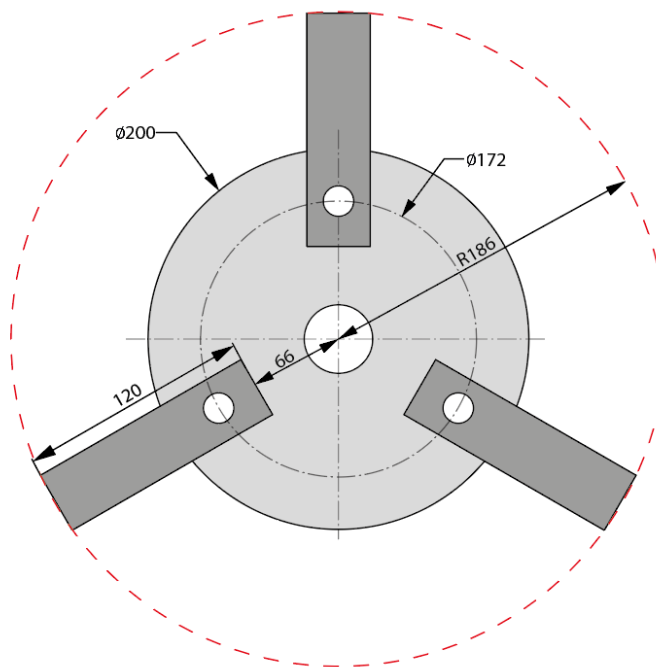
$I_m =$ Inercia del martillo [$Kg.m^2$]

$\alpha =$ aceleración angular [m/s^2]

Considerando que el radio de giro obtenido en anteriores ítems es de 0.2 m, sería adecuado utilizar discos de 200 mm de diámetro y martillos de 120 mm de longitud para abarcar esta dimensión de radio de giro aproximada como se indica en la figura 56, en esta ocasión no se utiliza martillos de mayor longitud porque sobrepasarían el radio de giro requerido y también generarían mayores esfuerzos en la base y en el conjunto triturador, lo que podría tender a fallas futuras.

Figura 56

Radio de giro alcanzado por la longitud de los martillos



Nota. En la figura se observa el alcance que tienen los martillos en movimiento.

Cálculo del momento de inercia de un martillo

El momento de inercia de un cuerpo que gira con respecto a uno de sus ejes está dado por la ecuación 10, en este caso el cuerpo es el martillo que gira desde uno de sus extremos unidos al eje secundario.

$$I_m = \frac{1}{3} * m_m * L_m^2 \quad (10)$$

Donde:

$m_m =$ masa del martillo [Kg]

Cálculo de la masa de los martillos

Para determinar la masa de un martillo, se puede realizar un cálculo sustituyendo la ecuación de la inercia del martillo en la fórmula de la fuerza de corte y resolviendo para obtener la masa desconocida.

Entonces reemplazando la ecuación 10 en la ecuación 9 y resolviendo se tiene que:

$$F_c = \frac{1}{3} * m_m * L * \alpha$$

Despejando la variable de la masa de martillos se tiene la expresión 11.

$$m_m = \frac{3 * F_c}{L * \alpha} \quad (11)$$

$$m_m = \frac{3 * 45 \text{ N}}{0.12 \text{ m} * 7858 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}}$$

$$m_m = 0.143 \text{ Kg}$$

Se concluye que la masa requerida para impactar la alfalfa deshidratada y granos de maíz es de 0.143 Kg para lograr un proceso de molienda óptimo.

Diseño de la geometría del martillo

Utilizando la masa calculada anteriormente y las características propuestas del martillo, se procede al cálculo de sus dimensiones:

El espesor del martillo debe ser similar al del material que se va a triturar. En este caso, se toma en cuenta el espesor promedio del tallo de la alfalfa, que es la sección con mayor grosor y resistencia, y se estima en aproximadamente 4 mm. Después de revisar los catálogos de varios fabricantes, se ha encontrado la disponibilidad de obtener platinas con un espesor de 4 mm, por lo que esta medida se utilizará para el diseño.

Para la fabricación de los martillos del molino, se empleará platina metálica ASTM A36 debido a su amplia disponibilidad en el mercado nacional. Las características físicas y mecánicas de este material se detallan de manera más detallada en el Anexo F. A continuación, se resumen las principales características relevantes que se utilizarán en los cálculos, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 34

Características de la platina

Características platina	
Espesor	4 mm
Largo total	6 m
Masa lineal	1.193 kg/m
Sy	250 MPa

Nota. En la tabla se puede identificar las características de la platina.

Con los datos obtenidos del fabricante se procede a realizar el cálculo de la densidad con la siguiente expresión:

$$\rho_{platina} = \frac{m_{platina}}{v_{platina}} \quad (12)$$

Para determinar la masa total de una platina comercial de 6 metros de longitud, se multiplica dicho valor por la masa lineal proporcionada por el fabricante en su tabla de datos, como se muestra a continuación:

$$m_{platina} = 1.193 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 6\text{m}$$

$$m_{platina} = 7.158 \text{ Kg}$$

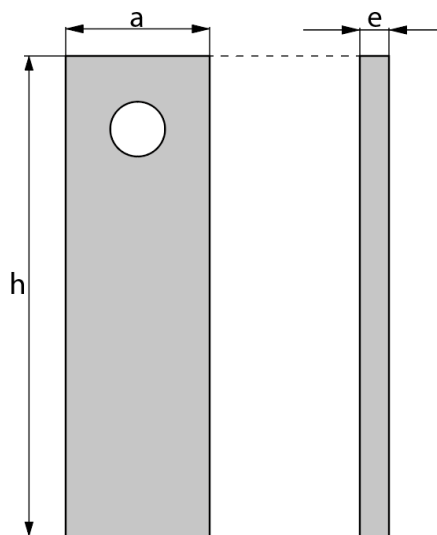
Ahora, calculando la densidad de la platina con la expresión 12 se obtiene el siguiente resultado:

$$\rho_{platina} = \frac{7.158 \text{ Kg}}{(6 \times 0.038 \times 0.004) \text{ m}^3}$$

$$\rho_{platina} = 7848.684 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Figura 57

Dimensiones del martillo de triturar



Nota. En la figura se observa las dimensiones principales del martillo de trituración.

Para calcular el ancho del martillo adecuado para la trituración se pueden utilizar las ecuaciones 13 y 14.

$$m_{martillo} = \rho * V \quad (13)$$

$$V = a * e * h \quad (14)$$

En donde:

ρ : Densidad del material.

V : Volumen del martillo.

a : Ancho del martillo.

e : Espesor del martillo.

h : longitud del martillo

Reemplazando la ecuación 14 en la 13 se puede obtener la expresión 15.

$$m_{martillo} = \rho * h * a * e \quad (15)$$

Finalmente, se procede a despejar la variable requerida de la ecuación 16 y sustituir los datos correspondientes para obtener el ancho ideal del martillo, cumpliendo con las proporciones de medida establecidas.

$$a = \frac{m_{martillo}}{\rho * h * e}$$

$$a = \frac{0.143 \text{ kg}}{7848.68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.12\text{m} * 0.004\text{m}}$$

$$a = 0.038 \text{ m}$$

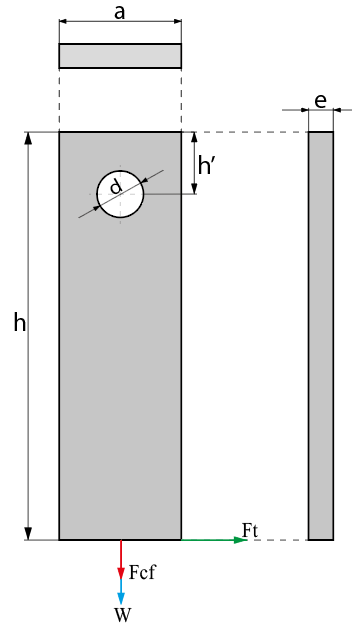
Con los datos obtenidos de las dimensiones de los martillos, se puede estandarizar utilizando la platina de 38 x 4 mm, esta se observa en el Anexo F.

Análisis de fuerzas presentes en el martillo

El martillo al girar a altas velocidades será sometido a una fuerza centrífuga, junto con el peso del martillo, este ocasiona que aparezca un esfuerzo normal por tracción. A continuación, se calculan las fuerzas que aparecen en el martillo:

Figura 58

Fuerzas que actúan en el martillo de trituración



Nota. En la figura se muestran las fuerzas que aparecen en el martillo durante el funcionamiento: peso del martillo (w), fuerza centrífuga (F_{cf}), fuerza tangencial (F_t).

Fuerzas que actúan sobre el martillo

Se calculará las fuerzas del peso del martillo y la fuerza centrífuga que aparece por efecto de la rotación, pero en cuestión de la fuerza tangencial no se la tomará en cuenta, por lo que el martillo no es fijo al eje secundario por lo que esta fuerza no genera un esfuerzo, entonces para el análisis no se considera.

Calculando el peso de cada martillo se tiene que:

$$W_{\text{martillo}} = m_{\text{martillo}} * g$$

$$W_{\text{martillo}} = 0.143 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{\text{martillo}} = 1.40 \text{ N}$$

Calculando la fuerza centrífuga del martillo se tiene que:

$$F_{cf} = \omega^2 * m_{\text{martillo}} * (h - h')$$

$$F_{cf} = \left(314.16 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 * 0.143 \text{ kg} * (0.12\text{m} - 0.02\text{m})$$

$$F_{cf} = 1411.360 \text{ N}$$

La fuerza resultante F_{Ry} que se tendría en el eje vertical del martillo sería la suma de las dos fuerzas presentes como se indica a continuación:

$$F_{Ry} = F_{cf} + W_m$$

$$F_{Ry} = 1411.360 \text{ N} + 1.40 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = 1412.76 \text{ N}$$

Ahora, se puede calcular el esfuerzo por tracción utilizando la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F_{Ry}}{A} \quad (16)$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal [MPa]

A : Área sometida a la tracción [m^2]

$$\sigma = \frac{1412.763 \text{ N}}{(0.038 * 0.004)\text{m}^2}$$

$$\sigma = 9294493.421 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 9.294 \text{ MPa}$$

Utilizando la resistencia a la tracción máxima del material elegido y el esfuerzo al que será sometido se puede determinar el factor de seguridad del elemento, sabiendo que el material elegido es ASTM A36, $S_y = 250 \text{ MPa}$, utilizando la ecuación 17 se tiene que:

$$N = \frac{S_y}{\sigma} \quad (17)$$

$$N = \frac{250 \text{ MPa}}{9.294 \text{ MPa}}$$

$$N = 26.9$$

Con base en el factor de seguridad obtenido, se puede concluir que el martillo podrá soportar el esfuerzo de tracción en las condiciones establecidas. Además, es importante considerar la posibilidad de que se introduzcan partículas duras, como piedras u otros cuerpos, de manera inesperada en el conjunto triturador. Gracias al alto factor de seguridad, los martillos serán capaces de enfrentar este tipo de eventos imprevistos.

Ahora, es importante analizar la posibilidad de una falla por rotura en el martillo en la zona donde se encuentra la perforación para el eje secundario, tal como se muestra en la figura 58. En esta área, se produce un esfuerzo cortante debido a la reducción de área. El cálculo de este esfuerzo se puede realizar utilizando la siguiente expresión:

$$\tau_{cm} = \frac{F_{Ry}}{S_r} \quad (18)$$

Donde:

τ_{cm} = Esfuerzo cortante presente en el martillo [MPa]

F_{Ry} = Fuerza presente resultante en el martillo [N]

S_r = Sección de falla a la rotura [m^2]

Calculando la sección de falla se tiene que:

$$S_r = (a - d) * e$$

$$S_r = (0.038m - 0.0127m) * 0.004m$$

$$S_r = 0.0001012 m^2$$

Ahora, calculando el esfuerzo cortante con la expresión 18 se tiene que:

$$\tau_{cm} = \frac{1412.763 N}{0.0001012 m^2}$$

$$\tau_c = 13960108.7 Pa$$

$$\tau_c = 13.96 MPa$$

Finalmente, calculando el factor de seguridad para este ítem con la ecuación 19 se obtiene lo siguiente:

$$N = \frac{S_y}{\tau_{cm}} \quad (19)$$

$$N = \frac{250 \text{ MPa}}{13.96 \text{ MPa}}$$

$$N = 17.91$$

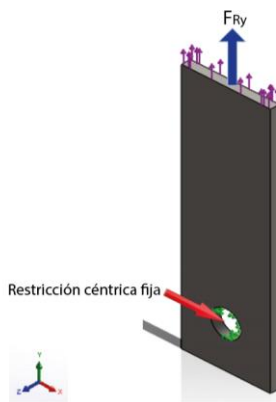
El factor de seguridad obtenido garantiza que no habrá roturas en las secciones más críticas del martillo.

Análisis de elementos finitos del martillo

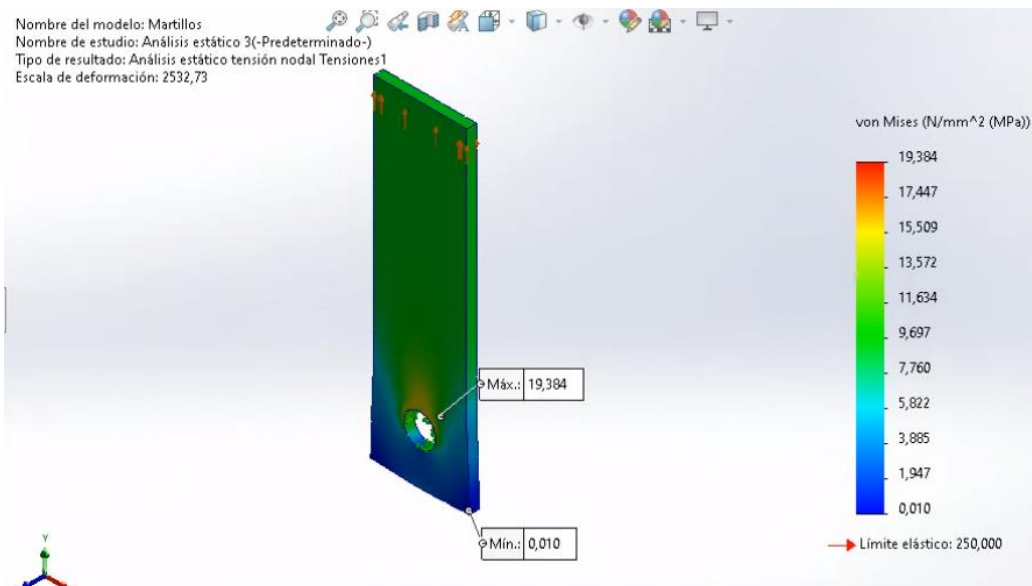
Para realizar los análisis de elementos finitos en los martillos se debe establecer ciertas condiciones para la simulación computacional. Las condiciones de frontera para este elemento mantienen una restricción fija en el centro de la perforación del martillo por donde pasa el eje secundario, y se aplica la fuerza resultante entre la fuerza centrífuga y el peso del martillo de ($F_{Ry} = 1412.76 \text{ N}$) generada en la sección transversal del extremo del martillo como se indica en la figura 59. Con este ensayo se puede simular la deformación por efecto de la fuerza centrífuga, la simulación de elementos finitos se aprecia en las figuras 60, 61 y 62.

Figura 59

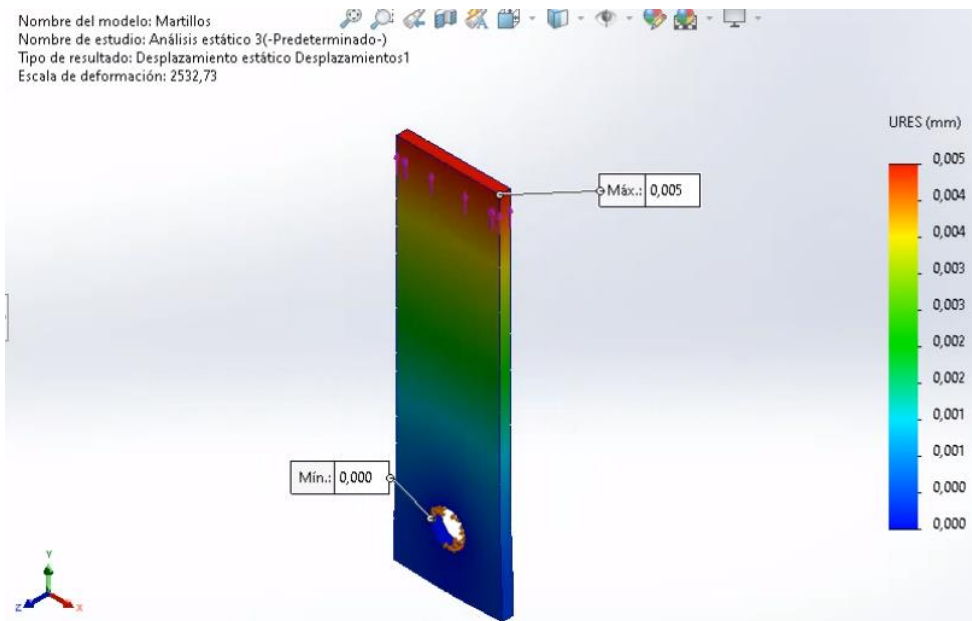
Condiciones de frontera para análisis computacional del martillo



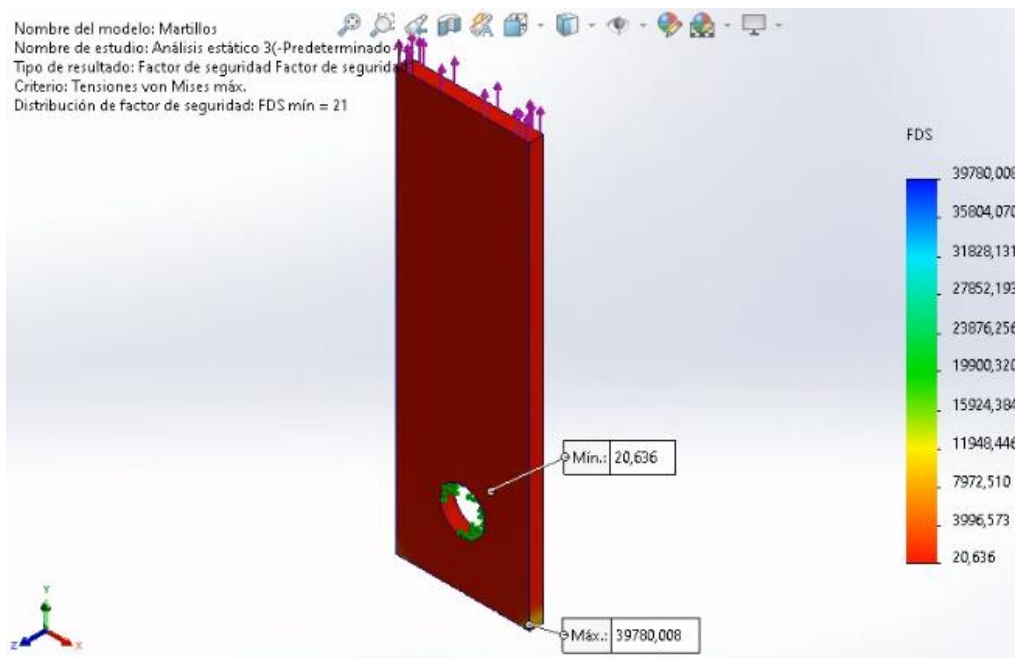
Nota. En la figura se observa las restricciones para el análisis del martillo.

Figura 60*Análisis estático de tensión Von Mises*

Nota. Esta figura se obtiene del análisis computacional de elementos finitos.

Figura 61*Análisis estático de desplazamiento*

Nota. Esta figura se obtiene del análisis computacional de elementos finitos.

Figura 62*Análisis estático del factor de seguridad*

Nota. Esta figura se obtiene del análisis computacional de elementos finitos.

De la simulación de elementos finitos realizada se obtiene una tensión máxima de Von Mises de 19.38 MPa la cual ocurre en la parte del agujero del martillo, pero este valor no se acerca al límite elástico del material del martillo que es de 250 MPa, por lo que es bastante seguro, esto se puede apreciar en la figura 60. De igual manera se puede identificar en la figura 61 de la simulación, que el desplazamiento máximo en el martillo es de 0.005mm, el cual es imperceptible y despreciable. Finalmente, en la figura 62 se observa que el factor de seguridad mínimo que se encuentra en el martillo es de 20.63, lo que indica un valor bastante aceptable para el diseño del martillo realizado.

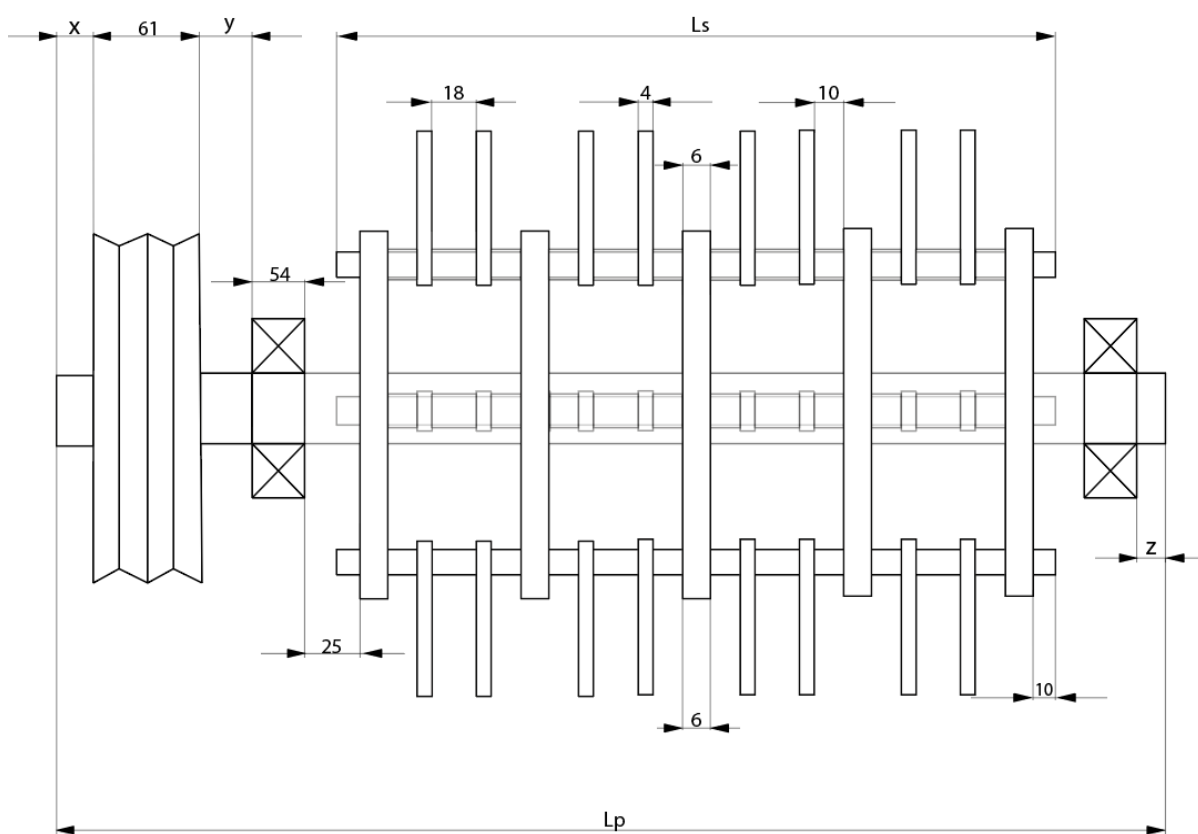
Dimensiones del conjunto triturador

A continuación, se presenta un esquema de la estructura del conjunto triturador, junto con las dimensiones de cada uno de sus elementos.

Este esquema proporciona un boceto visual de cómo se compone internamente el molino de martillos, lo que permitirá identificar los puntos de reacción y las secciones críticas mediante el análisis de esfuerzos en el eje principal, eje secundario, discos, martillos y reacciones resultantes en los puntos de apoyo, que para el presente caso son dos chumaceras. Las dimensiones del conjunto triturador se detallan en la siguiente figura:

Figura 63

Dimensiones del conjunto triturador



Nota. En la figura se muestra las dimensiones de los componentes que constituyen el conjunto triturador de la máquina de martillos.

La tabla siguiente resume las dimensiones de todo el conjunto triturador con el objetivo de determinar la longitud total necesaria para los ejes secundario y principal, los cuales sostienen todos los elementos que lo componen. Algunas de estas medidas son el resultado de

análisis realizados en puntos posteriores y se obtienen a través de diferentes procesos de análisis y dimensionamiento.

Tabla 35

Dimensiones de los componentes ubicados en el conjunto triturador

Elemento	Cantidad	Medida (mm)	Medida total (mm)
Martillo	8	4	32
Disco	5	6	30
Separadores largos	4	18	72
Separadores cortos	8	10	80
Polea	1	61	61
Chumacera	2	54	108
Espacio entre chumacera-disco	2	25	50
Longitud saliente del eje secundario	2	10	20
Longitud mínima requerida del eje secundario (Ls)	1	-	234
Longitud mínima requerida del eje principal (Lp-x-y-z)	1	-	433

Nota. En la figura se muestra las dimensiones longitudinales que tienen los elementos que componen el conjunto triturador.

Según el resumen de la tabla 35, se establece que el eje secundario debe tener una longitud mínima de 234 mm, por lo tanto, sería adecuado utilizar una longitud (L_s) de 240 mm para el eje secundario.

Asimismo, se requiere que el eje principal tenga una longitud mínima de 433 mm para soportar todos los componentes necesarios, pero al observar la figura 63, se pueden identificar los espacios correspondientes a las medidas (x, y, z) que se debe considerar para el dimensionamiento del eje, lo cual indica que trabajar con una longitud (L_p) del eje principal de 500 mm sería adecuado.

Estas dimensiones proporcionan una idea del tamaño resultante del molino de martillos. Con estas medidas determinadas, se puede proceder al diseño y análisis de los esfuerzos y momentos generados en los elementos respectivos, los cuales se detallan en los siguientes apartados.

Diseño del eje secundario

El eje secundario se mantiene en posición fija y atraviesa cada uno de los discos para sostener los martillos oscilantes. Dado que este eje no gira, no está sujeto a esfuerzos de torsión. Sin embargo, debido a que los martillos ejercen fuerzas perpendiculares al eje, se generan esfuerzos de deformación cortante y flexión.

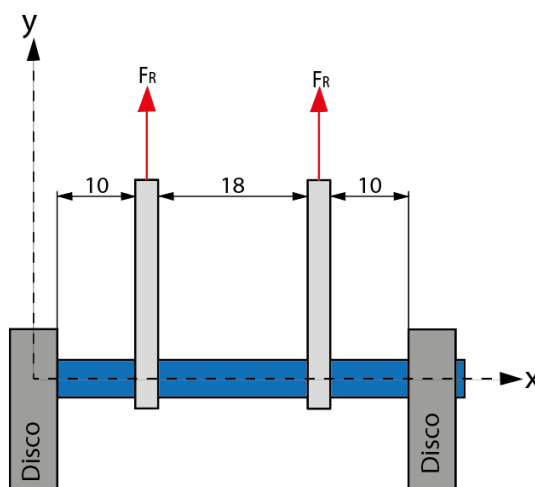
Por lo tanto, es necesario calcular la magnitud de estas fuerzas y momentos máximos que actúan sobre el eje. Esto permitirá determinar los esfuerzos a los que se ve sometido el eje secundario.

De los tres ejes ubicados en el disco, se analizará únicamente uno de los ejes secundarios, los otros dos ejes experimentarán las mismas condiciones al tener la misma cantidad de martillos y estar ubicados en forma distribuida en el disco, por ende, soportarán el mismo peso y fuerza centrífuga.

Además, dado que la distancia entre los martillos y los discos es la misma en cada conjunto de martillos, resulta conveniente analizar únicamente la sección entre dos discos, lo mismo ocurrirá en las otras tres secciones del eje. La sección que se analizará se muestra en la figura 64:

Figura 64

Fuerzas resultantes que aparecen en el eje secundario



Nota. En la figura se aprecia las fuerzas que producen los martillos en el eje secundario entre los discos del molino.

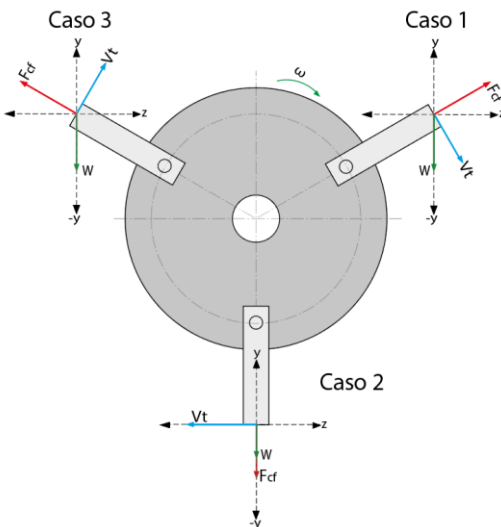
Primero se calculará las fuerzas presentes en el eje secundario, que en este caso provienen de las fuerzas resultantes perpendiculares que generan los martillos.

Para realizar el diagrama de cuerpo libre, se considera uno solo de los martillos en el eje, teniendo en cuenta que durante la rotación puede ocupar diversas posiciones mientras realiza este movimiento.

Para este caso, las posiciones ideales a analizar serían aquellas en las que uno de los martillos se encuentra verticalmente hacia abajo. Por lo tanto, el diagrama de cuerpo libre se representa como se muestra en la figura 65.

Figura 65

Fuerzas que actúan en el martillo



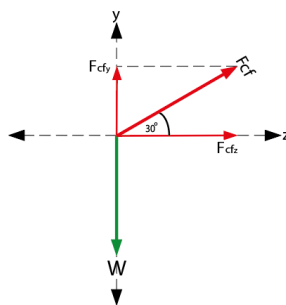
Nota. La figura muestra tres casos distintos, analizados independiente para observar el comportamiento de las fuerzas en los martillos.

En el diagrama de cuerpo libre general se pueden identificar dos tipos de fuerzas que actúan sobre cada martillo. Una de ellas es el peso propio del martillo, mientras que la otra es la fuerza centrífuga generada debido a la rotación. Por lo tanto, las fuerzas resultantes para cada posición se pueden expresar de la siguiente manera:

DCL del martillo (caso 1)

Figura 66

Fuerzas presentes del martillo del caso 1



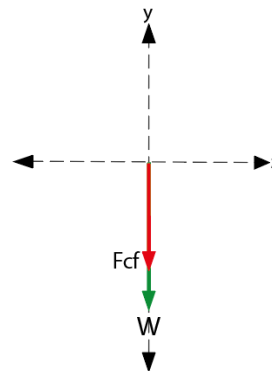
Nota. La figura muestra el martillo en la posición 1.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{F_{R1y}} &= F_{cfy} - W_{martillo} \\ \overrightarrow{F_{R1y}} &= F_{cf} * \text{sen}(30^0) - W_{martillo} \\ \overrightarrow{F_{R1y}} &= 1411.360 \text{ N} * \text{sen}(30^0) - 1.40\text{N} \\ \overrightarrow{F_{R1y}} &= 704.28\text{N} \\ \overrightarrow{F_{R1z}} &= F_{cfz} \\ \overrightarrow{F_{R1z}} &= F_{cf} * \text{cos}(30^0) \\ \overrightarrow{F_{R1z}} &= 1411.360 \text{ N} * \text{cos}(30^0) \\ \overrightarrow{F_{R1z}} &= 1222.27\text{N} \\ F_{R1} &= \sqrt{704.28^2 + 1222.27^2} \\ F_{R1} &= 1410.66 \text{ N} \end{aligned}$$

DCL del martillo (caso 2)

Figura 67

Fuerzas presentes del martillo del caso 2



Nota. La figura muestra el martillo en la posición 2.

$$\overrightarrow{F_{R2}} = F_{R2y} = -F_{cf} - W_{martillo}$$

$$\vec{F}_{R2} = -F_{cf} - W_{martillo}$$

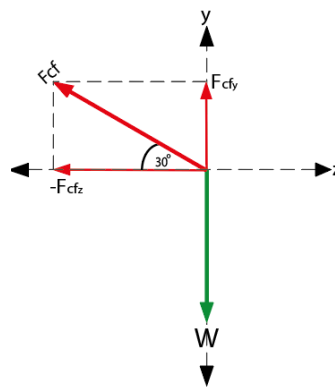
$$\vec{F}_{R2} = -1411.360N - 1.40N$$

$$F_{R2} = -1412.76N$$

DCL del martillo (caso 3)

Figura 68

Fuerzas presentes del martillo del caso 3



Nota. La figura muestra el martillo en la posición 3.

$$\vec{F}_{R3y} = F_{cfy} - W_{martillo}$$

$$\vec{F}_{R3y} = F_{cf} * \text{sen}(30^0) - W_{martillo}$$

$$\vec{F}_{R3y} = 1411.360 N * \text{sen}(30^0) - 1.40N$$

$$\vec{F}_{R3y} = 704.28N$$

$$\vec{F}_{R3z} = -F_{cfz}$$

$$\vec{F}_{R3z} = -F_{cf} * \text{cos}(30^0)$$

$$\vec{F}_{R3z} = -1411.360 N * \text{cos}(30^0)$$

$$\vec{F}_{R3z} = -1222.27N$$

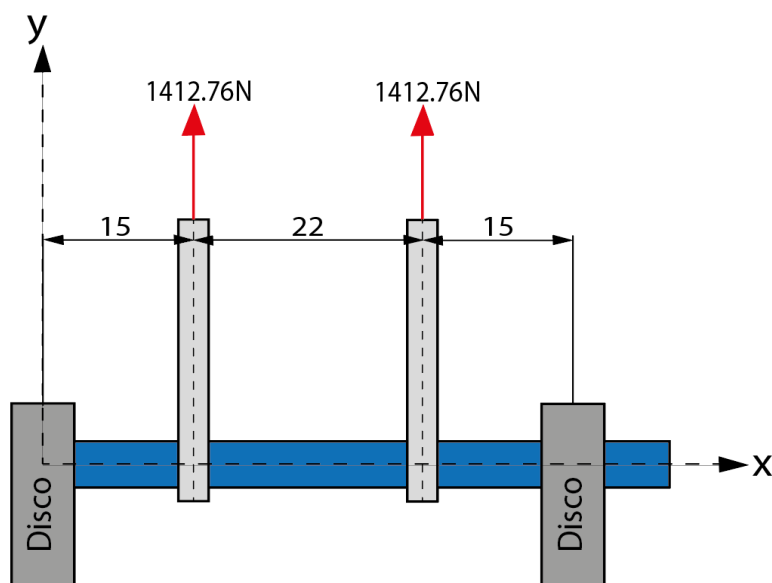
$$F_{R3} = \sqrt{704.28^2 + 1222.27^2}$$

$$F_{R3} = 1410.66 N$$

Al resolver las ecuaciones de equilibrio, se puede observar que la posición 2 presenta la fuerza resultante más predominante. Esto se debe a que la fuerza del peso del martillo se encuentra en la misma dirección que la fuerza centrífuga, lo que resulta en una suma de fuerzas. Como resultado, se obtiene una fuerza resultante de 1412.76 N. Por esta razón, esta fuerza será la mayor de todas y se considerará en el cálculo de los esfuerzos máximos. El DCL correspondiente a la sección del eje secundario se muestra en la figura 69.

Figura 69

Fuerzas presentes en el eje secundario



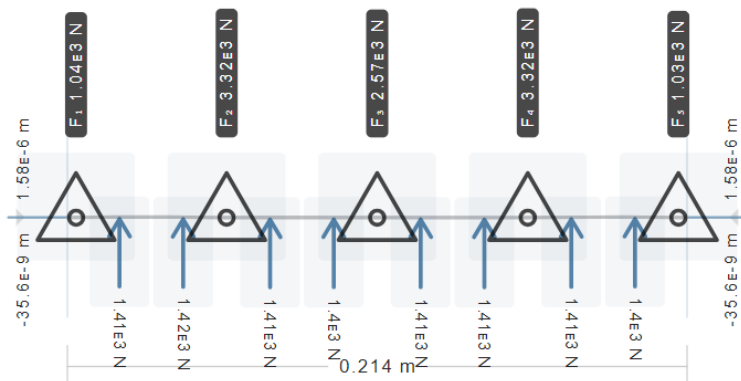
Nota. En la figura se observa la magnitud de fuerza que genera cada martillo entre dos discos en el eje secundario

Posteriormente con las fuerzas resultantes obtenidas de los martillos y el correspondiente DCL se realiza la simulación, colocando los 8 martillos que van en un eje secundario y cinco apoyos que representan a los discos, mediante software, como se muestra en la figura 70.

Los diagramas resultantes se pueden apreciar en la figura 71.

Figura 70

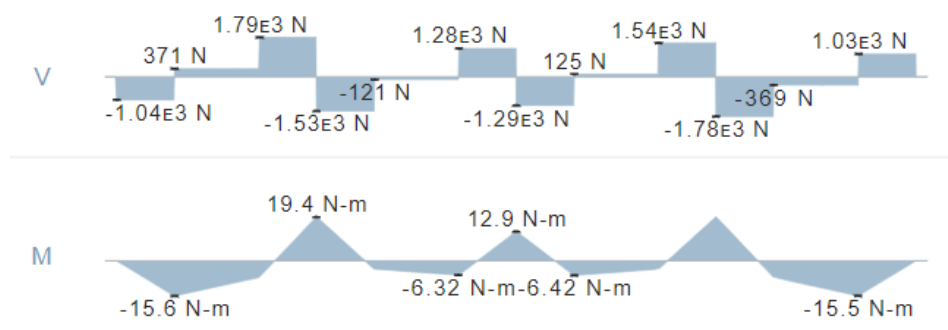
Diagrama de fuerzas presentes en el eje secundario



Nota. En la figura se observa las fuerzas que ejercen los martillos sobre el eje secundario.

Figura 71

Diagrama de fuerzas cortantes y momento máximo eje secundario



Nota. En la figura se observa las fuerzas cortantes y momento máximo en el eje.

Como se observa en la figura 71 se obtuvo el momento máximo que es de $M_{max} = 19.4 \text{ Nm}$ y la fuerza cortante respectiva es $V = 1790 \text{ N}$.

Analizando los diámetros de ejes que hay en el mercado nacional, se considera usar un eje AISI 1020, con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada (12,7mm) y con resistencia a la fluencia ($S_y=370$ MPa) como se puede apreciar en el Anexo G. Con estos antecedentes se procede a calcular el esfuerzo máximo, con la siguiente expresión:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} \quad (20)$$

Donde Z es el módulo de sección analizada, que para este caso es una sección circular y se calcula con la siguiente expresión:

$$Z = \frac{\pi * d^3}{32} \quad (21)$$

$$Z = \frac{\pi * (0.0127m)^3}{32}$$

$$Z = 2,011x10^{-7}m^3$$

Calculando el esfuerzo máximo, utilizando la ecuación 20, se tiene que:

$$\sigma_{max} = \frac{19.4 Nm}{2.011x10^{-7}m^3}$$

$$\sigma_{max} = 96.5 MPa$$

Ahora, se calcula el esfuerzo cortante en el eje utilizando la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{V}{A} \quad (22)$$

Sabiendo que la sección del eje secundario es circular, el área sería:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0.00635m)^2$$

$$A = 1,267 * 10^{-4}m^2$$

Finalmente, utilizando la expresión 22 se calcula el esfuerzo cortante:

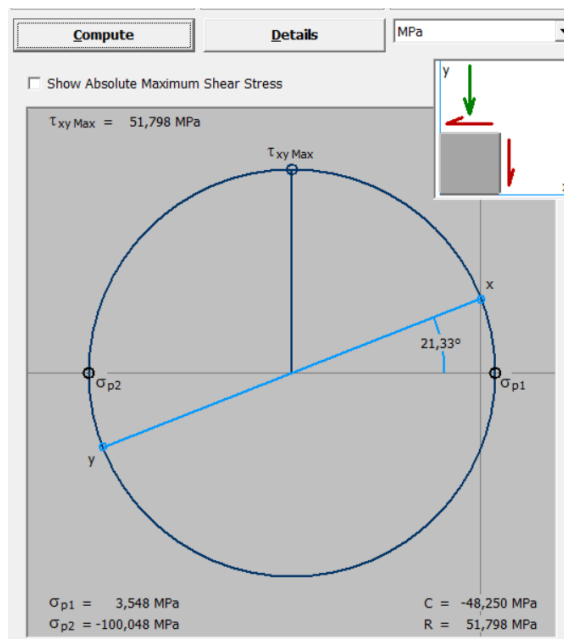
$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{1790 N}{1,267 * 10^{-4}m^2}$$

$$\tau = 18.84 MPa$$

En el eje aparecen esfuerzos combinados, tanto cortantes y por flexión, por lo cual, sería idóneo utilizar un diagrama de círculo de Morh utilizando el programa MDSolid para encontrar los valores de las variables concernientes a la ecuación 23.

Figura 72

Diagrama Circulo de Mohr eje secundario



Nota. En la figura se observa los resultados obtenidos del diagrama de circulo de Morh.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} \quad (23)$$

$$\sigma = \sqrt{(3.548)^2 + (-100.048)^2 - (3.548)(-100.048)}$$

$$\sigma = 101.87 \text{ MPa}$$

Finalmente se encuentra el factor de seguridad del eje secundario utilizando la siguiente expresión:

$$N = \frac{S_y}{\sigma} \quad (24)$$

$$N = \frac{370 \text{ MPa}}{101.87 \text{ MPa}}$$

$$N = 3.63$$

Se concluye que el factor de seguridad calculado para el eje secundario a utilizar será adecuado para esta aplicación.

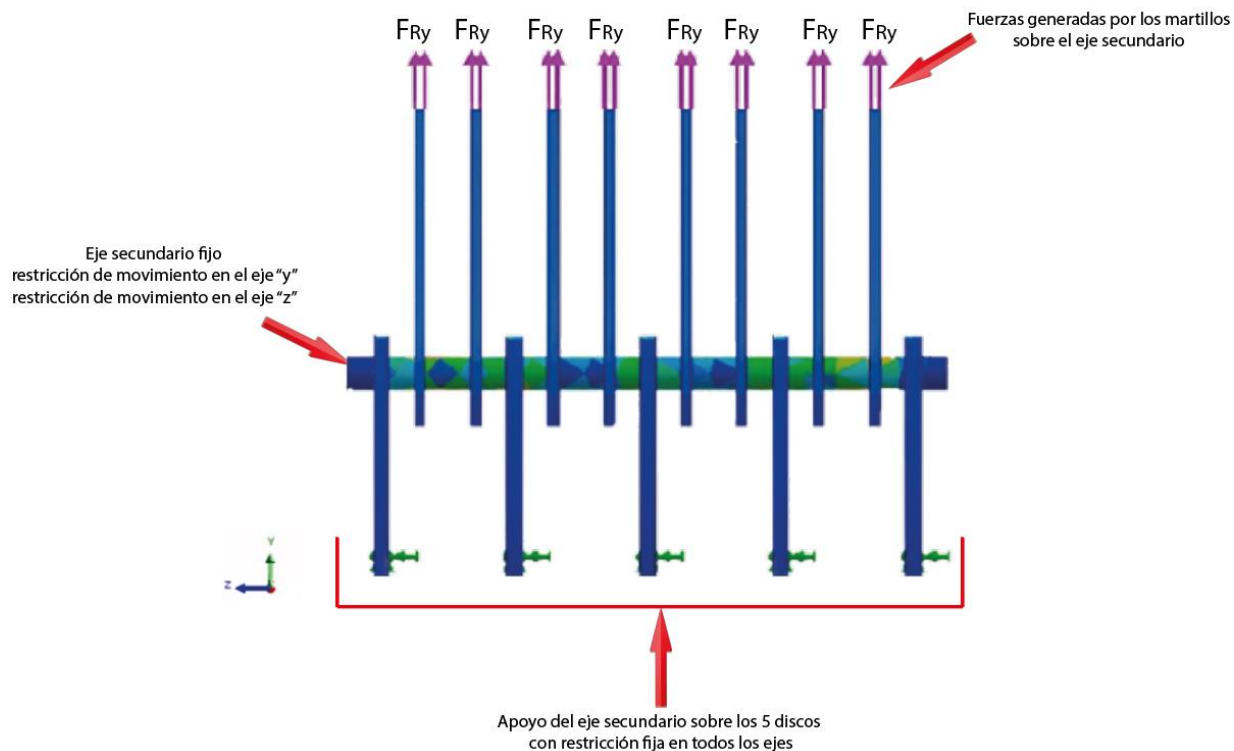
Además, a continuación, se realiza una simulación de análisis de elementos finitos para validar los cálculos obtenidos.

Análisis de elementos finitos del eje secundario

Para realizar este análisis en los ejes secundarios, como condiciones de frontera se consideran apoyos fijos de los 5 discos en donde pasa el eje secundario, se restringe el movimiento del eje secundario en los todos los ejes y se simula las fuerzas que genera cada uno de los 8 martillos de ($F_{Ry} = 1412.76 N$), ubicados en el eje secundario como se muestra en la figura 73. Las simulaciones obtenidas del análisis computacional del eje secundario se indica en las figuras 74, 75, 76.

Figura 73

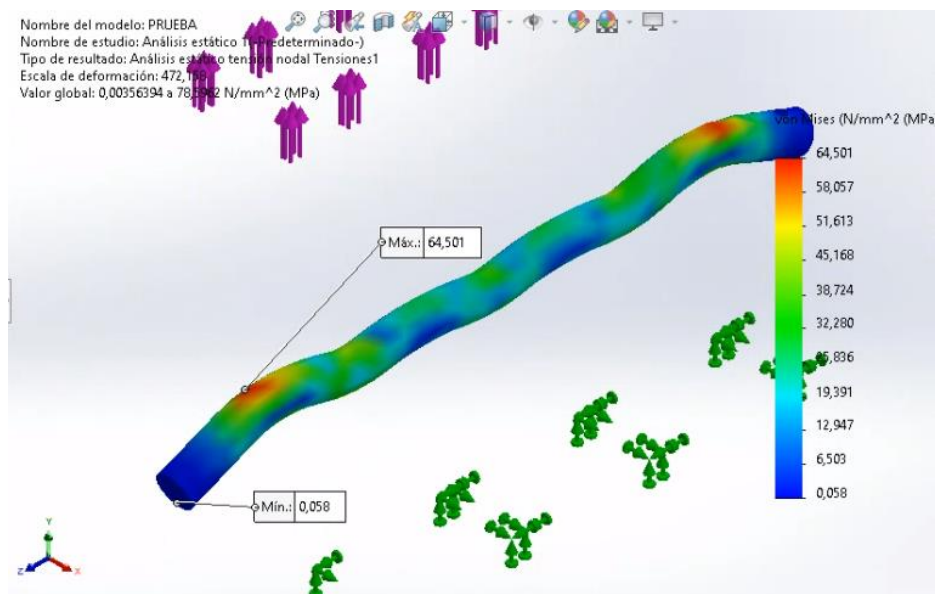
Condiciones utilizadas para simulación del eje secundario



Nota. En la figura se observa las condiciones de frontera del eje secundario.

Figura 74

Análisis estático de tensión Von Mises



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Figura 75

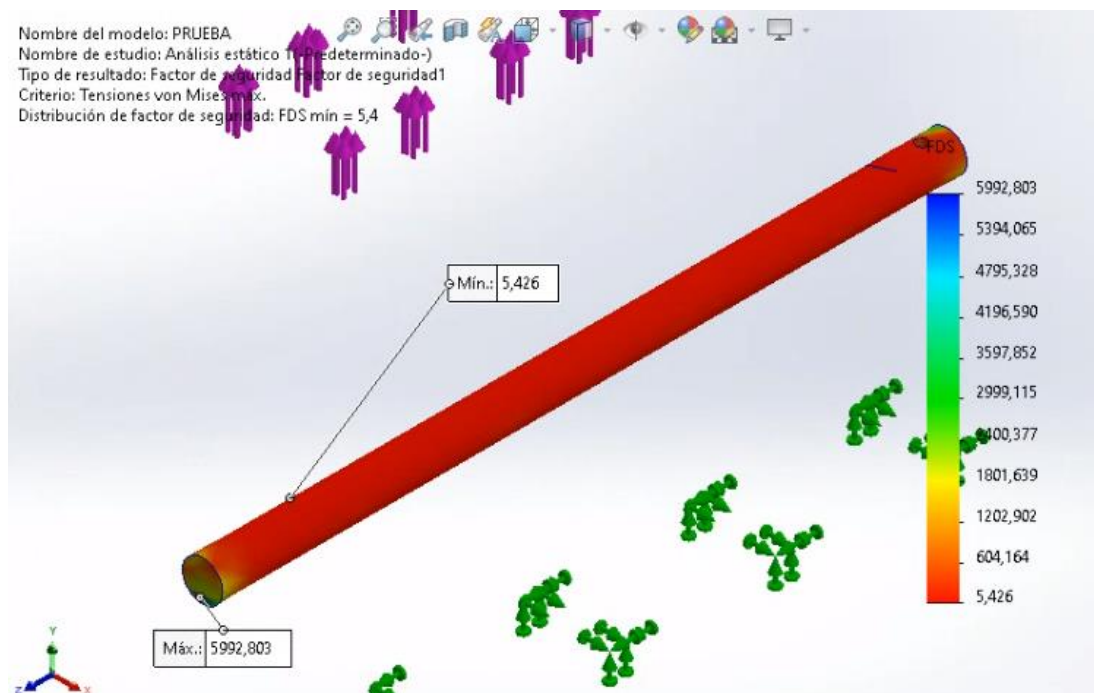
Análisis estático de desplazamiento



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Figura 76

Análisis estático del factor de seguridad



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

En la simulación de análisis de elementos finitos se obtuvo un valor de tensión de Von Mises máximo de 64.5 MPa, el cual no supera el límite elástico de 370 MPa del material del eje secundario, el cual se puede observar en la figura 74.

En la figura 75 se identifica también que en el desplazamiento estático máximo que puede ocurrir en el material tiene un valor de 0.017mm, el cual es despreciable, por lo que no ocurre ninguna tendencia a deformación o falla.

Finalmente, se aprecia en la figura 76 que el valor mínimo de factor de seguridad obtenido es de 5.4, el cual es un valor adecuado e indicador confiable obtenido dentro del diseño de este elemento.

Diseño de los discos

Los discos son componentes circulares que desempeñan un papel crucial al sostener los ejes secundarios que contienen los martillos. Estos discos son atravesados por el eje principal en su centro, lo que al iniciar la rotación genera una fuerza centrífuga de naturaleza radial.

Esta fuerza centrífuga actúa para mantener los martillos en una posición perpendicular al eje, asegurando así su estabilidad durante el funcionamiento de la máquina.

Reacciones en los discos

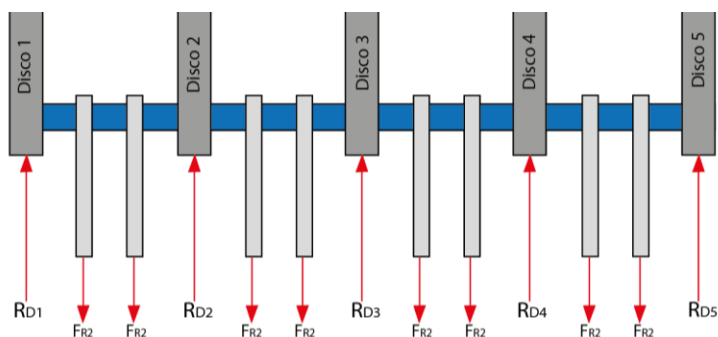
Para determinar las reacciones presentes en los orificios de los discos, es necesario realizar un análisis utilizando las fuerzas resultantes en los ejes secundarios por efecto de las fuerzas de los martillos.

Estas fuerzas son causadas por el peso y la fuerza centrífuga de cada uno de los martillos, considerando la posición más representativa identificada previamente, en este caso, el número 2.

El diagrama que representa las reacciones que se generarán en los discos se muestra a continuación:

Figura 77

Reacciones en los discos

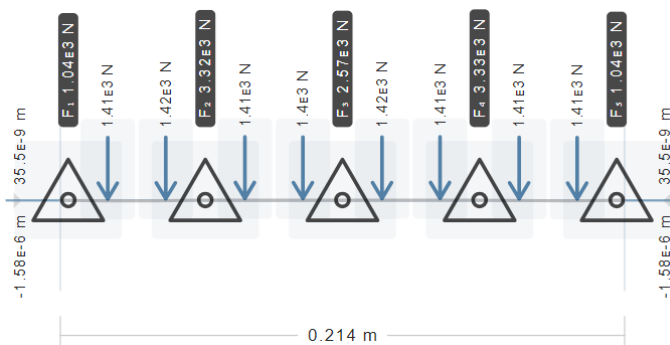


Nota. En la figura se aprecia las reacciones que se generan en los discos por efecto de las fuerzas perpendiculares de los martillos ubicados en el eje secundario.

A continuación, se analiza el diagrama utilizando la fuerza resultante en el eje secundario generada por los martillos en el caso 2, igual a $F_{R2} = 1412.76\text{N}$. Es necesario analizar las reacciones en cada disco, aunque por simetría ya se asume que las reacciones de los extremos serán de igual magnitud. Para analizar este caso se utiliza el software Deflection en el cual es permitido utilizar más de tres puntos apoyo para el análisis. El diagrama de fuerzas y reacciones a lo largo del eje secundario se puede apreciar en la figura 78.

Figura 78

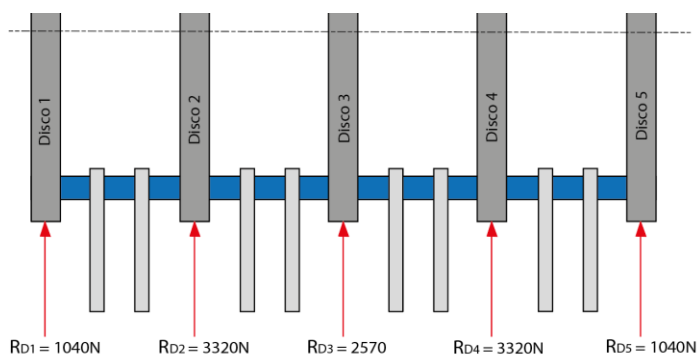
Reacciones en los discos



Nota. En la figura se observa marcado en color negro las reacciones resultantes correspondientes a cada uno de los 5 discos del conjunto triturador.

Figura 79

Reacciones obtenidas en cada disco



Nota. En la figura se observa las reacciones resultantes obtenidas para cada uno de los 5 discos.

Al examinar la figura 79, se nota que los discos 1 y 5, situados en los extremos, experimentarán una fuerza de reacción menor en comparación con los discos 2, 3 y 4, los cuales deberán soportar una carga mayor a estos.

Por lo tanto, se prestará especial atención a los discos intermedios. A partir de esta observación, se puede concluir que:

$$R_{D1} = R_{D5} = 1040 \text{ N}$$

$$R_{D2} = R_{D4} = 3320 \text{ N}$$

$$R_{D3} = 2570 \text{ N}$$

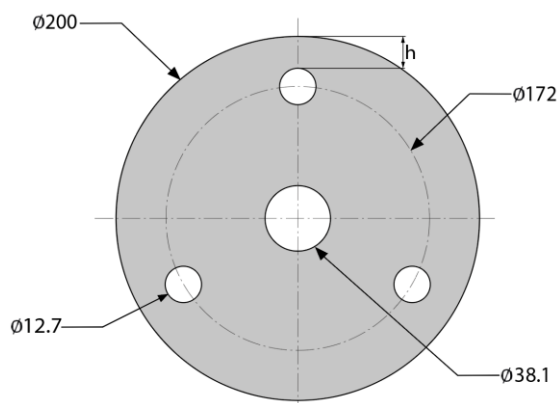
Finalmente, ya se ha encontrado la reacción más crítica, la cual aparece en los discos 2 y 4, la cual es de $R_{crítica} = 3320 \text{ N}$.

Dimensiones del disco

Se sugiere utilizar un disco con un diámetro de 200 mm para alcanzar el radio de giro obtenido en cálculos previos, mientras que el tamaño de los agujeros se determina según las dimensiones obtenidas del diseño resultante de los ejes secundarios, tal como se muestra en la figura 80.

Figura 80

Dimensiones del disco



Nota. En la figura se aprecia las medidas principales de diseño con las que se fabricará los discos porta ejes secundarios.

La distancia "h" que separa el borde exterior del disco y el agujero se puede calcular mediante la siguiente operación:

$$h = \frac{200}{2} \text{ mm} - \frac{172}{2} \text{ mm} - \frac{12.7}{2} \text{ mm}$$

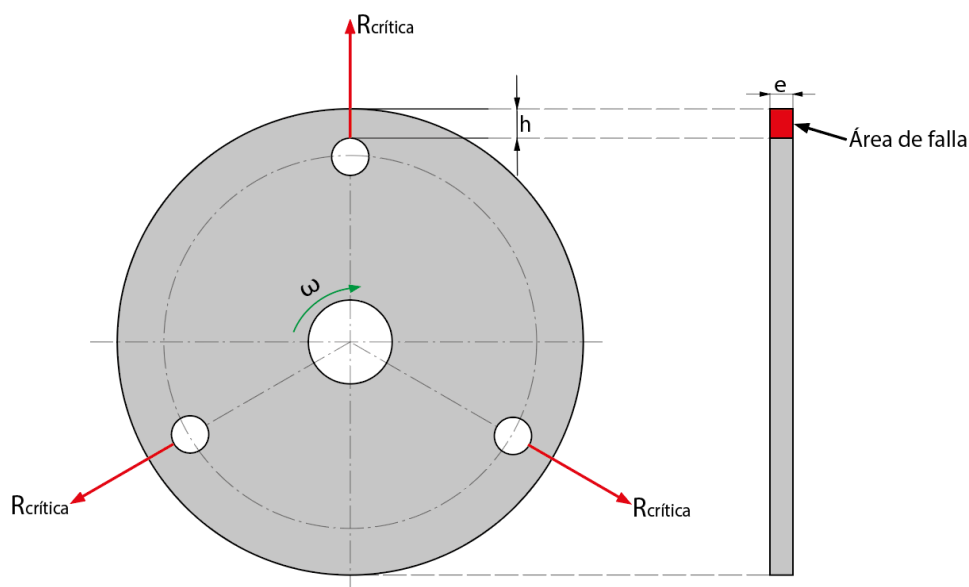
$$h = 7.65 \text{ mm}$$

Cálculo del espesor del disco

Para realizar el cálculo del espesor del disco se considerará un factor de seguridad de 3, la reacción más crítica $R_{crítica} = 3320 \text{ N}$ obtenida en el punto anterior y utilizando las dimensiones del disco de la figura 81.

Figura 81

Reacción crítica y área de falla del disco



Nota. En la figura se observa que el área de color rojo es la que se tiene que considerar para el análisis de esfuerzos que genera la reacción crítica en el agujero del disco.

Para calcular el área de la sección de falla se puede utilizar la siguiente expresión:

$$A_{falla} = e * h \tag{25}$$

También se puede utilizar la ecuación 25 que relaciona la reacción crítica y el área de falla:

$$\frac{R_{crítica}}{A_{falla}} = \frac{S_y}{2 * N} \quad (26)$$

Sustituyendo la ecuación 25 en la ecuación 26 se puede obtener la siguiente expresión para despejar el espesor del disco:

$$\frac{R_{crítica}}{e * h} = \frac{S_y}{2 * N}$$

$$e = \frac{2 * N * R_{crítica}}{S_y * h}$$

Como se mencionó anteriormente en este capítulo, el material seleccionado para la fabricación de los discos es el acero ASTM A36. Las propiedades mecánicas de este material se pueden encontrar en la figura 82, donde se tiene un límite elástico de 250 MPa. Para obtener más información sobre las características de este material, se puede realizar un análisis detallado en el Anexo H.

Figura 82

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Propiedades Mecánicas			
Resistencia a la tracción	Límite Elástico, min	Alargamiento %, min	
		200 mm	50 mm
41 - 56 Kg /mm ²	23 - 25 Kg / mm ²	20	23
400 - 550 Mpa	250 Mpa.		
58 – 80 ksi.	36 ksi		

Nota. Propiedades mecánicas del acero A36. Tomado de (Aceros S.A., 2023)

Finalmente sustituyendo los datos obtenidos y considerando un factor de seguridad adecuado, se obtiene el siguiente resultado:

$$e = \frac{1.75 * 2 * 3320N}{250 * 10^6N * 0.00765m}$$

$$e = 6 \text{ mm}$$

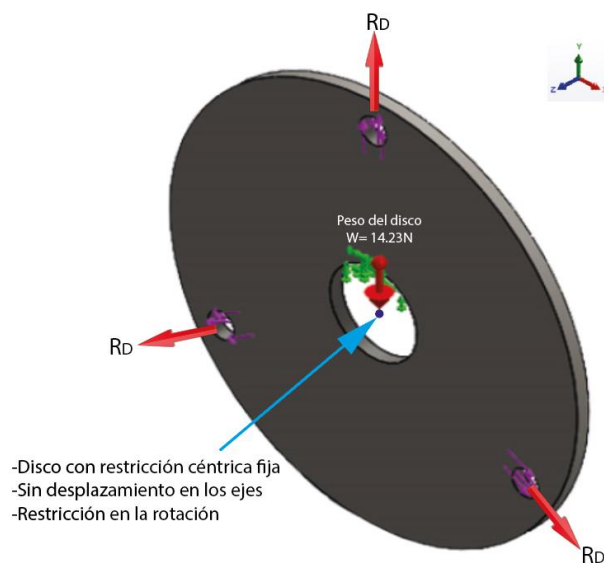
En conclusión, el espesor necesario para prevenir cualquier tipo de falla debido a la ruptura causada por el esfuerzo cortante en el agujero es de 6 mm. Con el espesor determinado y las dimensiones del disco, se procede a realizar una simulación de elementos finitos para validar estos resultados como se indica a continuación:

Análisis de elementos finitos en el disco

Para el análisis computacional en el disco es necesario identificar algunas condiciones de frontera, primero se coloca una restricción fija en el agujero central del disco por donde pasará el eje principal, se considera también el peso que genera el propio disco y se colocan las reacciones máximas que se obtuvieron ubicadas en los agujeros por donde pasan los ejes secundarios, de esta forma se puede saber la deformación que tendría por efecto de la fuerza que generan los martillos sobre este eje y este sobre el disco como se indica en la figura 83.

Figura 83

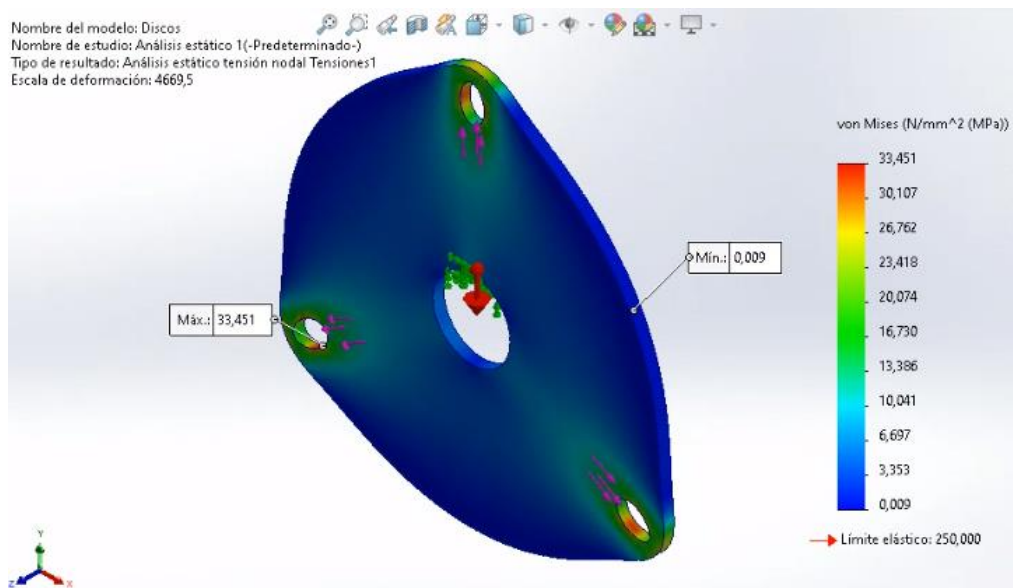
Condiciones de frontera para análisis computacional en el disco



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 84

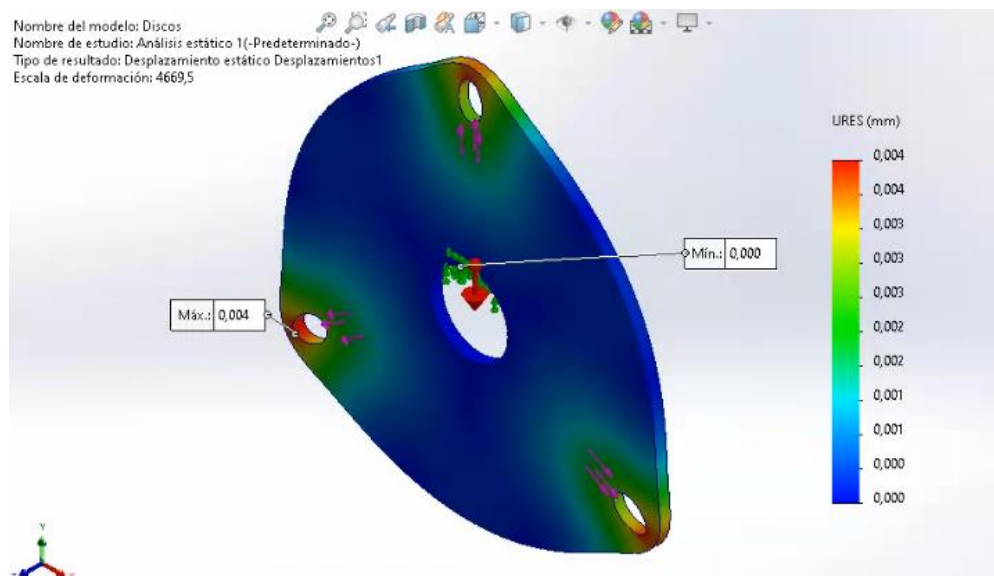
Análisis estático de tensión Von Mises



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 85

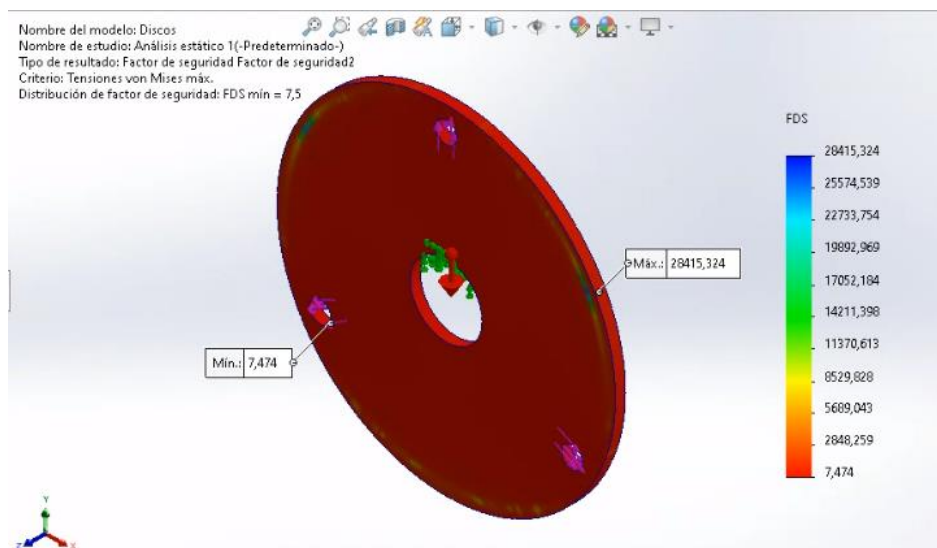
Análisis estático de desplazamiento



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 86

Análisis estático del factor de seguridad



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

En las simulaciones realizadas se identifica que el valor máximo de tensión de Von Mises obtenido de 33.45 MPa no supera el límite elástico del material propuesto del disco de 250MPa como se indica en la figura 84, teniendo buenos resultados. Por otro lado, se identifica en la figura 85 que en el desplazamiento estático máximo que puede ocurrir en el material es de 0.004mm, el cual es despreciable, lo que indica que no existe ninguna tendencia a deformación o falla. Finalmente se observa en la figura 86 que el factor de seguridad mínimo se encuentra en los orificios donde se alojan los ejes secundarios del disco, el cual es de 7.47, este es un valor aceptable e indica un diseño seguro de este elemento.

Material del disco

Los discos se fabricarán en base a materiales nacionales disponibles en el mercado y obtenidos en el diseño, para este caso se consigue planchas de acero ASTM A36 de 6 mm de espesor con las dimensiones que se indican en la figura 87.

Figura 87

Dimensiones de planchas de acero ASTM A36

Espesor Nominal (mm)	Peso Nominal			
	1.000 x	1.000 x	1.500 x	1.500 x
	3.000 (kg)	6.000 (kg)	3.000 (kg)	6.000 (kg)
1,5	36	72	-	-
2,0	48	96	72	144
2,5	60	120	-	-
3,0	72	144	108	216
4,0	96	192	144	288
5,0	120	240	180	360
6,0	144	288	216	432
8,0	192	384	-	-
10,0	240	480	-	-
12,0	288	576	-	-

Nota. En la figura se aprecia las dimensiones comerciales que se puede encontrar en planchas de calidad ASTM A36 laminadas en caliente. Tomado de (Comindus Ltda., 2020)

Masa y peso del disco

A partir de la masa y dimensiones del acero proporcionados en la figura 87, se establecerá una relación entre el área total de la plancha de acero y el área de un disco para determinar la masa correspondiente.

$$A_{plancha} = 1000mm * 3000mm$$

$$A_{plancha} = 3 * 10^6 mm^2$$

Ahora, calculando el área del disco de la parte externa se tiene que:

$$A_{disco,ext} = \pi * r^2$$

$$A_{disco,ext} = \pi * (100mm)^2$$

$$A_{disco,ext} = 31415.93 mm^2$$

Hay que considerar que el disco tendrá un agujero en el centro por donde pasará el eje principal, por lo que habría que restar ese espacio de área cómo se indica a continuación

$$A_{disco,int} = \pi * (19mm)^2$$

$$A_{disco,int} = 1134.115 mm^2$$

Restando las áreas se obtiene el área final del disco

$$A_{disco} = A_{disco,ext} - A_{disco,int}$$

$$A_{disco} = 31415.93 \text{ mm}^2 - 1134.115 \text{ mm}^2$$

$$A_{disco} = 30281.815 \text{ mm}^2$$

Finalmente, para conocer la masa del disco se realiza una regla de tres relacionando el área de la plancha comercial y el área de cada disco.

$$A_{plancha} \text{ --- } 144 \text{ Kg}$$

$$A_{disco} \text{ --- } x$$

$$x = \frac{A_{disco} * 144 \text{ Kg}}{A_{plancha}}$$

$$x = \frac{30281.815 \text{ mm}^2 * 144 \text{ Kg}}{3 * 10^6 \text{ mm}^2}$$

$$x = 1.45 \text{ Kg}$$

Calculando el peso del disco:

$$W_{disco} = m_{disco} * g$$

$$W_{disco} = 1.45 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{disco} = 14.23 \text{ N}$$

Se determina que cada disco del sistema de trituración tendrá una masa de 1.45 kg y un peso de 14.23 N.

Cálculo de potencia del motor eléctrico

Se calcula la potencia requerida del motor para impulsar el conjunto triturador utilizando la fórmula 27. El rendimiento del motor se considera en función de las opciones disponibles comercialmente. Además, se utiliza un dato estandarizado para evaluar el rendimiento del sistema de transmisión, específicamente para sistemas de poleas con correa.

$$P_{motor} = \frac{m_{martillo} * \phi_{disco}^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * \eta * \eta_{motor}} \quad (27)$$

Donde:

P_{motor} : Potencia del motor [Hp]

$m_{martillo}$: masa del martillo [Kg]

ϕ_{disco} : diámetro del disco [m]

e : número de martillos

n : velocidad angular en el eje [rpm]

f : factor variable dependiente de V_t

η_{motor} = rendimiento del motor [%]

η : rendimiento mecánico por transmisión de poleas [%]

Según (Bermeo, 2014) "Para velocidades tangenciales superiores a 40 m/s, se utiliza un factor "f" de 0.00042". Una vez que se disponen de todos los datos necesarios, se procede al cálculo de la potencia de acuerdo con las siguientes indicaciones:

$$P_{motor} = \frac{0.143Kg * (0.2m)^2 * (3000rpm)^3 * 24 * 0.00042}{8 * 100000 * 0.9 * 0.85}$$

$$P_{motor} = 2.54 Hp$$

Considerando tanto el diseño como la disponibilidad comercial, se puede concluir que el motor seleccionado debe tener una potencia de 3 Hp.

Calculando el torque en el eje del motor se puede utilizar la expresión 28, y se calcula a continuación:

$$T = \frac{P_{motor}}{\omega_{eje}} \quad (28)$$

Donde:

T = Torque del motor [Nm]

ω = velocidad angular en el eje [rad/s]

$$T = \frac{3Hp * \frac{745.7 W}{1Hp}}{314.16 rad/s}$$

$$T = 7.12 Nm$$

Cálculo y selección de poleas - bandas de transmisión

La correcta selección de bandas y poleas es esencial para lograr la velocidad deseada y garantizar que el movimiento se transmita dentro de los parámetros requeridos. A continuación, se describen los pasos a seguir para el diseño completo de lo mencionado anteriormente:

Selección del factor de servicio

El factor de servicio es un valor que indica la capacidad de un sistema para funcionar de manera confiable, considerando las cargas y las condiciones del entorno de trabajo en el que se encuentre. Este valor puede variar según la aplicación, el tipo de máquina y las horas de funcionamiento requeridas, que en este caso está referido al sistema de transmisión conectado al eje principal del conjunto triturador, los factores de servicio específicos se encuentran detallados en el Anexo I.

En el presente caso, se utiliza para una máquina - molino de percusión (martillos) con un motor eléctrico de corriente alterna de bajo torque y arranque directo. Además, la máquina funcionará menos de 10 horas al día. Dicho esto, se identifica en el Anexo I un factor de servicio para este caso de:

$$f_s = 1.4$$

Cálculo de la potencia de diseño

Es la potencia máxima que se transmitirá a través de las bandas, se puede calcular utilizando la ecuación 29.

$$P_{diseño} = P_{motor} * f_s \tag{29}$$

$$P_{diseño} = 3 Hp * 1.4$$

$$P_{diseño} = 4.2 Hp$$

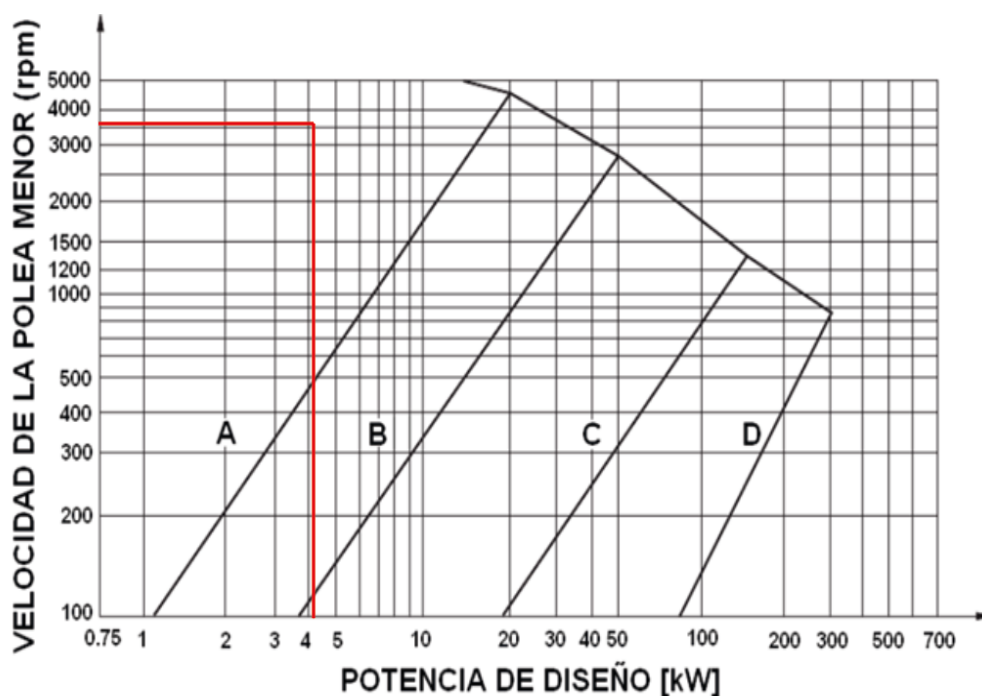
Selección de perfil de la correa

El perfil de la correa adecuado se obtiene a partir de la potencia de diseño y la velocidad de la polea menor del sistema de transmisión.

Como se observa en la figura 88 para una velocidad en la polea del eje conducido de 3600 rpm y una potencia de diseño de 4.2 Hp el tipo de banda a utilizar recae sobre la banda tipo A.

Figura 88

Selección de tipo de correa



Nota. En la figura se aprecia que el tipo de correa a utilizar se obtiene en base a la velocidad angular de la polea menor y la potencia de diseño. Tomado de (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013).

Selección del diámetro de las poleas

Para calcular el diámetro de la polea conducida y lograr reducir la velocidad angular requerida para el eje del conjunto triturador, se utilizan los siguientes datos: la velocidad

requerida en el eje del molino es de 3000 rpm y la velocidad nominal de la placa del motor es de 3600 rpm.

Al buscar en catálogos de mercado, se encontraron poleas disponibles con un diámetro de 4 pulgadas para colocar en el eje del motor. Con estas características, se puede calcular el diámetro de la polea conducida utilizando la ecuación 30:

$$i = \frac{\omega_{eje}}{\omega_{motor}} = \frac{d_{motriz}}{d_{conducida}} \quad (30)$$

Donde:

$d_{conducida}$ = diámetro de la polea conducida [in]

d_{motriz} = diámetro de la polea motriz [in]

ω_{motor} = velocidad angular del motor [rpm]

ω_{eje} = velocidad angular del eje del molino [rpm]

$$i = \frac{\omega_{eje}}{\omega_{motor}}$$

$$i = \frac{3000 \text{ rpm}}{3600 \text{ rpm}}$$

$$i = 0.833$$

$$d_{conducida} = \frac{d_{motriz}}{i}$$

$$d_{conducida} = \frac{4 \text{ in}}{0.833}$$

$$d_{conducida} = 4.8 \text{ in} \approx 5 \text{ in}$$

Se verifica que el diámetro obtenido sea mayor que el mínimo recomendado según el perfil correspondiente, tal como se indica en la figura 89.

Figura 89

Diámetro mínimo para cada perfil de banda

Perfil	A	B	C	D
Diámetro mínimo [mm]	71	112	180	355

Nota. La figura presenta el diámetro mínimo recomendado de poleas para cada tipo de correa.

Tomado de (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013)

Entonces, conociendo que el perfil de la polea a utilizar es de sección tipo A se tiene lo siguiente:

$$(4 \text{ in} = 101.6 \text{ mm}) > 71 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se concluye que sí cumple con la condición recomendada en la figura 89, lo que significa que la polea conducida tendrá un diámetro de 5 pulgadas y la polea conductora de 4 pulgadas.

Cálculo de la velocidad de la banda

Este cálculo es necesario para garantizar que las bandas no superen el valor de la velocidad límite permisible según el perfil utilizado. Se realiza mediante la ecuación 31 obteniendo:

$$v_{banda} = \frac{n_{motor} * \pi * d_{motriz}}{60000} = \frac{n_{eje} * \pi * d_{conducida}}{60000} \quad (31)$$

$$v_{banda} = \frac{n_{motor} * \pi * d_{motriz}}{60000}$$

$$v_{banda} = \frac{3600 \text{ rpm} * \pi * \left(4 \text{ in} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}}\right)}{60000}$$

$$v_{banda} = 19.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013)“la velocidad para bandas en “V” no debe exceder de los 30 m/s”, por lo cual se comprueba que la velocidad obtenida tiene un valor aceptable.

Cálculo de la longitud de la correa y distancia entre centros

Para calcular la distancia entre centros, se sugiere encontrar inicialmente una distancia aproximada utilizando la expresión 32 (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013).

$$0.7 * (d_1 + d_2) < a_0 < 2 * (d_1 + d_2) \quad (32)$$

$$0.7 * (4 \text{ in} + 5 \text{ in}) < a_0 < 2 * (4 \text{ in} + 5 \text{ in})$$

$$6.3 \text{ in} < a_0 < 18 \text{ in}$$

Una vez establecido el intervalo, se puede estimar un valor intermedio, el cual se elige el siguiente:

$$a_0 = 16 \text{ in}$$

Luego se encuentra una longitud aproximada de la banda utilizando la expresión 33 (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013).

$$L_0 = 2 * a_0 + \frac{\pi}{2} * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * a_0} \quad (33)$$

$$L_0 = 2 * 16 \text{ in} + \frac{\pi}{2} * (5 \text{ in} + 4 \text{ in}) + \frac{(5 \text{ in} - 4 \text{ in})^2}{4 * 16 \text{ in}}$$

$$L_0 = 46.15 \text{ in} = 1172.21 \text{ mm}$$

Una vez que se ha obtenido una longitud aproximada de la correa (L_0), se procede a buscar en catálogos de bandas comerciales disponibles en el mercado que se ajusten a esta longitud primitiva calculada. Se busca una banda que sea de fácil adquisición para su implementación.

La longitud seleccionada se indica en la figura 90.

Figura 90

Longitudes de banda comerciales

Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)
41	1066	1075	1086	-
42	1092	1106	1100	-
43	1117	1134	1140	-
44	1143	1153	1156	1191
45	1168	1186	1184	1217
46	1193	1199	1204	1242
47	1219	1232	1237	1267
48	1244	1262	1268	1293
49	1270	1280	1288	1318
50	1295	1306	1318	1344
51	1320	1330	1328	1357
52	1346	1354	1367	1394
53	1371	1381	1392	1429
54	1397	1405	1410	1442
55	1422	1429	1443	1460
56	1447	1459	1460	1497
57	1473	1492	1491	1527
58	1498	1507	1512	1550
59	1524	1532	1541	1576
60	1549	1556	1556	1598
61	-	1584	1601	1623
62	-	1605	1626	1648
63	-	1633	1641	1674

Nota. En la figura se aprecia la longitud primitiva nominal para cada sección de correa, al momento de adquirir las bandas es indispensable solicitarlas en pulgadas como se indica en la primera columna. Tomado de (Dunlop S.A., 2015)

En base a la tabla de la figura 90, se opta por utilizar una correa comercial disponible de la sección A con una longitud de $L_p = 1262 \text{ mm}$.

En los lugares comerciales de bandas de transmisión se encontró la disponibilidad de esta banda en la marca DONGIL A-48, como se puede observar en la figura 91.

Figura 91

Banda adquirida para el sistema de transmisión



Nota. En la figura se observa las características de la banda a utilizar.

Finalmente se procede a realizar el cálculo de la distancia entre centros real de las poleas utilizando la ecuación 34 (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013).

$$a = \frac{L_p}{4} - \pi * \frac{(d_1 + d_2)}{8} + \sqrt{\left(\frac{L_p}{4} - \pi * \frac{(d_1 + d_2)}{8}\right)^2 - \frac{(d_2 - d_1)^2}{8}} \quad (34)$$

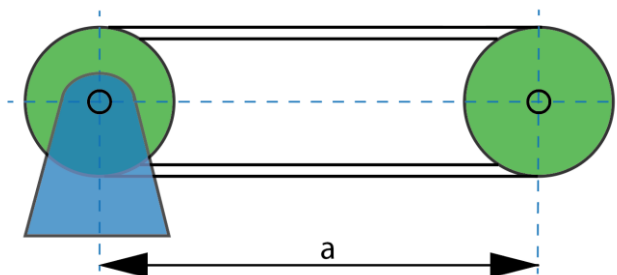
$$a = \frac{1262}{4} - \pi * \frac{(101.6 + 127)}{8} + \sqrt{\left(\frac{1262}{4} - \pi * \frac{(101.6 + 127)}{8}\right)^2 - \frac{(127 - 101.6)^2}{8}}$$

$$a = 225.73 + 225.55$$

$$a = 451.28 \text{ mm}$$

Figura 92

Distancia entre centros



Nota. En la figura se observa la distancia entre centros de las poleas.

Cálculo de ciclos de flexión por segundo

La flexión que tienen las bandas es una característica importante que dictamina en la vida útil de todo el sistema de transmisión por lo que puede ocurrir calentamientos en las correas.

El valor recomendado de i_f por seguridad no debe sobrepasar los $40s^{-1}$ y se lo puede calcular utilizando la siguiente expresión (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013).

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{L_p} \quad (35)$$

donde:

n_p = número de poleas de la transmisión

v_{banda} = velocidad de la banda [m/s]

L_n = Longitud primitiva de la correa [mm]

$$i_f = 1000 * 2 * \frac{19.15 \frac{m}{s}}{1262 \text{ mm}}$$

$$i_f = 30.35 \text{ s}^{-1}$$

Como se pudo identificar, el coeficiente de ciclos por flexión no superar los 40s^{-1} por lo que se comprueba que no existirá un desgaste excesivo en las bandas.

Cálculo del ángulo de contacto

Este ángulo en el sistema de transmisión es el que se encuentra entre el contacto de la banda y la polea de menor diámetro, se puede calcular utilizando la fórmula 36.

$$\alpha = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{d_2 - d_1}{2 * a} \right) \quad (36)$$

$$\alpha = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{127 \text{ mm} - 101.6 \text{ mm}}{2 * 451.28 \text{ mm}} \right)$$

$$\alpha = 176.77^\circ$$

Cálculo de la potencia nominal transmisible por banda

Se puede calcular esta magnitud utilizando una de las fórmulas ampliamente aceptadas por fabricantes de sistemas de transmisión por bandas, según (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013) la expresión a utilizar para el cálculo es la siguiente:

$$N_1 = d * r * \left[K_1 - \frac{K_2}{d} - K_3 * (d * r)^2 - K_4 * \log * (d * r) \right] + K_2 * r * \left(1 - \frac{1}{k_i} \right) \quad (37)$$

donde:

N_1 = Potencia transmisible por correa [Kw]

d = Diámetro primitivo de la polea menor [mm]

$r =$ Frecuencia de rotación de la polea más rápida entre mil [rpm]

$K_i =$ Factor por razón de transmisión

$K_1, K_2, K_3, K_4 =$ Factores empíricos calculador por los fabricantes de correas

El valor de K_i se calcula con la siguiente expresión donde i viene a ser la relación de transmisión del sistema (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013).

$$K_i = \frac{1}{1 + 0.35 * \log \left\{ \frac{1 + 10 \left[- \left(\frac{1}{0.35} \right) \left(1 - \frac{1}{i} \right) \right]}{2} \right\}} \quad (38)$$

$$K_i = \frac{1}{1 + 0.35 * \log \left\{ \frac{1 + 10 \left[- \left(\frac{1}{0.35} \right) \left(1 - \frac{1}{0.833} \right) \right]}{2} \right\}}$$

$$K_i = 0.844$$

Los valores de los factores necesarios para la ecuación 37 se pueden obtener de la siguiente tabla. Dado que se utilizará un perfil de correa tipo "A", se obtienen los siguientes coeficientes como se indica en la figura 93.

Figura 93

Valores de coeficientes para cada tipo de correa

Perfil	K_1	K_2	K_3	K_4
A	0,041	1,954	$1,32 * 10^{-8}$	0,0036
B	0,065	4,361	$2,18 * 10^{-8}$	0,0056
C	0,108	10,22	$3,70 * 10^{-8}$	0,010
D	0,199	29,35	$7,10 * 10^{-8}$	0,017

Nota. Tomado de (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013)

Ya obtenidos los datos restantes se procede a remplazar en la fórmula 37:

$$N_1 = d * r * \left[K_1 - \frac{K_2}{d} - K_3 * (d * r)^2 - K_4 * \log(d * r) \right] + K_2 * r * \left(1 - \frac{1}{k_i} \right)$$

$$N_1 = 101.6 * 3.6 * \left[0.041 - \frac{1.954}{101.6} - 1.32 * 10^{-8} * (101.6 * 3.6)^2 - 0.0036 * \log(101.6 * 3.6) \right] + 1.954 * 3.6 * \left(1 - \frac{1}{0.844} \right)$$

$$N_1 = 365.76 * [0.041 - 0.01923 - 1.77 * 10^{-3} - 9.23 * 10^{-3}] - 1.3$$

$$N_1 = 2.64 \text{ Kw}$$

Cálculo de la cantidad de correas

Para el cálculo adecuado de correas se utiliza la siguiente expresión:

$$z = \frac{N * f_s}{N_1 * C_\alpha * C_L} \quad (39)$$

donde:

z = Número de correas

N : Potencia por transmitir [W]

f_s = Factor de servicio

N_1 = Potencia nominal transmisible por correa [kW]

C_α = Coeficiente del ángulo de contacto

C_L = Coeficiente por corrección de la longitud

Para obtener el valor del coeficiente del ángulo de contacto se utiliza la fórmula 40.

$$C_\alpha = 1.25 * \left(1 - 5^{\frac{-\alpha}{180}} \right) \quad (40)$$

$$C_\alpha = 1.25 * \left(1 - 5^{\frac{-176.77}{180}} \right)$$

$$C_\alpha = 0.992$$

Para determinar el coeficiente de corrección de longitud, se utiliza la fórmula 41, donde L_n representa la longitud de la correa y L_b es la longitud base estándar en milímetros. La longitud base estándar se puede obtener de la figura 94, la cual corresponde al perfil de la correa.

$$C_L = 1 + \left[\frac{\log(L_n) - \log(L_b)}{\log(L_b) - 1.65} \right] \quad (41)$$

$$C_L = 1 + \left[\frac{\log(1262) - \log(1730)}{\log(1730) - 1.65} \right]$$

$$C_L = 0.914$$

Figura 94

Longitud de base estándar para cada tipo de correa

Perfil	A	B	C	D
L_b [mm]	1730	2280	3800	6375

Nota. Tomado de (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013)

Ahora, al reemplazar los valores obtenidos anteriormente en la fórmula 39 del número de correas (Ozaeta Eidelman, Flórez García, & Higuera Cobos, 2013), se obtiene los siguientes resultados:

$$z = \frac{N * f_s}{N_1 * C_\alpha * C_L}$$

$$z = \frac{3Hp * \frac{746W}{1Hp} * 1.4}{2.64kW * 0.992 * 0.914}$$

$$z = 1.31 \text{ correas} \approx 2 \text{ correas}$$

Se concluye que 2 correas son las adecuadas para el sistema, con esto se consigue más estabilidad, reduce el riesgo de deslizamiento y distribuye la carga de una manera más uniforme en el este sistema de transmisión del molino de martillos.

Figura 95

Poleas para el sistema de transmisión



Nota. En la figura se aprecia las poleas comerciales adquiridas para el sistema de transmisión del molino de martillos.

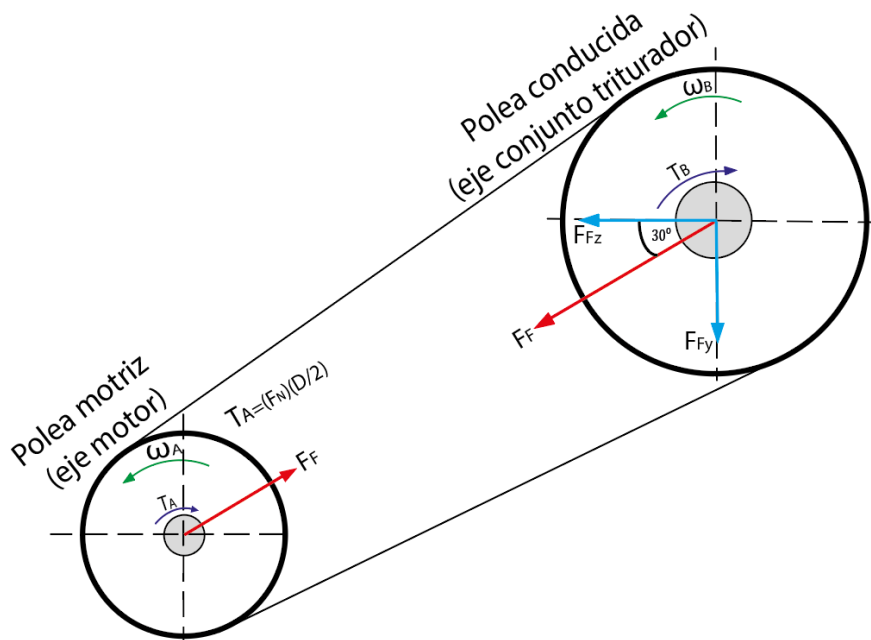
Determinación de la fuerza de reacción de las poleas

Es crucial determinar la fuerza flexionante que las poleas ejercerán sobre el eje del conjunto triturador, esto es fundamental para el cálculo de los esfuerzos en el mismo.

Para lograrlo, en primera instancia es necesario encontrar la fuerza impulsora neta F_N que la correa aplica sobre los canales de la polea conectada al conjunto triturador, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 96

Fuerzas de reacción presentes en el sistema de transmisión



Nota. En la figura se puede observar la fuerza impulsora neta causada por la tensión en las bandas, lo que a su vez genera una fuerza de flexión ejercida por las poleas sobre el eje del conjunto triturador.

Para encontrar la fuerza impulsora neta se utiliza la siguiente expresión:

$$F_N = \frac{T_A}{\frac{D}{2}} \quad (42)$$

Donde:

T = torque del motor [Nm]

D = diámetro de la polea conductora [m]

$$F_N = \frac{7.12 \text{ N.m}}{\frac{0.102 \text{ m}}{2}}$$

$$F_N = 139.61 \text{ N}$$

Para determinar la fuerza flexionante, se utiliza la siguiente expresión:

$$F_F = 1.5 * F_N \quad (43)$$

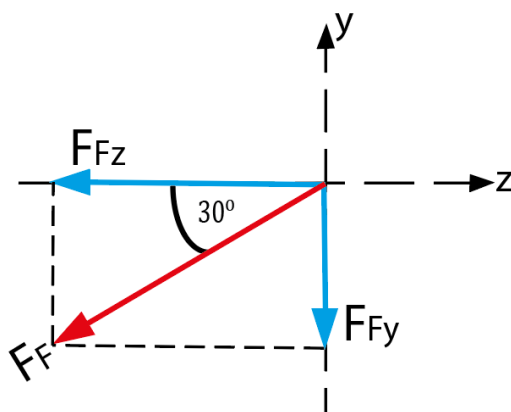
$$F_F = 1.5 * 139.61 \text{ N}$$

$$F_F = 209.41 \text{ N}$$

En la figura 97 se puede apreciar que la banda presenta una inclinación de 30° con respecto al eje del conjunto triturador. Por lo tanto, será necesario descomponer la fuerza en los ejes "z" y "y", tal y como se indica a continuación:

Figura 97

Descomposición de la fuerza flexionante



Nota. En la figura se observa el análisis de fuerzas de la polea sobre el eje principal.

$$F_{Fz} = F_F * \cos(30^\circ)$$

$$F_{Fz} = 209.41 * \cos(30^\circ)$$

$$F_{Fz} = 181.44 \text{ N}$$

$$F_{Fy} = F_F * \sin(30^\circ)$$

$$F_{Fy} = 209.41 * \sin(30^\circ)$$

$$F_{Fy} = 104.71 \text{ N}$$

Diseño estático del eje principal

El eje principal es un componente fundamental que debe ser analizado en detalle, este será responsable de soportar todos los elementos del conjunto triturador del molino. Una de las variables clave a considerar en un eje es su diámetro general, así como el diámetro adecuado para cada sección específica.

Esto garantiza la resistencia necesaria frente a diferentes tipos de esfuerzos, como torsión, flexión o combinados.

Además, es importante tener en cuenta que se debe minimizar la longitud del eje para evitar deflexiones.

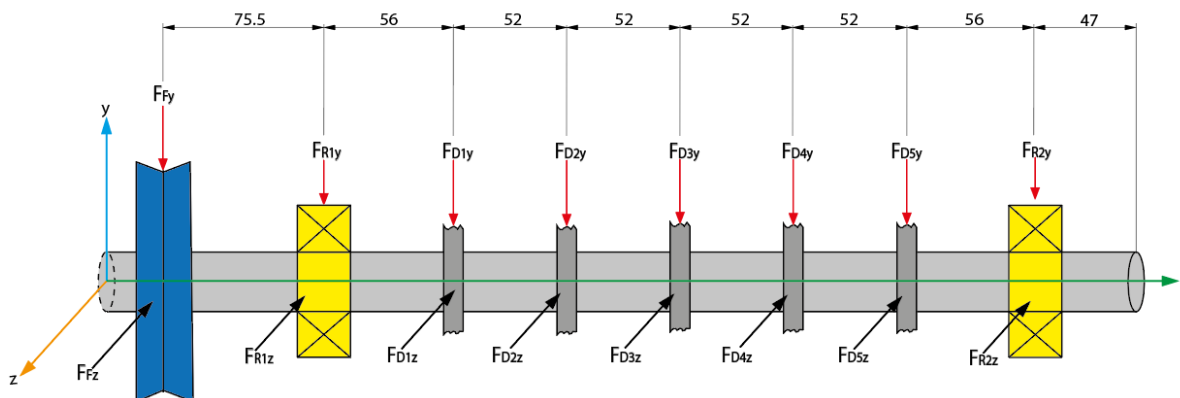
Asimismo, es necesario fabricarlo con un material resistente, pero a su vez, el peso del eje no debe representar una carga excesiva para la parte estructural del molino de martillos en su conjunto.

Fuerzas presentes en el eje principal

Las fuerzas presentes en el eje son el resultado de las fuerzas generados por los martillos, las reacciones en los discos y las fuerzas de reacción de las poleas. En la figura 98 se pueden observar todas estas fuerzas en conjunto.

Figura 98

Fuerzas y reacciones del eje principal



Nota. En la figura se observa el análisis de fuerzas sobre el eje principal.

Donde:

$$R_{D1} = R_{D5} = 1040 \text{ N}$$

$$R_{D2} = R_{D4} = 3320 \text{ N}$$

$$R_{D3} = 2570 \text{ N}$$

$$F_{Fz} = 181.44 \text{ N}$$

$$F_{Fy} = 104.71 \text{ N}$$

Como se apreció en la figura anterior aparecen fuerzas en los planos “XY” y “ZX” por lo que es conveniente realizar los respectivos diagramas de cuerpo libre de cada plano por separado y luego encontrar la fuerza aplicada resultante entre los dos planos como se muestra a continuación:

Fuerzas resultantes en el plano XY

$$F_{D1y} = F_{D5y} = R_{D1} + W_{disco}$$

$$F_{D1y} = F_{D5y} = 1040 \text{ N} + 14.23 \text{ N}$$

$$F_{D1y} = F_{D5y} = 1054.23 \text{ N}$$

$$F_{D2y} = F_{D4y} = R_{D2} + W_{disco}$$

$$F_{D2y} = F_{D4y} = 3320 \text{ N} + 14.23 \text{ N}$$

$$F_{D2y} = F_{D4y} = 3334.23 \text{ N}$$

$$F_{D3y} = R_{D3} + W_{disco}$$

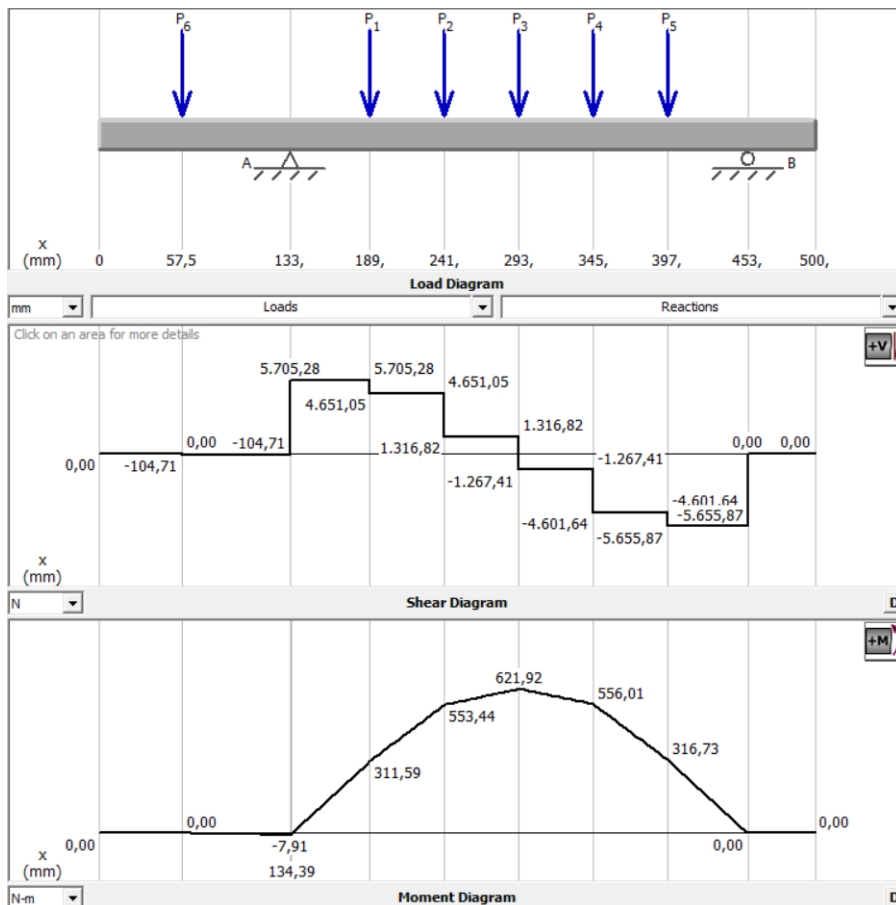
$$F_{D3y} = 2570 \text{ N} + 14.23 \text{ N}$$

$$F_{D3y} = 2584.23 \text{ N}$$

Al realizar el diagrama de cuerpo libre del plano "XY" utilizando el programa MDSolid, se obtienen los siguientes diagramas de fuerza cortante y momentos que se pueden identificar en la figura 99.

Figura 99

Diagramas del eje principal en el plano XY



Nota. En la figura se observa el análisis de esfuerzos y momentos en el eje principal.

Fuerzas resultantes en el plano ZX

$$F_{D1z} = F_{D5z} = R_{D1}$$

$$F_{D1z} = F_{D5z} = 1040 \text{ N}$$

$$F_{D2z} = F_{D4z} = R_{D4}$$

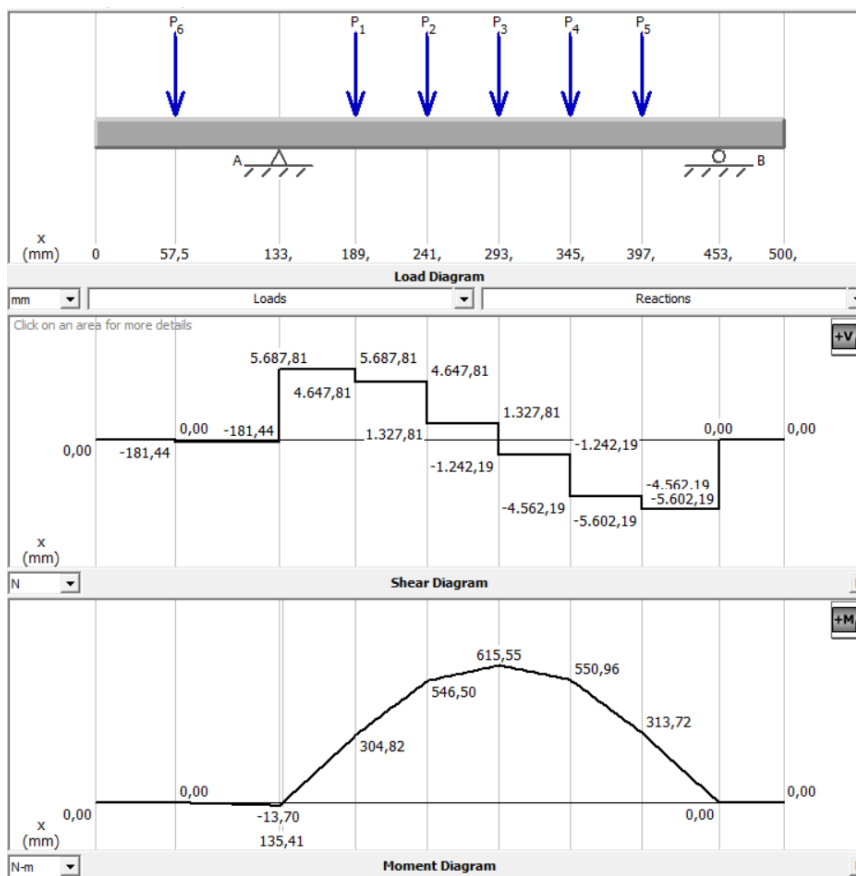
$$F_{D2z} = F_{D4z} = 3320 \text{ N}$$

$$F_{D3z} = R_{D3} = 2570 \text{ N}$$

Realizando el DCL del plano ZX en el programa MDSolid, se obtienen los siguientes diagramas de fuerza cortante y momentos:

Figura 100

Diagramas del eje principal en el plano ZX



Nota. En la figura se observa el análisis de esfuerzos y momentos sobre el eje principal.

Observando las reacciones obtenidas analizando cada plano por separado “XY” y “ZX”, se obtienen dos reacciones en los apoyos de cada chumacera, los cuales son:

Para la chumacera en el apoyo A:

$$F_{R1y} = 5809.99 \text{ N}$$

$$F_{R1z} = 5869.25 \text{ N}$$

Calculando la reacción resultante para la chumacera A:

$$F_{r1} = \sqrt{F_{R1y}^2 + F_{R1z}^2}$$

$$F_{r1} = \sqrt{(5809.99 \text{ N})^2 + (5869.25 \text{ N})^2}$$

$$F_{r1} = 8258.58 \text{ N}$$

Para la chumacera en el apoyo B:

$$F_{R2y} = 5655.87 \text{ N}$$

$$F_{R2z} = 5602.19 \text{ N}$$

Calculando la reacción resultante para la chumacera B:

$$F_{r2} = \sqrt{F_{R2y}^2 + F_{R2z}^2}$$

$$F_{r2} = \sqrt{(5655.87 \text{ N})^2 + (5602.19 \text{ N})^2}$$

$$F_{r2} = 7960.74 \text{ N}$$

Los momentos máximos flexionantes obtenidos de la figura 99 y 100 son los siguientes:

$$M_{yx} = 621.92 \text{ N.m}$$

$$M_{zx} = 615.55 \text{ N.m}$$

Calculando el momento máximo entre los dos planos se obtiene con la ecuación 44.

$$M_T = \sqrt{(M_{yx})^2 + (M_{zx})^2} \quad (44)$$

$$M_T = \sqrt{(621.92)^2 + (615.55)^2}$$

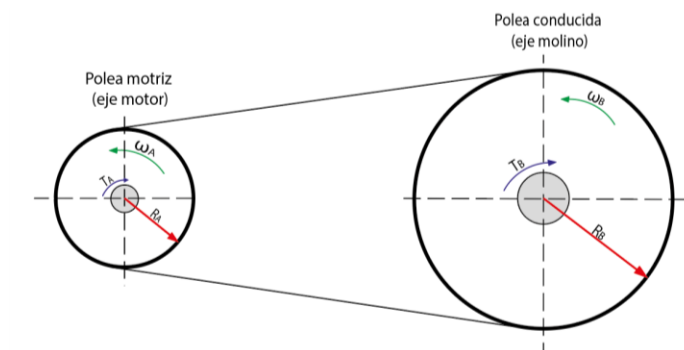
$$M_T = 875.04 \text{ Nm}$$

Diseño dinámico del eje principal (fatiga)

Para el diseño dinámico del eje se parte del torque generado en el eje del conjunto triturador. conociendo el torque de la polea motriz, se puede calcular el torque que se aplica en el eje del molino utilizando los radios de las poleas como se observa en la figura 101.

Figura 101

Sistema de transmisión del molino de martillos



Nota. En la figura se observa el análisis del sistema de transmisión.

$$T_A = 7.12 \text{ Nm}$$

$$r_A = 0.0508 \text{ m}$$

$$r_B = 0.0635 \text{ m}$$

$$T_B = T_A * \left(\frac{r_B}{r_A}\right)$$

$$T_B = 7.12 \text{ Nm} * \left(\frac{0.0635 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}}\right)$$

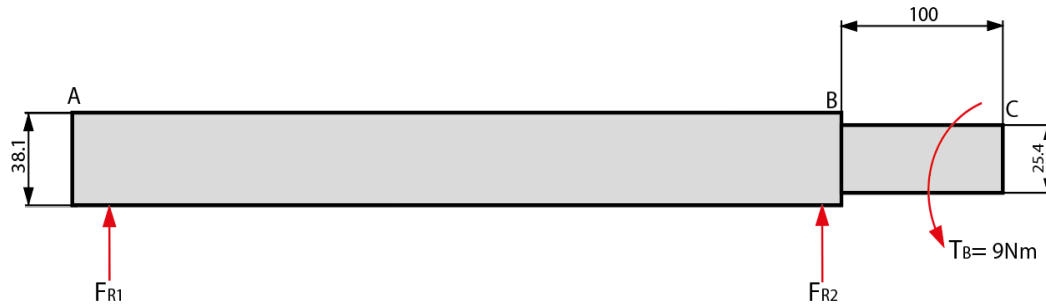
$$T_B = 7.12 \text{ Nm} * \left(\frac{0.0635 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}}\right)$$

$$T_B = 9 \text{ Nm}$$

Con el torque calculado y las reacciones en los puntos de apoyo obtenidas en los análisis anteriores, se puede identificar que el eje principal estará sometido tanto a fuerzas de flexión como de torsión como se indica en la figura 102, por lo que se opta por utilizar la teoría de Goodman, con el fin de encontrar el factor de seguridad en el punto más crítico del eje.

Figura 102

Fuerzas de flexión y torsión en el eje principal



Nota. En la figura se observa el análisis de fuerzas de torsión y flexión sobre el eje principal.

$$T_B = 9 \text{ Nm}$$

$$F_{R1} = 5818.21 \text{ N}$$

$$F_{R2} = 5647.65 \text{ N}$$

En base a la figura 102 y con los datos obtenidos, se procede a realizar el cálculo para encontrar le momento de torsión en el punto B del eje principal como se indica en el siguiente análisis:

$$M = F_{R2} * 0.1m$$

$$M = F_{R2} = 5647.65 \text{ N} * 0.1m$$

$$M = 564.765 \text{ Nm}$$

Conociendo que el material elegido del eje principal es AISI 1020 maquinado en frio con un esfuerzo a la tensión de $S_{ut} = 441 \text{ Mpa}$ y resistencia a la fluencia de $S_y = 370 \text{ Mpa}$

El límite de resistencia a la fatiga teórica se obtiene utilizando la ecuación 45 (Shigley, 2011)

$$S_{e'} = 0.5 * S_{ut} \tag{45}$$

$$S_{e'} = 0.5 * (441 \text{ Mpa})$$

$$S_{e'} = 220.5 \text{ Mpa}$$

EL cálculo de límite de resistencia a la fatiga real se encuentra con la ecuación 46 (Shigley, 2011)

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_e' \quad (46)$$

Donde:

C_{carga} = Factor de carga

$C_{tamaño}$ = Factor de tamaño

C_{sup} = Factor de superficie

C_{temp} = Factor de temperatura

C_{conf} = Factor de confiabilidad

El factor de carga " C_{carga} " para ejes sometidos a flexión es igual a 1 (Shigley, 2011), por lo que se tiene que:

$$C_{carga} = 1$$

El factor de tamaño " $C_{tamaño}$ ", según (Shigley, 2011) para ejes con diámetro mayores a 2.79 mm se aplica la ecuación 47.

$$C_{tamaño} = 1.24 * d^{-0.107} \quad (47)$$

Tomando en cuenta que el eje utilizado en el molino de martillos es de 38.1 mm, sí se puede utilizar la ecuación 47, obteniendo lo siguiente:

$$\begin{aligned} C_{tamaño} &= 1.24 * d^{-0.107} \\ C_{tamaño} &= 1.24 * (38.1mm)^{-0.107} \\ C_{tamaño} &= 0.84 \end{aligned}$$

El factor de superficie " C_{sup} " depende del acabado superficial del eje (Shigley, 2011), y se puede calcular con los datos de la figura 103 y reemplazando en la fórmula 48.

Figura 103

Valores para encontrar el factor de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Nota. En la figura se observa los valores de acabado superficial. Tomado de (Shigley, 2011)

$$C_{sup} = A * (S_{ut})^b \quad (48)$$

$$C_{sup} = 4.51 * (441\text{Mpa})^{-0.265}$$

$$C_{sup} = 0.898$$

El factor " C_{temp} " depende de las condiciones de temperatura en la que vaya a trabajar el eje (Shigley, 2011), para lo cual se puede utilizar la figura 104.

Figura 104

Valores para encontrar el factor de temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Nota. En la figura se observa factores de temperatura del material. Tomado de (Shigley, 2011)

Teniendo en cuenta que el eje trabajará a niveles de temperatura ambiente se puede concluir que:

$$C_{temp} = 1$$

El factor de confiabilidad " C_{conf} " se puede obtener de la figura 105.

Figura 105

Valores para encontrar el factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. En la figura se observa los valores de confiabilidad del material. Tomado de (Shigley, 2011)

Para un porcentaje de confiabilidad del 99% se obtiene el siguiente coeficiente de confiabilidad:

$$C_{conf} = 0.814$$

Finalmente, reemplazando los coeficientes obtenidos en la ecuación 49, se puede obtener el límite de resistencia a la fatiga real:

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_e' \quad (49)$$

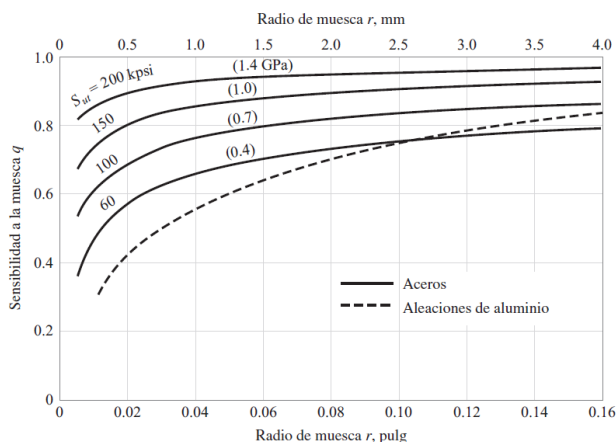
$$S_e = 1 * 0.84 * 0.898 * 1 * 0.814 * 220.5 MPa$$

$$S_e = 135.4 MPa$$

Ahora se encuentra el factor de sensibilidad de la muesca “q” para aceros, utilizando la figura 106, sabiendo que el radio de la muesca es de 1 mm y el esfuerzo último a la tensión es de $S_u = 441\text{Mpa}$.

Figura 106

Sensibilidad a la muesca “q” para flexión



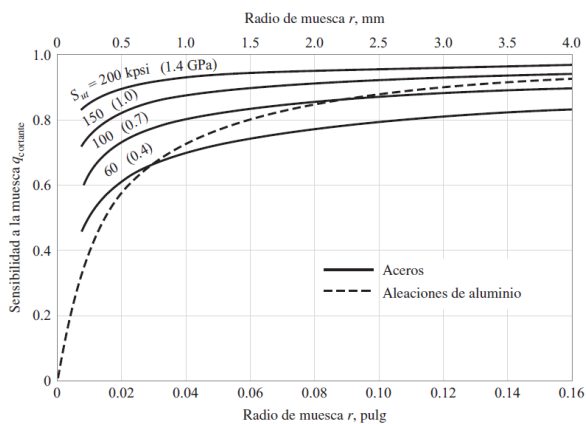
Nota. Se observan los valores de flexión. Tomado de (Shigley, 2011)

De la figura anterior se puede determinar el valor de “q” para flexión es:

$$q_{flex} = 0.63$$

Figura 107

Sensibilidad a la muesca “q” para torsión



Nota. Se observan los valores de torsión. Tomado de (Shigley, 2011)

De la figura anterior se puede determinar el valor de q para flexión

$$q_{tors} = 0.70$$

Luego, se encuentra el factor de concentración de esfuerzos por fatiga dinámica, para flexión se utiliza el factor “ K_f ” y para el coeficiente de torsión el “ K_{fS} ”, estos se pueden encontrar utilizando la ecuación 50.

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \quad (50)$$

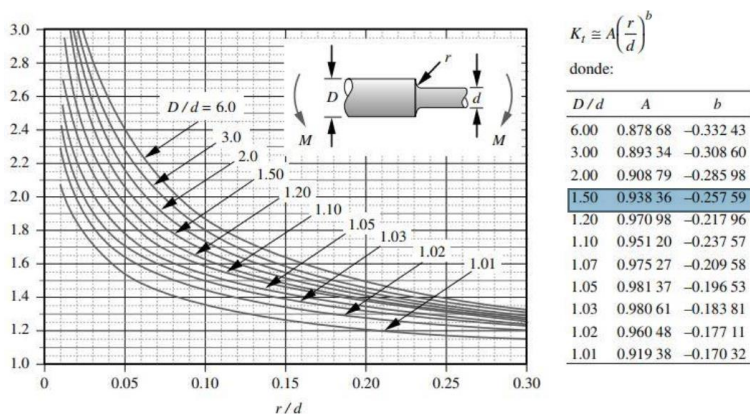
Para encontrar el valor de “ K_t ” se puede utilizar la ecuación 51, tanto para flexión como torsión.

$$K_t = A * \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (51)$$

Para flexión se utiliza los datos de la figura 108, conociendo que $D = 38.1 \text{ mm}$ y $d = 25.4 \text{ mm}$, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 108

Factor de concentración de esfuerzos para flexión



Nota. Se observa la concentración de esfuerzos en el eje primario. Tomado de (Torres, 2023)

$$K_t = 0.93836 * \left(\frac{1 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}}\right)^{-0.25759}$$

$$K_t = 2.16$$

$$K_f = 1 + q_{flex} * (K_t - 1)$$

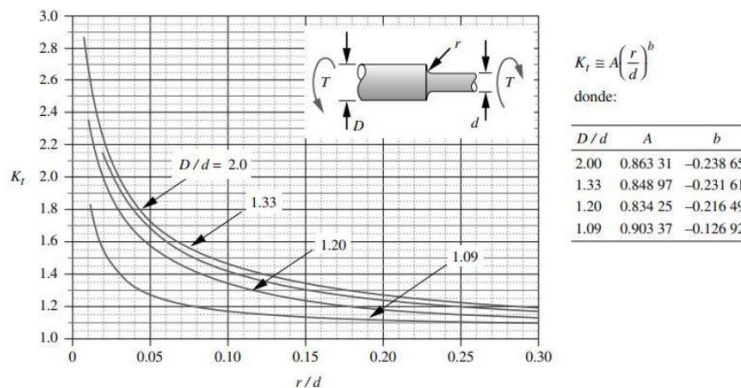
$$K_f = 1 + 0.63 * (2.16 - 1)$$

$$K_f = 1.73$$

Para torsión se utiliza los datos de la figura 109, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 109

Factor de concentración de esfuerzos para torsión



Nota. Se observa los esfuerzos de torsión que soporta el eje principal. Tomado de (Torres, 2023)

$$K_t = 0.84897 * \left(\frac{1\text{mm}}{25.4\text{mm}} \right)^{-0.23161}$$

$$K_t = 1.796$$

$$K_{fs} = 1 + q_{tors} * (K_t - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.7 * (1.796 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.557$$

Finalmente utilizando la fórmula 52 (Shigley, 2011) se encuentra el diámetro de diseño del eje principal y el factor de seguridad bajo el criterio de la recta modificada de Goodman.

$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} \left[\left(K_f * \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} * \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (52)$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 2.5}{\pi} \left[\left(1.73 * \frac{564.765\text{Nm}}{135.4 * 10^6\text{Pa}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.557 * \frac{9\text{Nm}}{370 * 10^6\text{Pa}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.0387m = 38.7mm$$

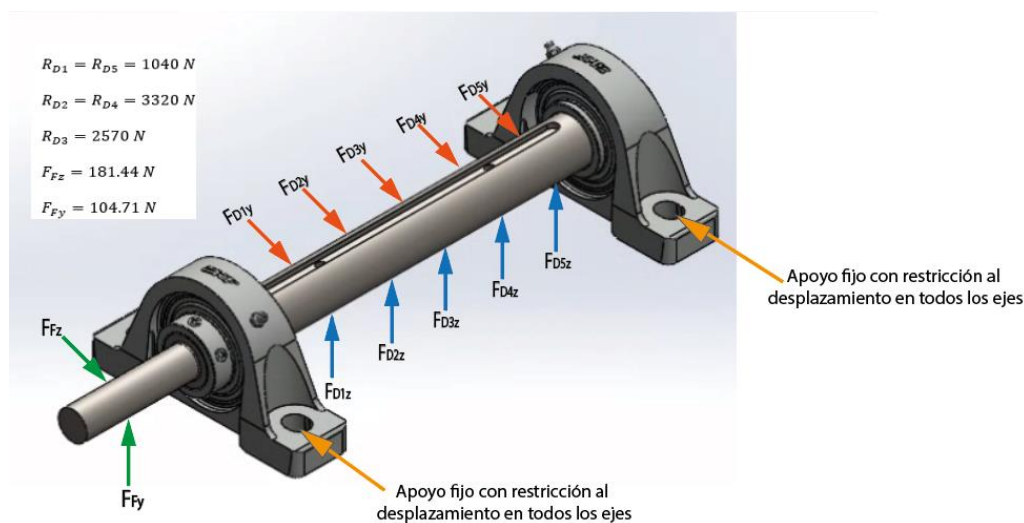
Se obtiene un diámetro adecuado para el eje principal de 38.7mm, por disponibilidad de componentes estandarizados se utiliza un eje AISI 1020 de 1 ½ pulgadas (38.1mm). Para validar este resultado obtenido se realiza una simulación de elementos finitos como se indica a continuación

Análisis de elementos finitos en el eje principal

Para la validación computacional en el eje principal, se toma en cuenta algunas condiciones de frontera. Como puntos de apoyo se tiene las dos chumaceras ubicadas en ambos extremos del elemento, se coloca una restricción para que el eje no se desplace longitudinalmente y permanezca fijo sobre las chumaceras, se añaden las fuerzas resultantes que se generan cada disco, tanto en el plano "XY" ($F_{D1y}, F_{D2y}, F_{D3y}, F_{D4y}, F_{D5y}$), el plano "ZX" ($F_{D1z}, F_{D2z}, F_{D3z}, F_{D4z}, F_{D5z}$) y la fuerza flexionante (F_{Fz}, F_{Fy}) de la polea sobre el eje, como se observa en la figura 110:

Figura 110

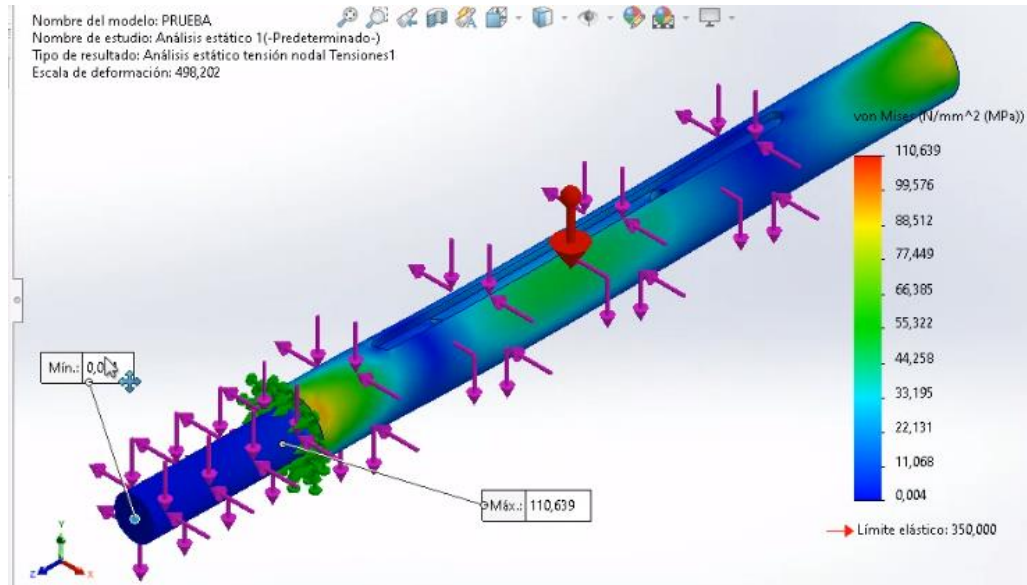
Condiciones de frontera para análisis computacional del eje principal



Nota. En la figura se observa las condiciones de entorno para el eje principal.

Figura 111

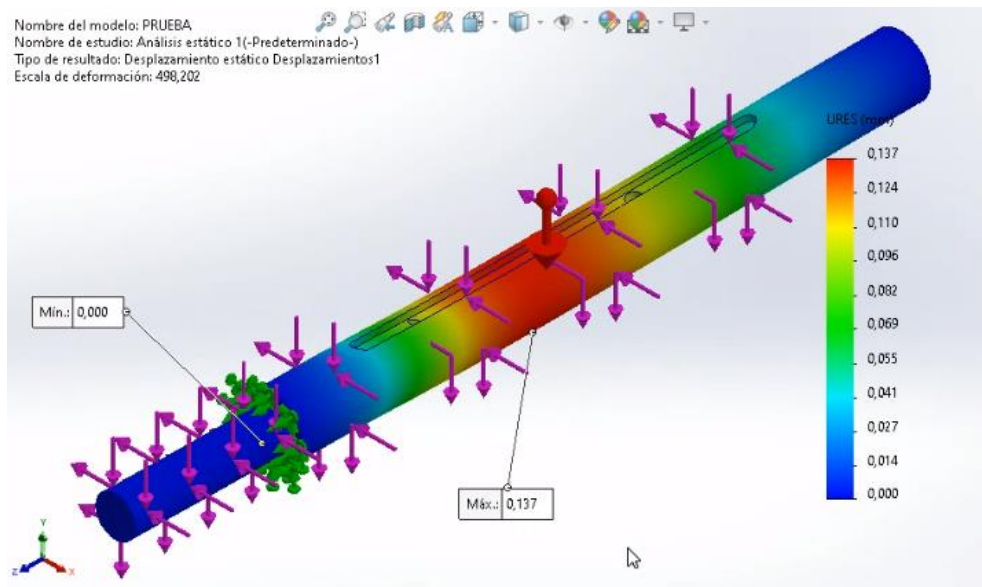
Análisis estático de tensión Von Mises



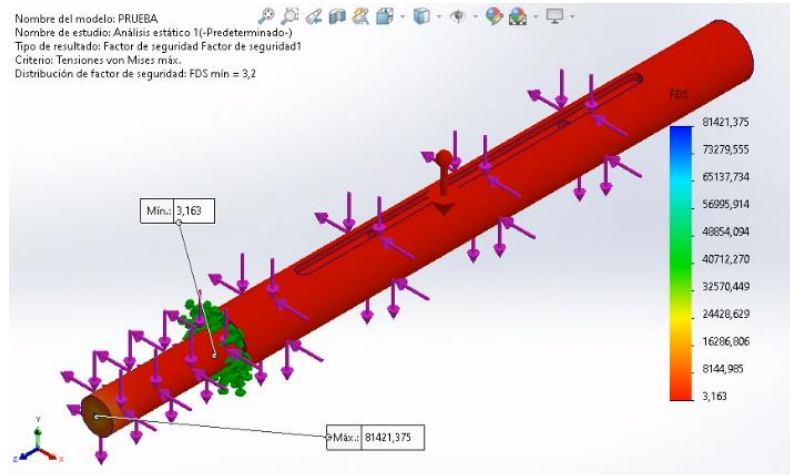
Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 112

Análisis estático de desplazamiento



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 113**Análisis estático del factor de seguridad**

Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

En la simulación realizada se obtiene que el valor máximo de tensión de Von Mises obtenido es de 110.64 MPa, el cual no supera el límite elástico de 370 MPa del material del eje principal. Se obtiene también que el desplazamiento estático máximo que se podría dar tiene un valor de 0.137 mm, el cual es un valor imperceptible. Finalmente se verifica el factor de seguridad mínimo obtenido es de 3.2, el cual está dentro del rango adecuado para que no ocurran deformaciones o falla en el eje principal.

Cabe mencionar que el eje solo se cilindrará en donde va ubicada la polea conducida, para poder introducirla, por lo que el diámetro interno de esta de esta es menor. Esto se puede apreciar en la figura 115.

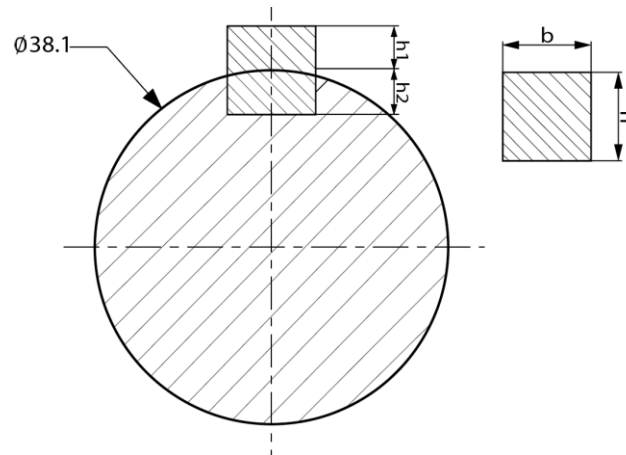
Diseño de cuñas

El acoplamiento es un componente crucial en las máquinas, este elemento permite transmitir el par de torsión del eje principal a todos los elementos que estén conectados a él. En este caso particular, los discos y las poleas son los elementos acoplados. El acoplamiento se logra mediante la creación de una ranura de igual medida tanto en el eje principal como en el

elemento que se desea acoplar. Esta ranura permite fijar ambos componentes de manera segura y garantizar que realicen el movimiento deseado de forma efectiva. Las medidas que se deben tomar en cuenta para el diseño de la cuña son las que se indican en la figura 114.

Figura 114

Dimensiones principales de las cuñas



Nota. En la figura se observa las dimensiones de la cuña.

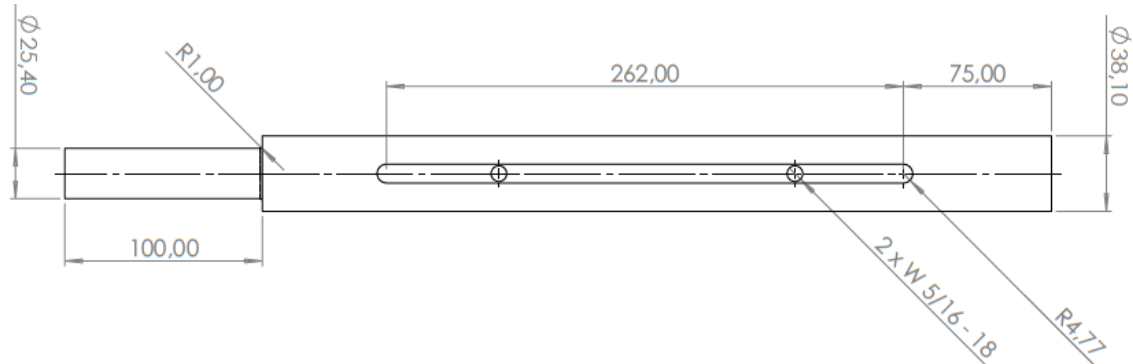
Con base en el diámetro del eje principal, que es de 38.1 mm (1½ in), se pueden emplear cuñas de sección cuadrada para el acoplamiento. Las dimensiones específicas para la figura 114 son las siguientes:

$$b = h = \frac{3}{8} in = 9.525 mm$$

$$h_1 = \frac{3}{16} in = 4.76 mm$$

$$h_2 = \frac{3}{16} in = 4.76 mm$$

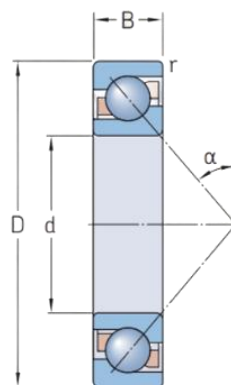
El cuñero realizado en el eje principal en donde estará ubicada la cuña antes descrita y que ayudará a la fijación de los cinco discos se muestra en la figura 115, y para ver las especificaciones técnicas del catálogo se puede observar en Anexo K.

Figura 115*Cuñero del eje primario*

Nota. En la figura se observa las dimensiones del eje principal.

Selección de rodamientos

El rodamiento es un componente crucial en las máquinas, garantiza una correcta posición del eje y transfiere el movimiento a los demás componentes ubicados en él. Su función principal es minimizar la fricción, evitando así pérdidas de potencia. En la figura 116 se pueden observar las partes más importantes de un rodamiento.

Figura 116*Dimensiones principales de un rodamiento de bolas*

Nota. Se observa las dimensiones del rodamiento. Tomado de (SKF, 2023)

Donde:

d = Diámetro del agujero [mm]

$D = \text{Diámetro exterior [mm]}$

$B = \text{Ancho del rodamiento [mm]}$

$r = \text{Dimensión del chaflán [mm]}$

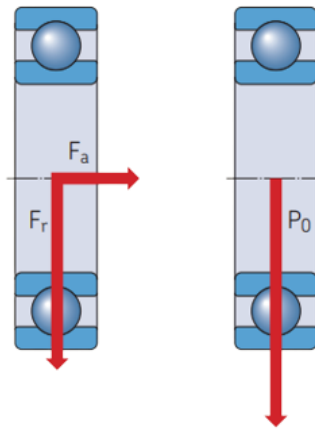
$\alpha = \text{Ángulo de contacto [o]}$

Existen diversos tipos de rodamientos disponibles, los cuales varían según su aplicación y la carga a la que estarán expuestos. En el caso específico del eje del molino de martillos, se recomendaría utilizar rodamientos de bolas de una hilera. Estos rodamientos son capaces de soportar cargas radiales (SKF, 2023).

Normalmente, los rodamientos están sujetos a fuerzas axiales " F_a " y fuerzas radiales " F_r ", tal como se muestra en la figura 117. Sin embargo, en el caso del eje del molino, los rodamientos solo estarán expuestos a fuerzas radiales en ambos extremos. Esto simplifica el diseño, por lo que no se requiere una consideración adicional de fuerzas axiales (SKF, 2023).

Figura 117

Fuerzas presentes en un rodamiento de bolas

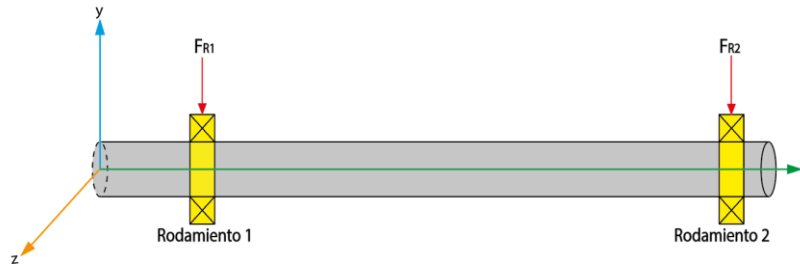


Nota. Se observa las fuerzas sobre el rodamiento. Tomado de (SKF, 2023)

Las fuerzas de reacción presentes en los dos rodamientos ubicados en el eje principal se pueden observar en la siguiente figura:

Figura 118

Fuerzas de reacción en los rodamientos

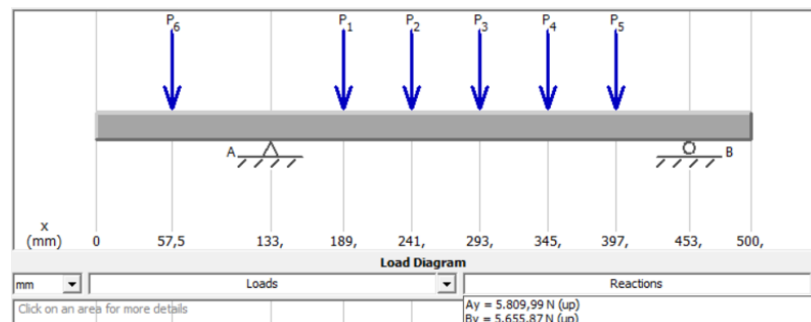


Nota. En la figura se observa las fuerzas de reacción del eje principal.

Las reacciones obtenidas en los apoyos de los rodamientos se obtuvieron del diagrama de cargas como se puede apreciar en la figura 119 y son los siguientes:

Figura 119

Magnitudes de reacción en los apoyos



Nota. En la figura se observa las reacciones obtenidas en las chumaceras.

$$F_{R1} = 5809.99 \text{ N}$$

$$F_{R2} = 5655.87 \text{ N}$$

Dado que se generan diferentes reacciones en los rodamientos, se debe considerar un diseño individualizado para cada uno de ellos. Sin embargo, se observa que las reacciones tienen magnitudes similares, por lo que se opta por utilizar el valor de reacción más alto como referencia para el diseño. En este caso particular, correspondería al rodamiento 1, donde esta sería la fuerza radial:

$$F_{r1} = 5809.99 \text{ N}$$

Luego, se procede a calcular la carga dinámica equivalente del rodamiento utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{r1} = X * F_{r1} + Y * F_{a1} \quad (53)$$

Pero como ya se mencionó, en este sistema de molino de martillos no existe cargas axiales por lo cual $F_{a1} = 0$. Entonces para el cálculo según la parte teórica se puede decir que:

$$P_{r1} = F_{r1}$$

$$P_{r1} = 5809.99 \text{ N}$$

Finalmente se procede a calcular el término de la capacidad de la carga dinámica C_r utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{r1} = P_{r1} * \left(\frac{60 * n * L_{10h}}{10^6} \right)^{\frac{1}{x}} \quad (54)$$

Donde:

C_{r1} : Capacidad de carga dinámica [KN]

P_{r1} : Carga dinámica equivalente [N]

x : Factor del tipo de rodamiento

L_{10h} = vida del rodamiento [horas]

n = velocidad de rotación eje [rpm]

El valor de L_{10h} , representa la vida especificada en horas de funcionamiento, el molino de martillos entra en la categoría de máquinas agrícolas, en donde puede variar en un rango de 300 a 3000 horas de funcionamiento como se indica en la tabla de vida especificada en horas de funcionamiento de (SKF, 2023). Dado que la comunidad utilizará el molino entre 4 a 5 horas al día y como máximo 2 días a la semana, se ha seleccionado un valor de 900 horas de trabajo que tendrán los rodamientos durante dos años en donde será adecuado reemplazar este elemento. Con todos los datos obtenidos, se procede a realizar la siguiente operación:

$$C_{r1} = 5809.99N * \left(\frac{60 * 3000rpm * 900}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{r1} = 31.67 KN$$

Ya obtenido la capacidad de carga dinámica requerida por el rodamiento se procede a elegir un rodamiento que comercialmente tiene establecido un soporte de 32.5 KN de carga dinámica como se puede observar en el Anexo L.

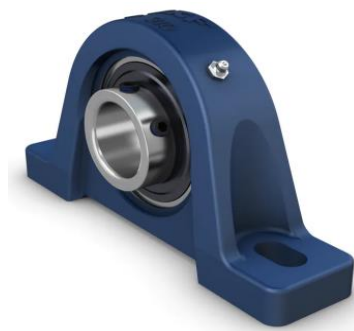
Selección de chumaceras

La chumacera desempeña un papel crucial como elemento de apoyo donde se monta el rodamiento seleccionado en la sección anterior. Este conjunto proporciona soporte al eje principal y evita el contacto directo entre metales, previniendo el desgaste. Existen varios tipos de chumaceras, siendo los más conocidos los de pared, brida y tensora. Para la aplicación del molino de martillos, lo más adecuado es utilizar una chumacera de brida.

La chumacera más apropiada para el rodamiento seleccionado es el modelo UCP-208-24. Las dimensiones de este modelo se encuentran detalladas en el Anexo M. Esta chumacera presenta un aro interior prolongado y sujeta con tornillos, lo cual garantiza una fijación sólida del eje del molino de martillos. La figura 120 muestra el tipo de conjunto formado por la chumacera y el rodamiento.

Figura 120

Chumacera tipo brida con aro prolongado



Nota. Se observa una chumacera de piso. Tomado de (SKF, 2023)

Diseño de los separadores

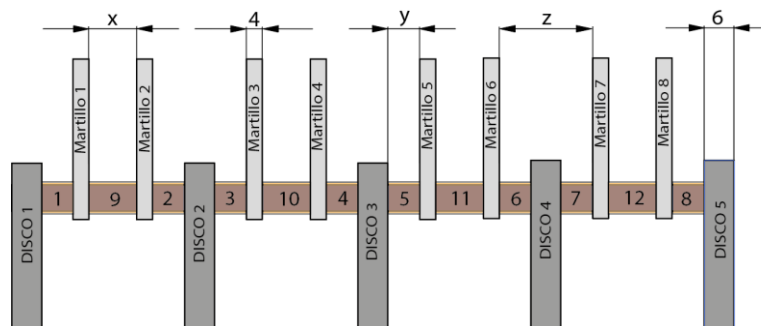
Como se mencionó previamente, los separadores desempeñan un papel fundamental en la prevención del movimiento lateral de los martillos del eje secundario, por lo que estos martillos son oscilantes y no están fijos. Su función principal es evitar el contacto entre los martillos y los discos, asegurando así un correcto funcionamiento.

Según (Bermeo, 2014), los diseñadores recomiendan que la longitud de los separadores sea igual o mayor a 3 veces el espesor de un martillo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ubicación de los discos, tal como se muestra en la figura 121, proporciona una separación adicional entre los martillos.

Para abordar esta situación, se ha decidido utilizar dos tipos de longitudes de separadores, según se indica en la figura 121. Esto garantizará una separación óptima entre los martillos.

Figura 121

Longitud de los separadores del eje secundario



Nota. En la figura se observa la distribución de elementos en los ejes secundarios.

Los separadores (1,2,3,4,5,6,7,8) serán de la medida “y”, mientras que los separadores (9, 10, 11, 12) serán de la medida “x”.

Entonces, la medida de los separadores se considera de tal manera que las longitudes $(x, z) \geq 3 * e_{martillo}$ y para cumplir con esta condición se consideran las dimensiones de la siguiente manera:

$$x = 18mm$$

$$y = 10mm$$

$$z = 2y + e_{disco}$$

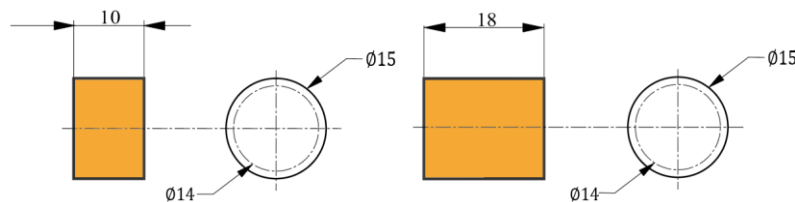
$$z = 2(10mm) + 6mm$$

$$z = 26mm$$

Las medidas obtenidas para la longitud de los separadores de martillos cumplen con la condición propuesta. Es importante tener en cuenta que el diámetro de los separadores depende del eje secundario, por lo que se colocarán en el interior de los mismos. Por lo tanto, las dimensiones de cada separador se detallan en la figura 122. El material a utilizar para la construcción de esos elementos se realizará a partir de tubo redondo de acero galvanizado de 14 mm de diámetro interno, se pueden observar más especificaciones técnicas de este material en el Anexo N.

Figura 122

Dimensiones de los separadores del eje secundario



Nota. En la figura se observa las dimensiones de los separadores.

Diseño de la estructura del molino de martillos

Para estimar las dimensiones de la estructura externa del molino, es necesario comenzar con las dimensiones obtenidas previamente de los elementos del conjunto triturador, por lo que las medidas complementarias correspondientes dependen de ellos. A continuación, se llevará a cabo el diseño por separado de las siguientes partes de la máquina de martillos:

- Diseño de la cámara y tapa de molienda.

- Diseño de la tolva de ingreso de material.
- Diseño de la tolva de salida de material.
- Diseño de la estructura soporte.
- Diseño del sistema de cribado.

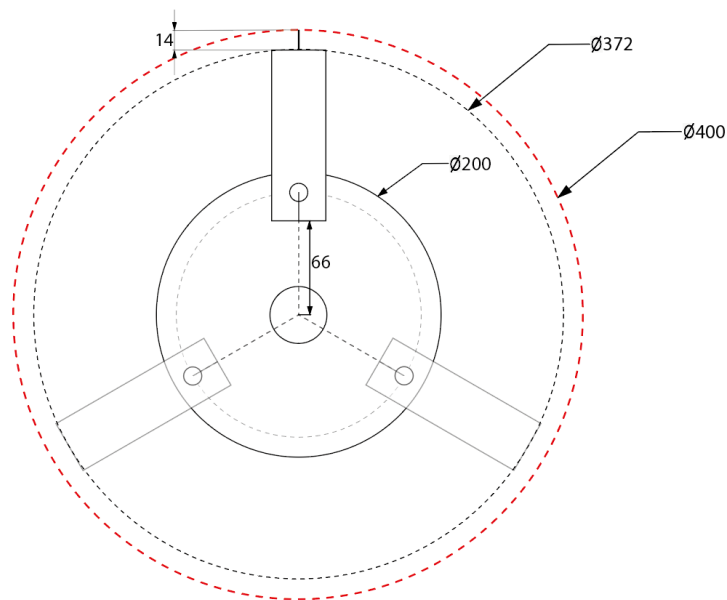
A continuación, se detalla cada una de estas partes que conformaran la parte estructural del molino de martillos:

Diseño de la cámara y tapa de molienda

Para determinar el ancho de la cámara, es crucial conocer la distancia que los martillos alcanzan mientras están en movimiento. Por lo tanto, se puede establecer un diámetro para la cámara basándonos en el radio de giro del conjunto triturador previamente calculado, tal como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 123

Dimensiones de la anchura de la cámara de molienda



Nota. La figura muestra una línea entrecortada de color negro que representa la trayectoria seguida por los extremos de los martillos. Además, se muestra en color rojo una estimación mínima del tamaño que las paredes laterales de la cámara de molienda.

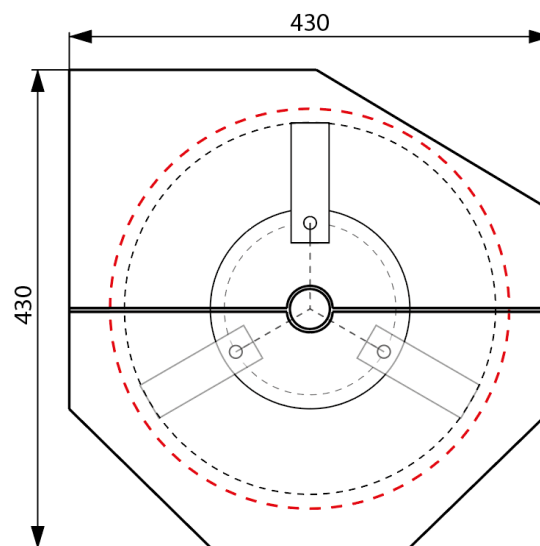
En la figura 123, se puede observar que el radio de giro del conjunto triturador alcanza los 186 mm, considerando la distancia desde el centro del eje hasta la punta de los martillos. Por lo tanto, cuando esté en funcionamiento, abarcará un diámetro total de 372 mm.

Teniendo en cuenta que la hierba de alfalfa es larga y voluminosa, es necesario garantizar una separación adecuada entre las paredes de la cámara y la punta de los martillos para asegurar una molienda óptima.

Además, es importante mencionar que en la parte inferior se ubicará la criba de cernido-tolva de descarga, mientras que en la parte superior se encontrará una tapa desplegable para facilitar el mantenimiento y la limpieza después de cada molienda. La vista lateral derecha e izquierda de la cámara se ha diseñado de acuerdo con lo que se muestra en la figura 124.

Figura 124

Vista de las paredes laterales de la cámara de molienda



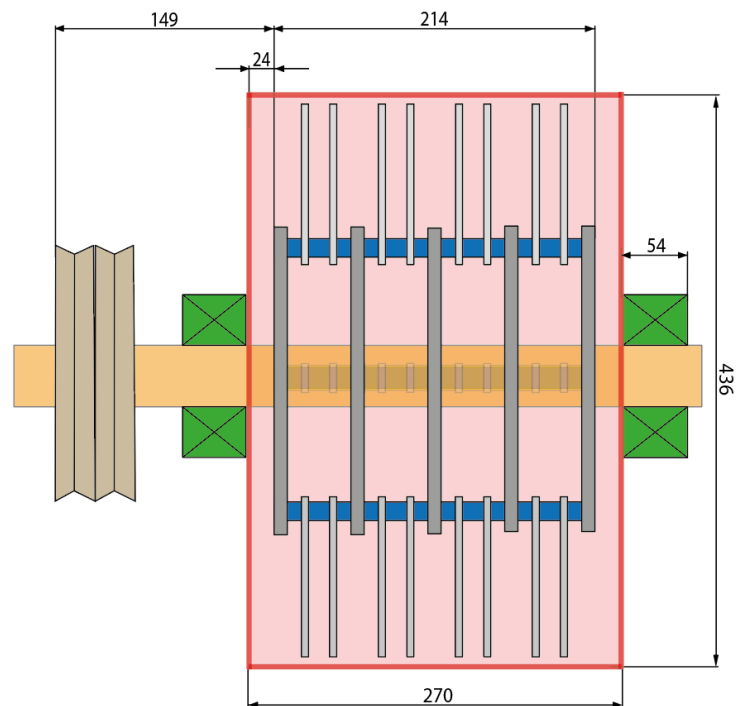
Nota. En la figura se observa las dimensiones laterales de la cámara de molienda.

Para el diseño del largo de la cámara, es necesario tener en cuenta la longitud del eje principal, la longitud de la sección del conjunto triturador que tritura la alfalfa y la distancia entre

los puntos de apoyo del eje, que son las chumaceras. Estos elementos se pueden observar en la figura 125:

Figura 125

Dimensiones de la longitud de la cámara de molienda



Nota. En la figura se observa la estimación de la longitud de la cámara de molienda marcada en color rojo para lograr contener todos los componentes del conjunto triturador, evitando colisiones.

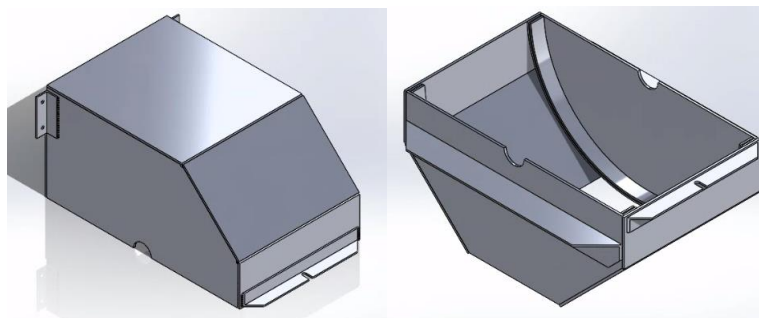
Considerando las dimensiones de la figura anterior se prevé que el tamaño de la cámara abarque el área que está marcado de color rojo, mientras que las chumaceras y la polea quedarán fuera de la misma. Dicho estos parámetros del largo de la cámara se diseñará de 270mm.

Por último, se ha realizado el diseño CAD de la cámara de molienda y la tapa utilizando las medidas establecidas. Estos modelados en software se pueden apreciar en la figura 126.

Para revisar las dimensiones completas de estas estructuras, se pueden consultar en detalle en el Anexo U.

Figura 126

Modelado CAD de la cámara de molienda

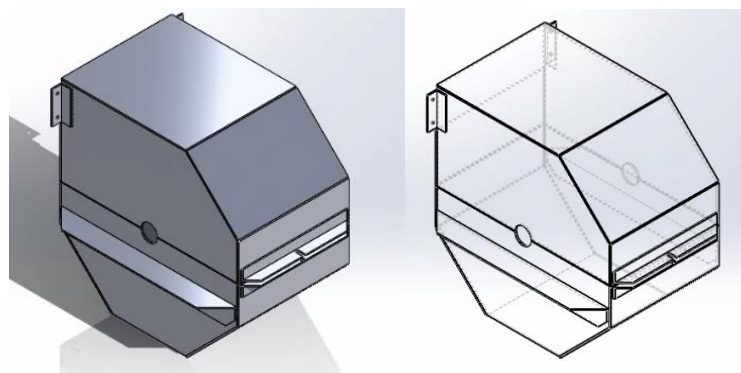


Nota. En la figura se aprecia a) la cámara de molienda, b) la tapa de la cámara de molienda.

La tapa del molino es indispensable que sea desplegable y desarmable para realizar limpieza y mantenimiento, por lo que se diseña la unión de esta con la cámara mediante unas bisagras y pasadores atornillados para que se la pueda asegurar y desarmar cuando se lo necesite. La base de la cámara de molienda conjuntamente ensamblada con la tapa se puede apreciar en la figura 127.

Figura 127

Ensamble de la cámara y tapa de molienda



Nota. En la figura se observa el ensamblaje de la cámara de molienda.

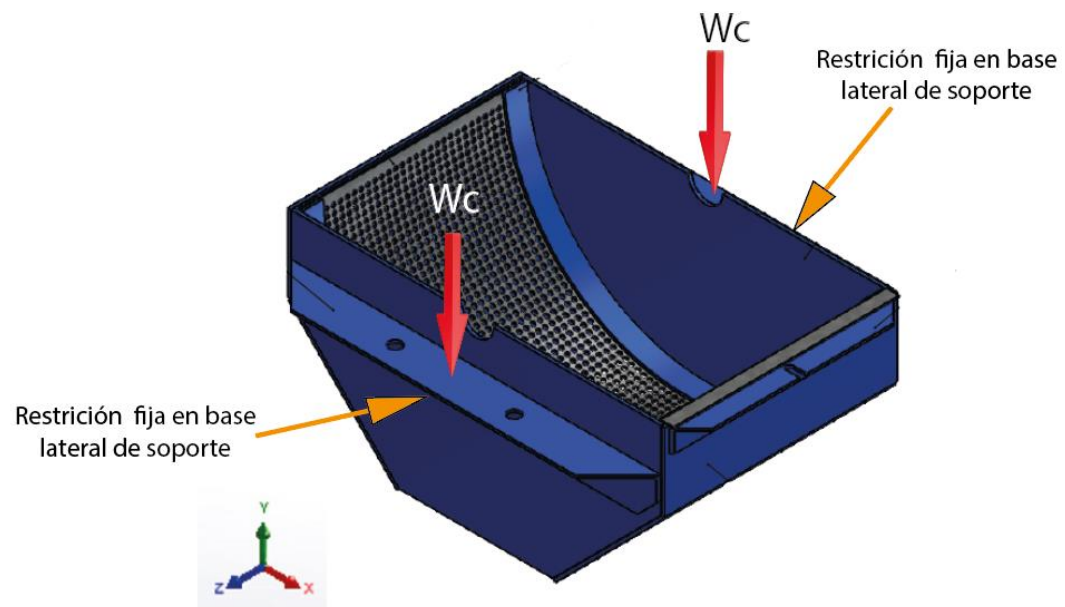
Ya realizado el diseño CAD de la cámara de molienda es necesario simularlo con el método de elementos finitos, esta estructura soportará en sus paredes laterales las chumaceras que sostienen el peso de todo el conjunto triturador, este análisis se indica a continuación:

Análisis de elementos finitos de la cámara de molienda

Para la validación computacional de la cámara de molienda, se toma en cuenta algunas condiciones de frontera, la cual es de colocar las bases laterales fijas en donde se sientan las chumaceras, y se coloca el peso W_c que representa todo el conjunto triturador y tapa de molienda que es igual a 306.75 N, esto se puede observar en la figura 128.

Figura 128

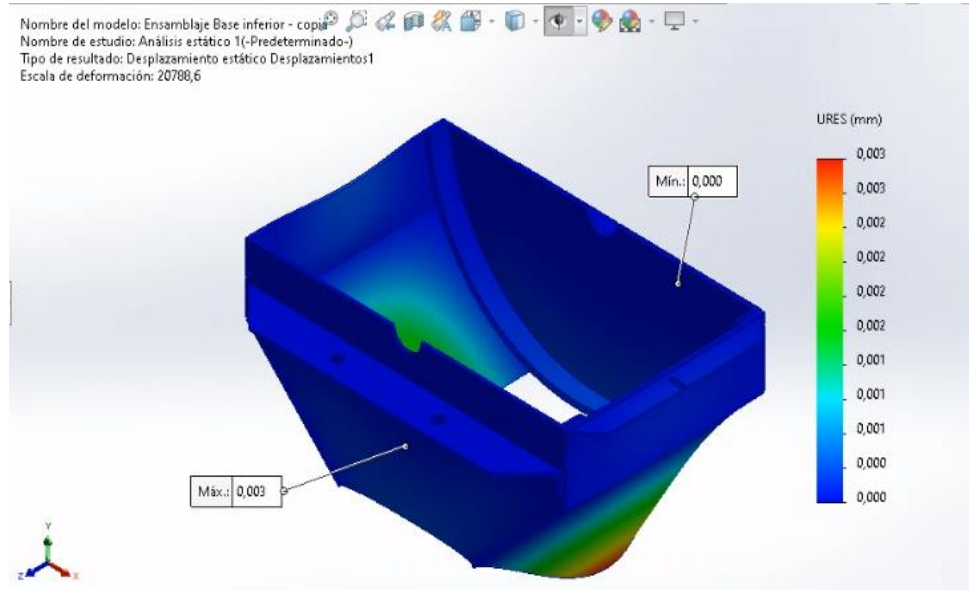
Condiciones de contorno para análisis computacional



Nota. En la figura se observa las condiciones de entorno utilizadas para la cámara de molienda, base inferior.

Figura 129

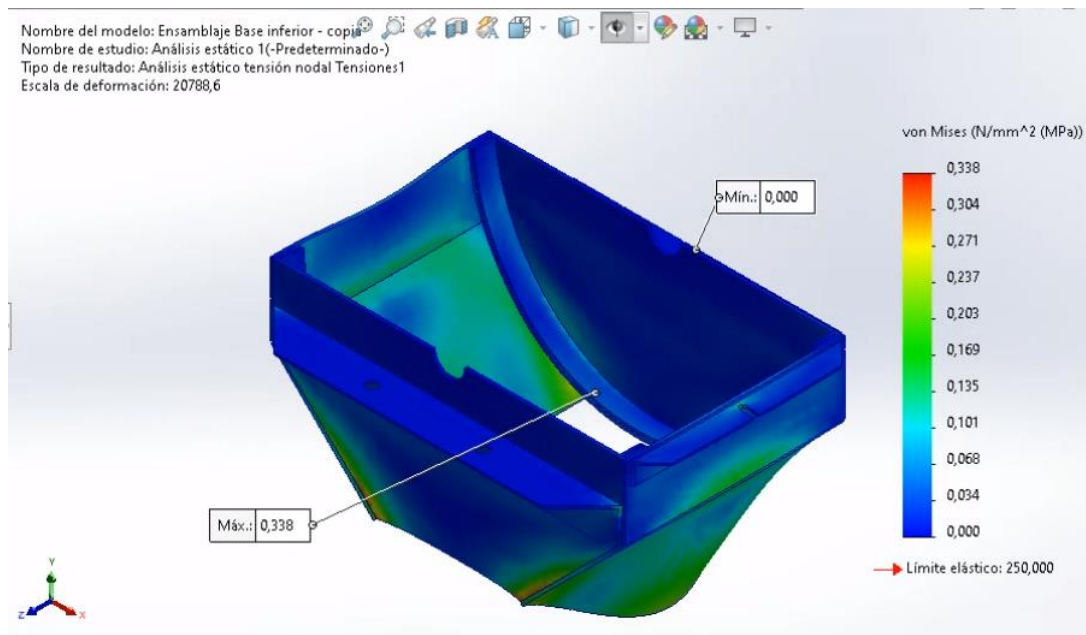
Análisis estático de desplazamiento



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Figura 130

Análisis estático de tensión Von Mises



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

En la simulación realizada se identifica que el máximo desplazamiento que puede existir en la configuración de la cámara es de 0.003 mm generados por el peso del conjunto triturador y la tapa de molienda como se muestra en la figura 129, el cual es despreciable y no considerable.

Finalmente, en la figura 130 se identifica una tensión de Von Mises máxima de 0.34 MPa, la cual es menor que el límite elástico del elemento, por lo que se concluye que el diseño de la cámara es seguro y adecuado para soportar las cargas mencionadas.

Diseño de la tolva de ingreso de material

Dimensionar la tolva de ingreso es importante para racionar la cantidad de material permitida por la cámara de molienda cada vez que se ingresa el material a triturar, por lo cual las dimensiones establecidas de la tolva partirán del volumen de hierbas permisibles por la cámara de molienda como se indica a continuación:

Calculando el volumen aproximado de la cámara de trituración, se tiene que:

$$V_{cámara} = l * a * h$$

$$V_{cámara} = 270mm * 430mm * 430mm$$

$$V_{cámara} = 49 * 10^6 \text{ mm}^3$$

La tolva de entrada debería tener la capacidad para deslizar una cantidad similar o menor al volumen de la cámara $V_{cámara}$ de alfalfa deshidratada, considerando que el material es ingresado con rapidez a la cámara, por lo que se estima que el volumen de tolva podría tener $\frac{1}{4}$ del volumen de la cámara, lo cual corresponde a $12 * 10^6 \text{ mm}^3$.

Además, como ya se mencionó en ítems anteriores que el tipo de tolva que se utilizará será de tipo cuadrada y ligeramente inclinada para que el material pueda introducirse fácilmente.

Como se mencionó que el volumen de la tolva debe ser menor que el de la cámara, y estimando que la altura adecuada para evitar que se desparrame el material por los bordes de la tolva sea de 130 mm, entonces se tiene que el área sería:

$$V_{tolva} = A_{tolva} * h$$

$$12 * 10^6 \text{ mm}^3 = A_{tolva} * 130 \text{ mm}$$

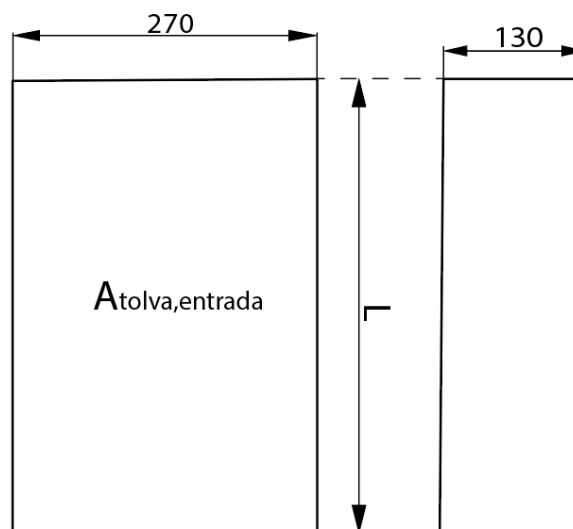
$$A_{tolva} = \frac{12 * 10^6 \text{ mm}^3}{130 \text{ mm}}$$

$$A_{tolva} = 92307.7 \text{ mm}^2$$

Se obtiene que el área de la tolva debería tener 91800 mm^2 para cumplir con el volumen deseado. El área y las respectivas dimensiones de la tolva antes mencionada se la puede observar en la figura 131.

Figura 131

Dimensiones de la tolva de ingreso



Nota. En la figura se observa las dimensiones de la tolva de alimentación.

Como se observa en la figura anterior el ancho de la tolva será de 270 mm, considerando que esa es la medida que está en la entrada de la cámara de molienda,

utilizando las fórmulas de área y reemplazado estos datos en la fórmula se puede obtener el largo de la tolva (L) requerido para cumplir los parámetros mencionados, por lo que se tiene que:

$$A_{tolva} = B * L$$

$$92307.7 \text{ mm}^2 = 270\text{mm} * L$$

$$L = \frac{92307.7\text{mm}^2}{270\text{mm}}$$

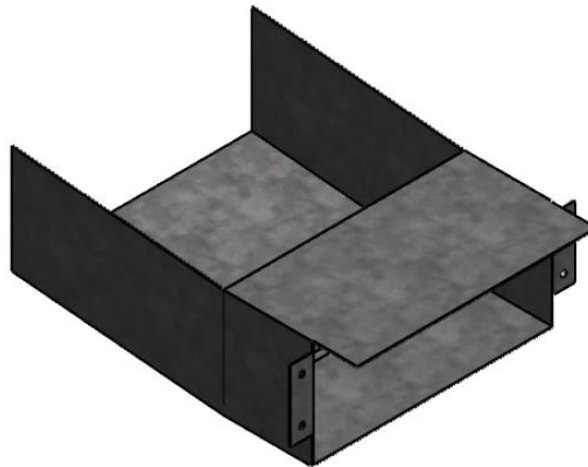
$$L = 341.8 \text{ mm}$$

Por lo que se concluye que el largo mínimo de la tolva necesaria para el ingreso de la cantidad adecuada de material es de 342 mm.

Por último, se procede a realizar el modelado de la tolva de entrada utilizando un software CAD, lo que resulta en un diseño que se muestra en la figura 132, para ver las dimensiones a detalle se puede revisar el Anexo U.

Figura 132

Modelado de la tolva de ingreso



Nota. En la figura se observa la tolva de alimentación.

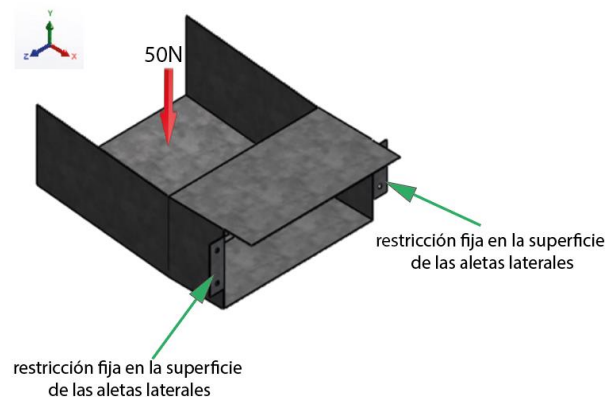
También se lleva a cabo un análisis mediante el método de elementos finitos de la tolva de entrada para validar el diseño obtenido como se indica a continuación:

Análisis de elementos finitos de la tolva de entrada

En el ensayo se consideran algunas condiciones de frontera para la tolva, primero se coloca una restricción fija en los perfiles laterales soldados a esta, luego se coloca una carga en la base de la tolva aproximada de 5 kg de material (50N) que es la cantidad simultánea que podría permanecer en la tolva como se puede apreciar en la figura 133.

Figura 133

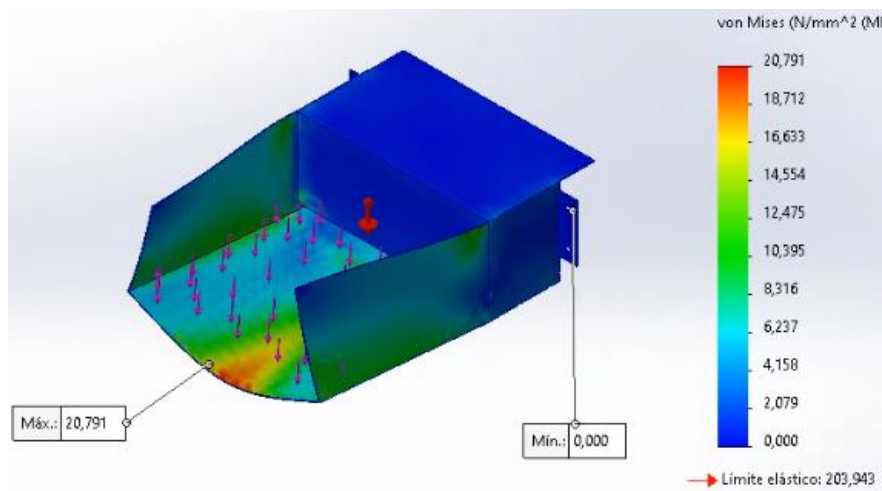
Condiciones de frontera para análisis computacional



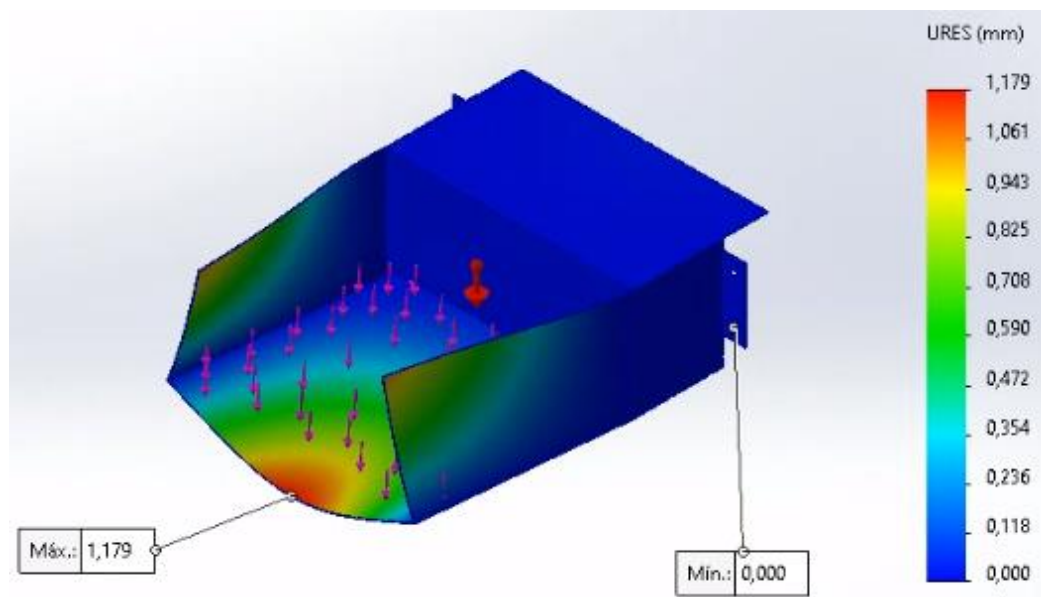
Nota. En la figura se observa las condiciones de frontera de la tolva de alimentación.

Figura 134

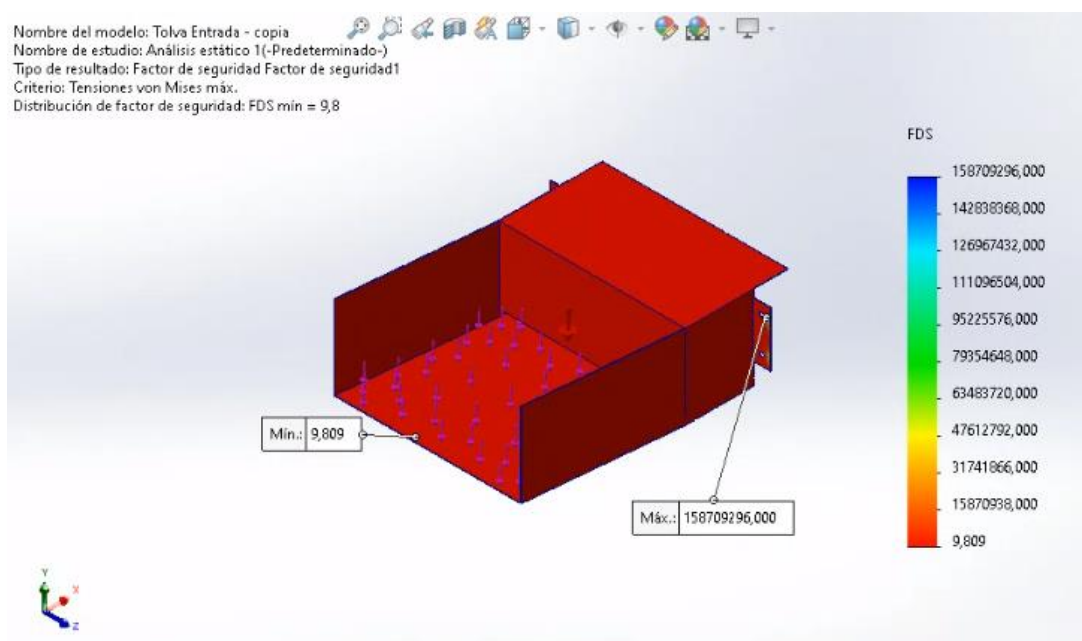
Análisis estático de tensión Von Mises



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Figura 135*Análisis estático de desplazamiento*

Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Figura 136*Análisis estático del factor de seguridad*

Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Conociendo que el espesor de la lámina de la tolva es de 0.9 mm, al aplicar la carga mencionada se observa un desplazamiento de 1.179 mm como se indica en la figura 134, Por otro lado, la tensión máxima de Von Mises obtenida es de 20.79 MPa el cual no supera el límite elástico del material como se aprecia en la figura 135.

Finalmente, en la figura 136 se observa que el factor de seguridad mínimo obtenido es de 9.8, el cual es un valor alto que indica seguridad en el elemento, por lo que no existirá deformaciones o fallas con las cargas establecidas.

Diseño de la tolva de salida del material

La tolva de salida del material triturado se puede diseñar con un volumen igual a la tolva de entrada, pero con dimensiones diferentes, por lo que necesita tener una mayor longitud para que le material se desplace fácilmente por esta, partiendo del área de la tolva de entrada se puede decir que:

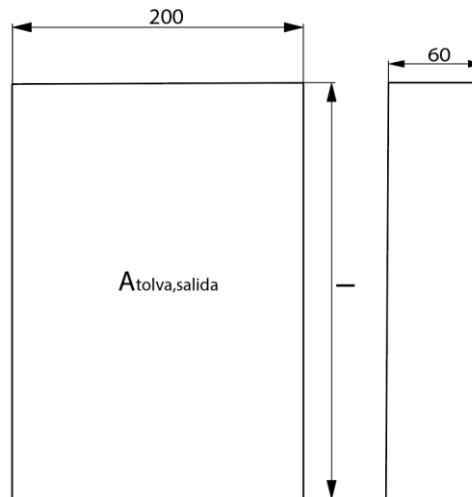
$$A_{tolva,salida} = A_{tolva,entrada}$$

$$A_{tolva,salida} = 92307.7 \text{ mm}^2$$

Conociendo que el ancho de la parte baja de la cámara es de 200 mm la tolva de salida debería tener esta misma dimensión para poder encajar con esta, con lo cual se puede calcular el largo requerido para que el material triturado se desplace correctamente hacia depósitos o contenedores de este material procesado, las dimensiones de diseño se pueden apreciar en la siguiente figura:

Figura 137

Dimensiones de la tolva de salida



Nota. En la figura se observa las dimensiones de la tolva de salida.

Calculando la longitud de la tolva de salida (l) se tiene que:

$$A_{tolva} = B * l$$

$$92307.7 \text{ mm}^2 = 200\text{mm} * l$$

$$l = \frac{92307.7 \text{ mm}^2}{200\text{mm}}$$

$$l = 461.6 \text{ mm}$$

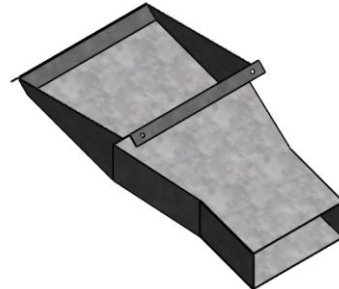
Entonces, el largo de la tolva de salida se puede diseñar de 500 mm de longitud.

Finalmente, al realizar el modelo CAD de la tolva de salida, se obtiene un diseño que se muestra en la figura 138. Es importante destacar que esta tolva se colocará mediante pernos en la parte inferior de la cámara de molienda y será desmontable.

Los planos de la tolva de salida se pueden apreciar en el Anexo U.

Figura 138

Modelamiento de la tolva de salida



Nota. En la figura se observa la tolva de salida.

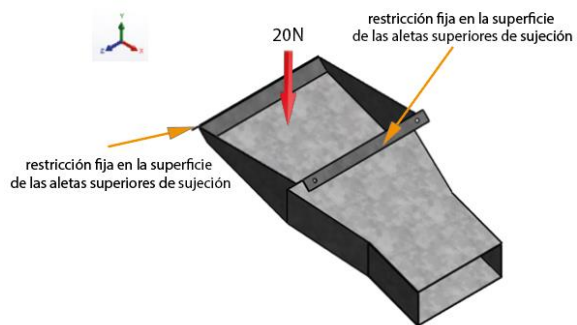
Se realiza un análisis de elementos finitos de la tolva de salida para validar el diseño realizado como se indica a continuación:

Análisis de elementos finitos de la tolva de entrada

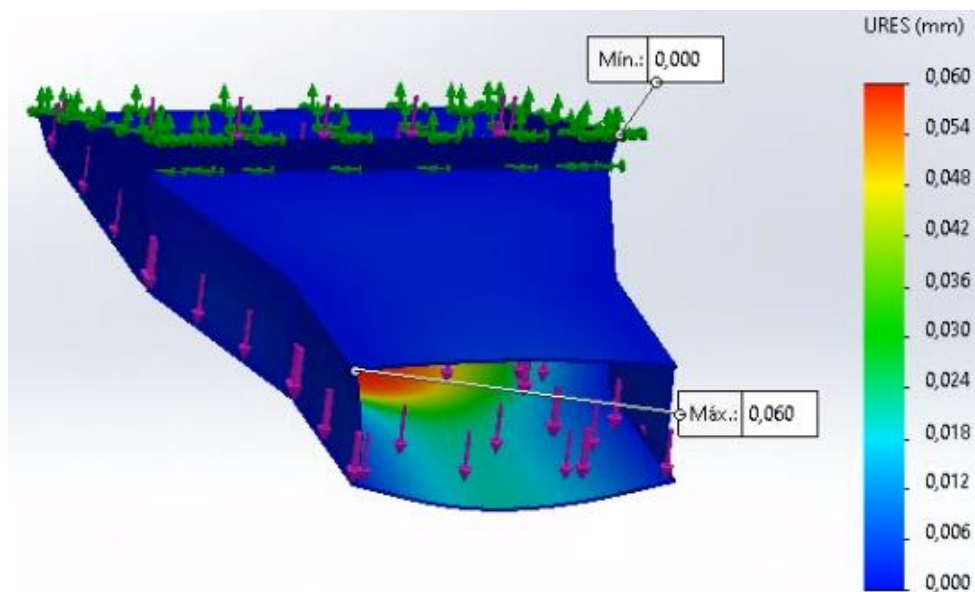
Por la tolva de salida del material se deslizará rápidamente el material triturado, por lo que no tendrá un peso simultáneo considerable, entonces basta realizar este análisis con un peso en toda la base de la tolva de 2 Kg (20N). Además, se establece puntos fijos en las aletas de sujeción en donde se colocarán los pernos que unen este elemento a la cámara de molienda. Estas condiciones de frontera se pueden apreciar en la figura 139.

Figura 139

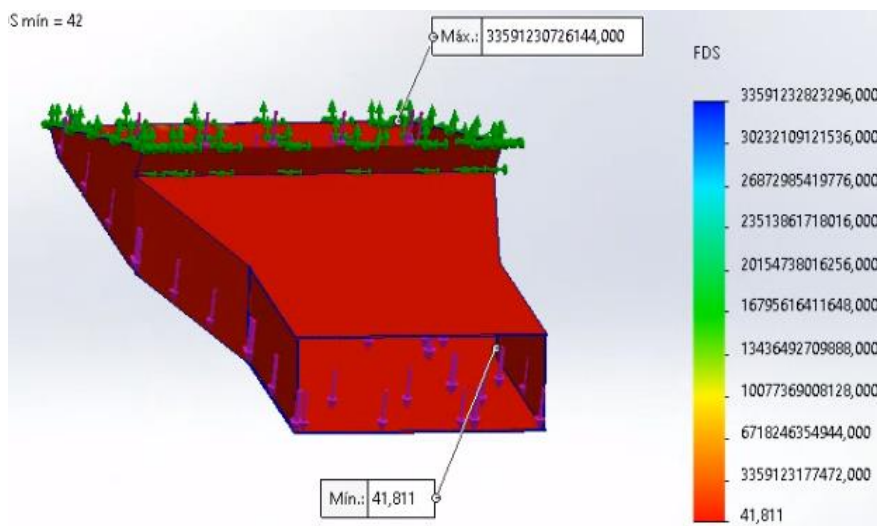
Condiciones de entorno para análisis computacional



Nota. En la figura se observa las condiciones de frontera de la tolva de salida.

Figura 140*Análisis estático de desplazamiento*

Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 141*Análisis estático del factor de seguridad*

Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Con este análisis realizado se identifica un factor de seguridad alto de 41.81 como se indica en la figura 141, y un desplazamiento máximo de 0.06 mm, el cual es imperceptible para este elemento como se observa en la figura 140, con estos resultados se concluye que el diseño de la tolva de salida es adecuado y no sufrirá deformaciones con las cargas preestablecidas.

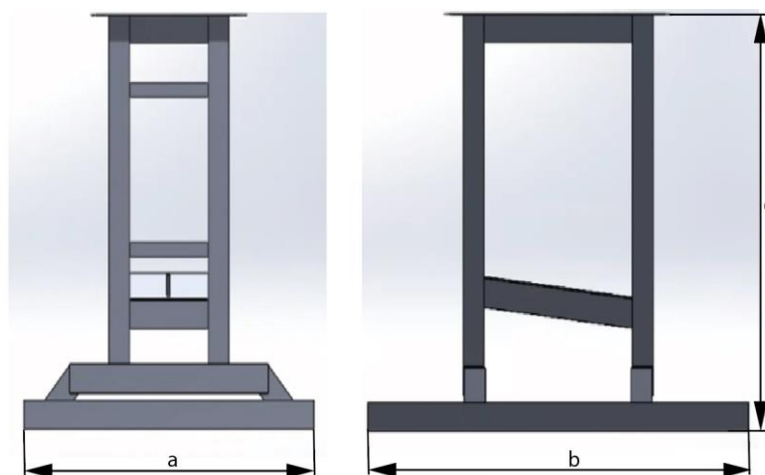
Diseño de la estructura de soporte

La estructura de soporte es fundamental para sostener todos los componentes que conforman el molino de martillos, el diseño se basa únicamente en que las dimensiones mantengan equilibrado a todo el sistema cuando esté en funcionamiento.

Deben existir las más mínimas vibraciones en general y que soporte el peso de los elementos anclados a este, para verificar este último se realiza una tabla con el peso de cada componente para así obtener el peso total que soportara la estructura y mediante el análisis de elementos finitos se verifica el factor de seguridad y desplazamiento del material en el programa SolidWorks. Teniendo en cuenta la estabilidad que debe brindar la estructura a todo el cuerpo de molienda se obtienen las siguientes dimensiones.

Figura 142

Dimensiones de la estructura de soporte



Nota. En la figura se observa las dimensiones de la estructura.

$$a = 700 \text{ mm}$$

$$b = 900 \text{ mm}$$

$$c = 715 \text{ mm}$$

A continuación, se realiza la tabla de pesos de los componentes que debería soportar en total la estructura del molino de martillos:

Tabla 36

Peso ejercido por los elementos del molino de martillos

Elemento	Cantidad	Masa unitaria (Kg)	Peso unitario (N)	Peso total (N)
Eje principal	1	4.47	43.85	43.85
Eje secundario	3	0.24	2.35	7.05
Martillos	24	0.143	1.40	33.67
Discos	5	1.45	14.23	71.15
Separadores	36	0.00091	0.0089	0.32
Chumaceras	2	1.93	18.93	37.86
Polea motriz	1	0.58	5.69	5.69
Polea conducida	1	0.73	7.16	7.16
Cámara, tolvas y tapa superior	1	43.7	428.7	428.7

Elemento	Cantidad	Masa unitaria (Kg)	Peso unitario (N)	Peso total (N)
Motor	1	29	284.49	284.49
Total				713.19 N

Nota. En la tabla se observa las características de los elementos de la máquina.

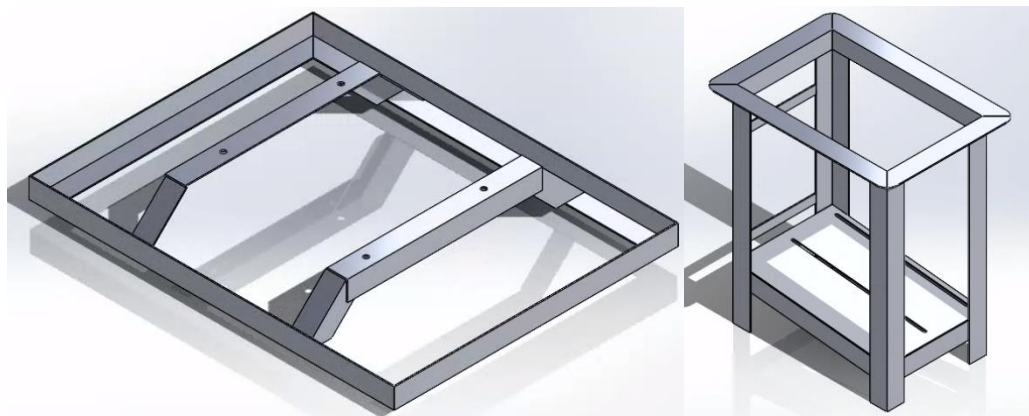
Como se pudo analizar en la tabla 36 el peso que soportará la estructura en la parte alta donde se ubica el conjunto triturador será de 428.7 N y en la parte baja soportará el peso del motor que es de 284.49 N.

Dando un total de 713.19 N de peso que tendrá que soportar en total toda la estructura, y que servirá como dato para realizar los respectivos análisis en software.

La forma de la estructura en CAD se lo puede apreciar en la figura 143.

Figura 143

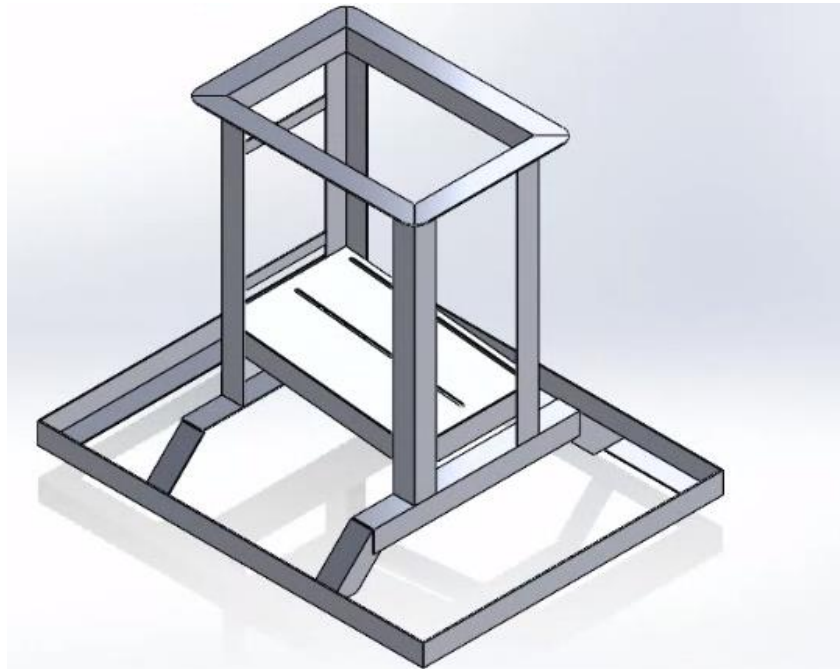
Modelamiento de la estructura base y de soporte



Nota. En la figura se observa los elementos de la estructura.

Figura 144

Ensamblaje de la estructura de soporte



Nota. En la figura se observa el ensamblaje de los elementos de estructura.

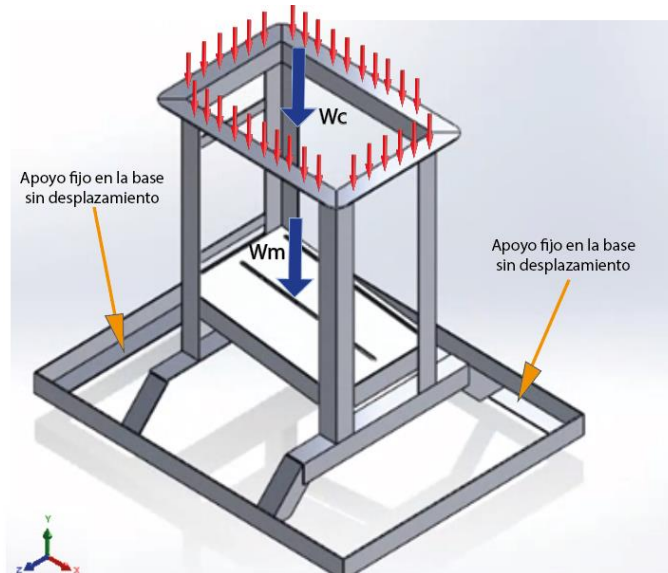
Es fundamental realizar una simulación de elementos finitos al diseño de esta estructura considerando que esta soportará el peso de todos los elementos constituyentes al molino de martillos, el análisis se indica a continuación:

Análisis de elementos finitos de la estructura

Como condiciones de frontera para la estructura se establece apoyos fijos en la base inferior ubicada en el plano ZX para evitar el desplazamiento, se coloca la fuerza de todo el cuerpo de molienda superior representado por $W_c = 428.7\text{N}$ y el peso del motor se coloca en el base inferior representado por W_m con un valor de 284.49N como se indica en la siguiente figura:

Figura 145

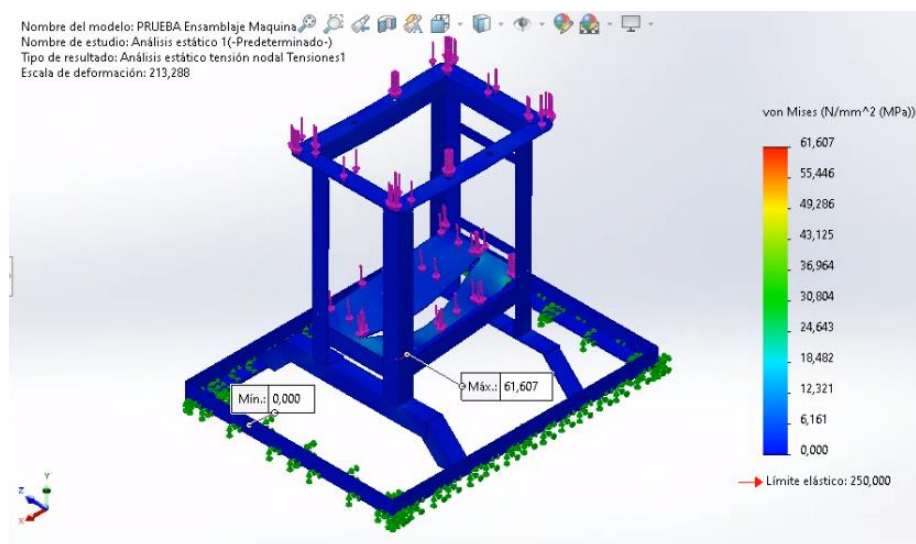
Condiciones de entorno para análisis computacional



Nota. En la figura se logra identificar las fuerzas que intervienen en la estructura, tomando en cuenta los pesos más significativos de la cámara de molienda y conjunto triturador en la parte superior y el motor en la parte inferior.

Figura 146

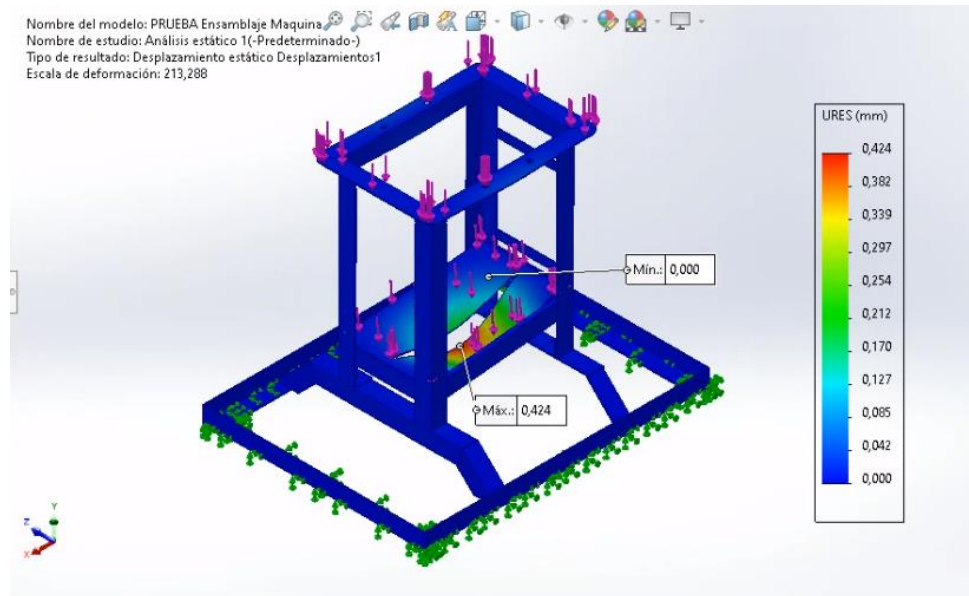
Análisis estático de tensión Von Mises



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Figura 147

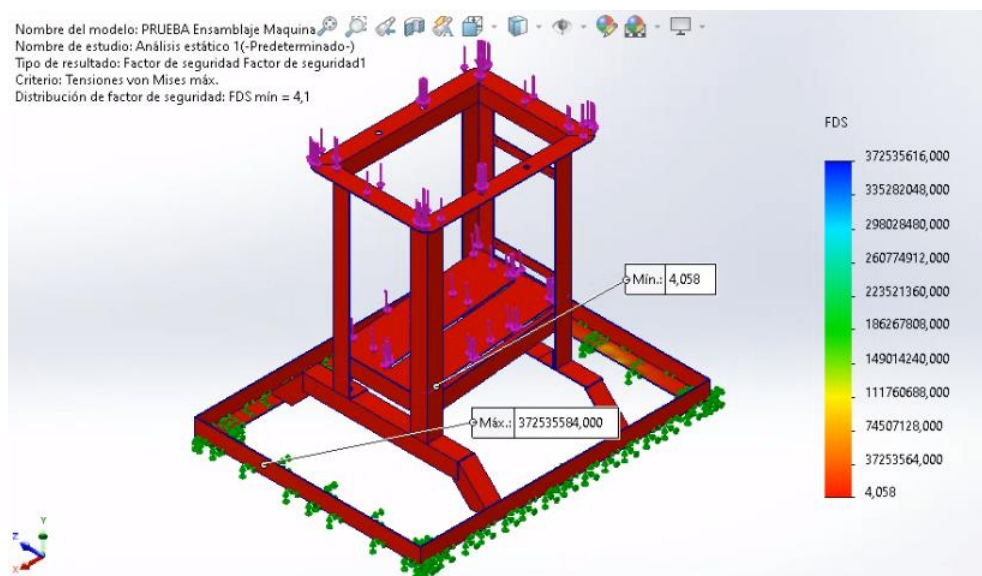
Análisis estático de desplazamiento



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos

Figura 148

Análisis estático del factor de seguridad



Nota. En la figura se observa el análisis computaciones de elementos finitos.

Realizando el análisis de elementos finitos de la estructura base, se obtienen un factor de seguridad mínimo de 4.1 el cual se encuentra en el rango de seguridad, el desplazamiento máximo que puede ocurrir en este elemento es de 0.42 mm, el cual está ubicado en la base donde se asienta el motor, la tensión de Von Mises máxima no supera el límite elástico de la estructura, por lo cual el ensayo es satisfactorio y no existirá fallas en la estructura. Estos ensayos se pueden apreciar en las siguientes figuras:

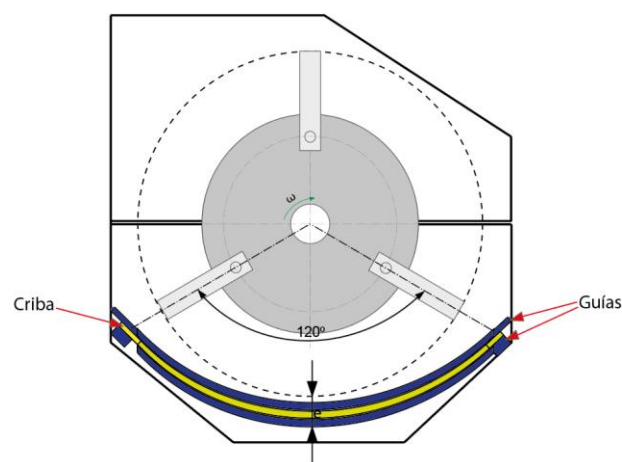
Diseño del sistema de cribado

La criba adoptará una forma curva con el objetivo de incrementar el área de paso para el material triturado. En el diseño actual, se ha considerado que la separación entre el extremo de los martillos y la criba debe situarse a una distancia “e” entre 5 y 15 mm, teniendo en cuenta que la alfalfa es un material voluminoso. Además, para mejorar la eficiencia del cribado, se ha establecido que la criba debe abarcar un ángulo de al menos 120 grados, lo que permite el paso de más partículas en menos tiempo.

Se harán dos canales guías para poder mantener fija la criba. Estas características específicas se pueden apreciar con claridad en la figura 149.

Figura 149

Boceto del sistema de cribado

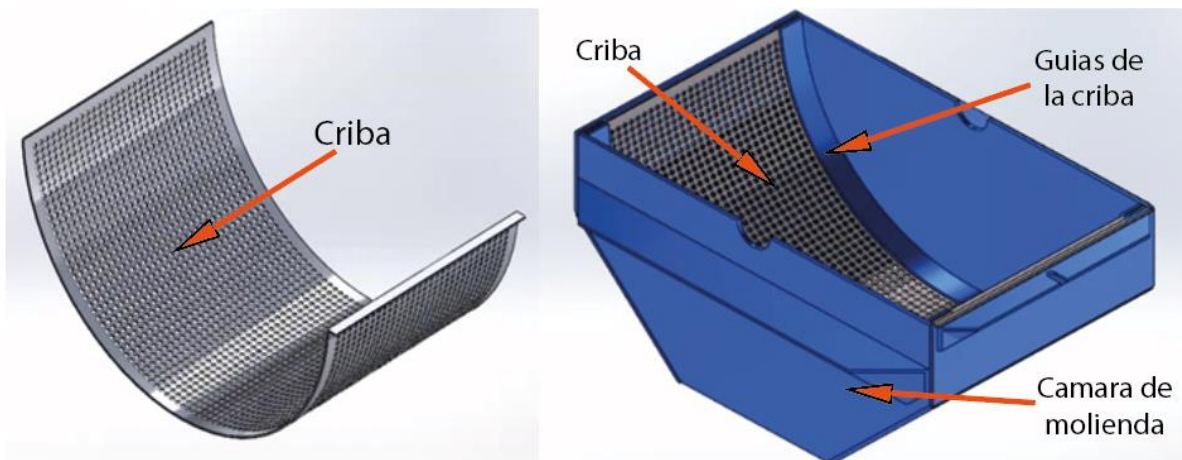


Nota. En la figura se observa la posición de las guías y criba.

A continuación, se identifica en la figura 150 el modelado del sistema de cribado, las guías irán soldadas en los laterales de la cámara de molienda para poder introducir la criba, cabe recalcar que este diseño tiene la flexibilidad para poder intercambiar cribas de diferentes tamaños de perforación para obtener diferentes tamaños de grano, ya sea de la alfalfa deshidratada o del maíz. Para obtener el triturado y troceado de alfalfa y maíz se utilizará dos cribas con perforaciones de diámetro de 2mm y 4 mm, que es lo indicado para la molienda deseada.

Figura 150

Diseño CAD del sistema de cribado



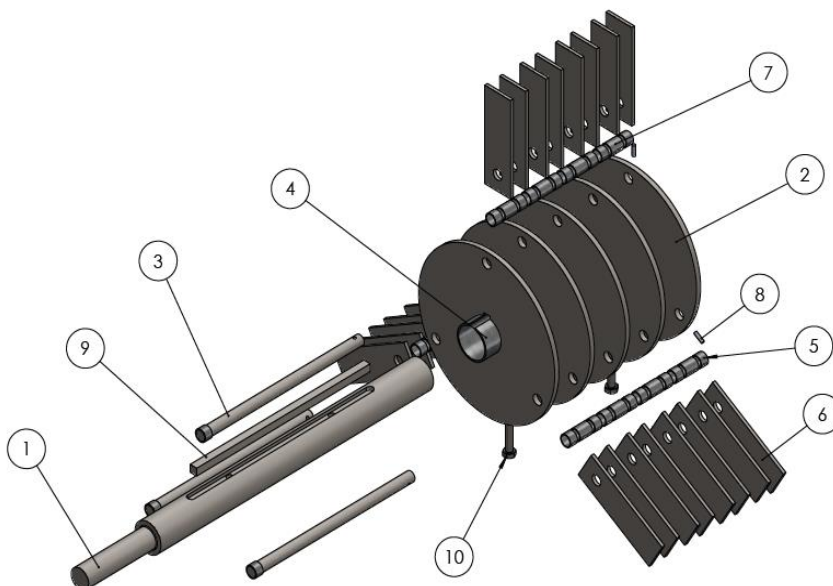
Nota. En la figura se observa los elementos del sistema de cribado.

Ensamblaje y juntas de elementos del conjunto triturador

Una de los elementos más importantes y el que realiza la molienda es el conjunto del cuerpo triturador, el cual consta de las piezas que se pueden identificar en la figura 151, las cuales han sido unidas mediante algunos elementos de sujeción y soldadura que se resumen a continuación:

Figura 151

Piezas que conforman en cuerpo del conjunto triturador



Nota. En la figura se observa los elementos del cuerpo de molienda.

Tabla 37

Elementos del conjunto triturador

Número	Nombre	Cantidad
1	Eje principal	1
2	Disco	5
3	Eje secundario	3
4	Tubo soporte	1
5	Separadores cortos	24
6	Martillos	24
7	Separadores largos	12

Número	Nombre	Cantidad
8	Bincha	6
9	Cuña	1
10	Pernos sujeción	2

Nota. En la tabla se observa la cantidad de elementos del conjunto triturador.

Unión Martillos – separadores – Eje secundario

Los martillos estarán introducidos dentro del eje secundario, y no tendrán ningún tipo de sujeción fija, considerando que el principio de estos es que se levanten por efecto de la fuerza centrífuga cuando el eje comience a girar, por lo cual estos se encontraran libres como se indica en la figura 127.

Unión Discos – Eje secundario

Los ejes secundarios también serán pasantes y no estarán fijos como tal, toda la serie de conjuntos de martillos, separadores y discos estarán conectados lateralmente por medio del eje secundario, de esta forma se evita el desplazamiento hacia los lados y se fija en un extremo mediante soldadura y por el otro con una bincha pasante en el agujero que se realizó en uno de los extremos del eje secundario, como se indica en la figura 151.

Unión Discos – Eje principal

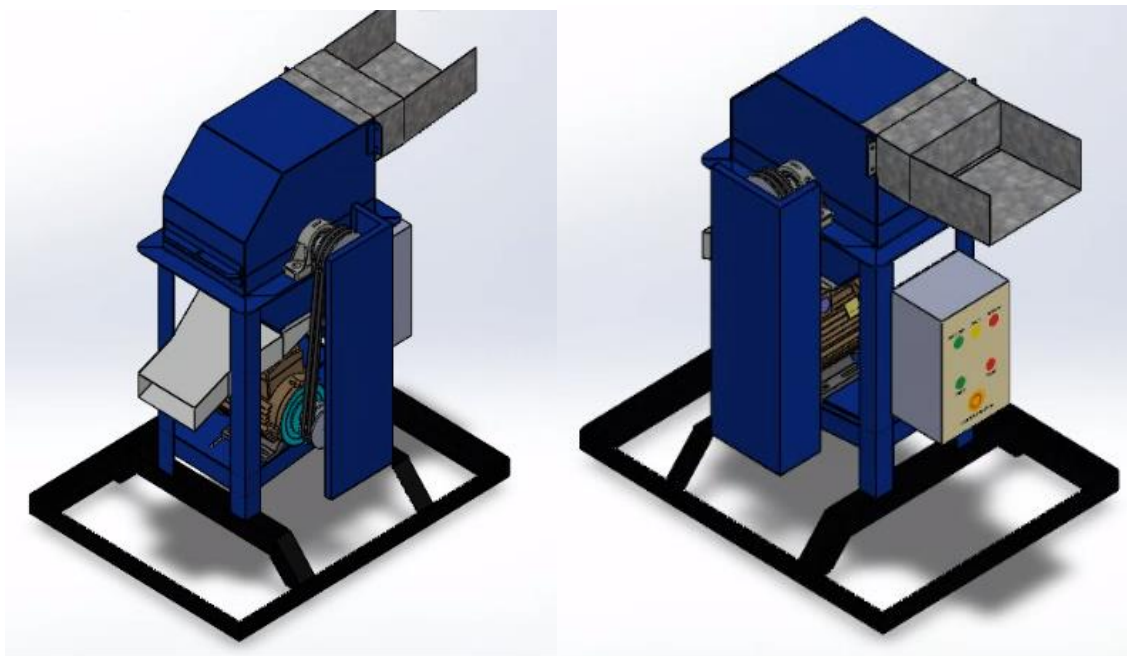
Los discos están soldados a un tubo soporte, el cual se une al eje principal por medio de una cuña y dos pernos pasantes que ayudan a mantener la presión y estabilidad entre el eje principal y los discos, obteniendo un ensamblaje de las piezas confiable y que cumplan con el trabajo de molienda esperado. Estas juntas se observan en la figura 151.

Simulación del ensamblaje total de la máquina

Después de dimensionar y simular cada pieza y componente, se lleva a cabo el ensamblaje completo, asegurándose de que no haya colisiones entre las piezas y verificando su ajuste mutuo. El molino de martillos totalmente armado se puede ver en la simulación de la figura 152. Para ver el explosionado de la máquina completa se puede revisar el Anexo U.

Figura 152

Ensamblaje CAD del molino de martillos



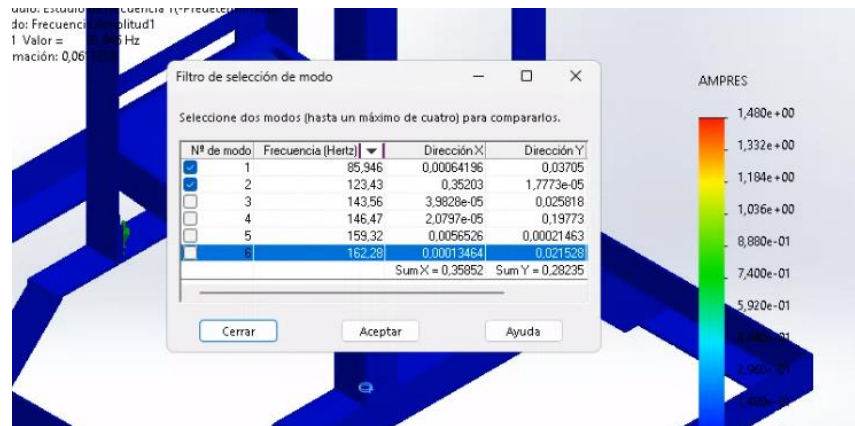
Nota. En la figura se observa el ensamblaje total de la máquina de martillos.

Análisis de vibraciones para la estructura

Se realiza este análisis teniendo en cuenta que la máquina puede vibrar por efecto del movimiento angular que realiza el motor a alta velocidad, es necesario verificar la frecuencia en la que la máquina podría tener complicaciones conocida como frecuencia resonante, en la figura 153 se muestra un listado de las frecuencias con las cuales la estructura podría entrar en resonancia.

Figura 153

Modos de frecuencia resonantes para la estructura



Nota. En la figura se observa los valores de frecuencia de resonancia de la estructura.

Para encontrar la frecuencia con la que trabajará el molino de martillos, se puede realizar a partir de la velocidad angular con la rota el eje principal del conjunto triturador, y se calcula como se indica a continuación

$$w_{molino} = 3000 \text{ rpm}$$

$$w_{molino} = 3000 \frac{rev}{min} * \frac{1min}{60s} * \frac{2\pi rad}{1rev} = 314.16 rad/s$$

$$f_{eje,molino} = \frac{w_{molino}}{2\pi rad}$$

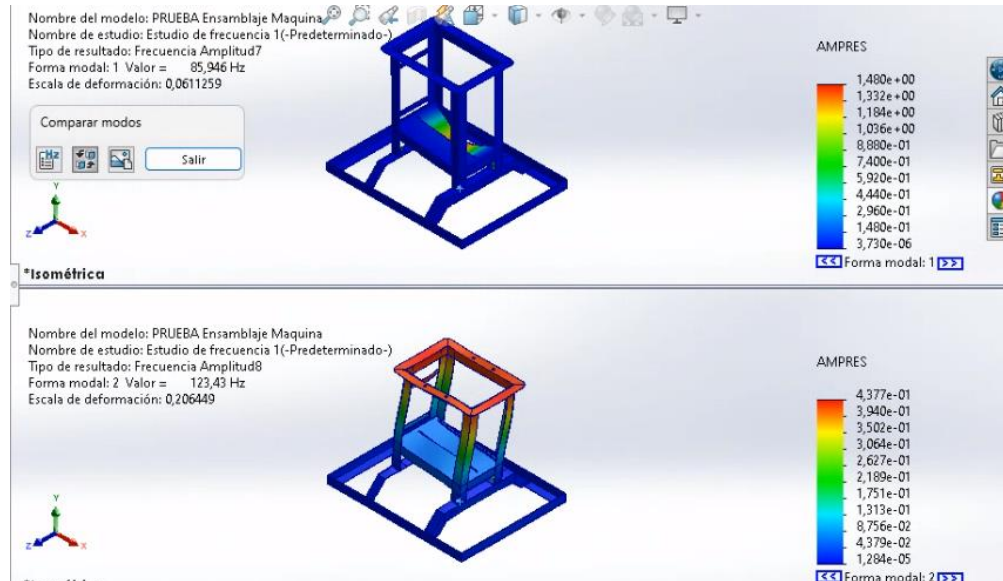
$$f_{eje,molino} = \frac{314.16 rad/s}{2\pi rad}$$

$$f_{eje,molino} = 50 \text{ Hz}$$

Entonces la frecuencia que genera el movimiento de rotación del conjunto triturador es de 50 Hz. Por lo que se concluye que el sistema de molienda tiene una frecuencia más baja y diferente a las de resonancia natural de la estructura que se indican en la figura 153, por lo que la máquina no caerá en resonancia y no existirá algún tipo de daño estructural, generación de ruidos o inestabilidad del sistema general. Se puede observar el estudio con las frecuencias de resonancia de la estructura en la figura 154 y 155.

Figura 154

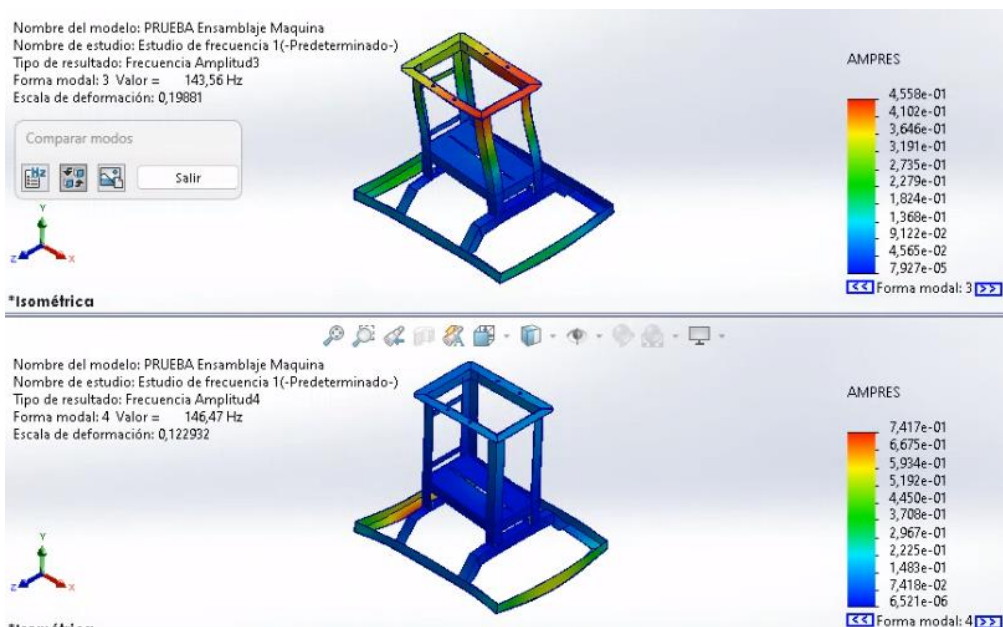
Estudio de la estructura con frecuencia resonante 1 y 2



Nota. Se observa el comportamiento de la estructura ante las frecuencias resonantes.

Figura 155

Estudio de la estructura con frecuencia resonante 3 y 4



Nota. Se observa el comportamiento de la estructura ante las frecuencias resonantes.

Diseño del sistema eléctrico

Como se analizó al comienzo de este capítulo el sistema eléctrico debe ser amigable y fácil de utilizar por parte de los usuarios de la comunidad, por lo que se va a realizar un diseño sencillo, seguro y de fácil entendimiento.

Los elementos eléctricos a utilizar se colocarán ordenadamente en el interior de un tablero de control de dimensiones optimas, dentro del tablero eléctrico se encontrarán los siguientes elementos:

Protecciones eléctricas

- Interruptor termomagnético
- Relé térmico

Elementos de mando

- Pulsadores
- Paro de emergencia
- Contactor

Elementos de señalización

- Luces piloto
- Pegatinas de seguridad

Parámetros eléctricos del sector

La disponibilidad de la energía eléctrica es indispensable para el funcionamiento del molino de martillos, por ende, mediante las encuestas realizadas al inicio de este capítulo se consiguió los siguientes parámetros de diseño:

$$V = 220V$$

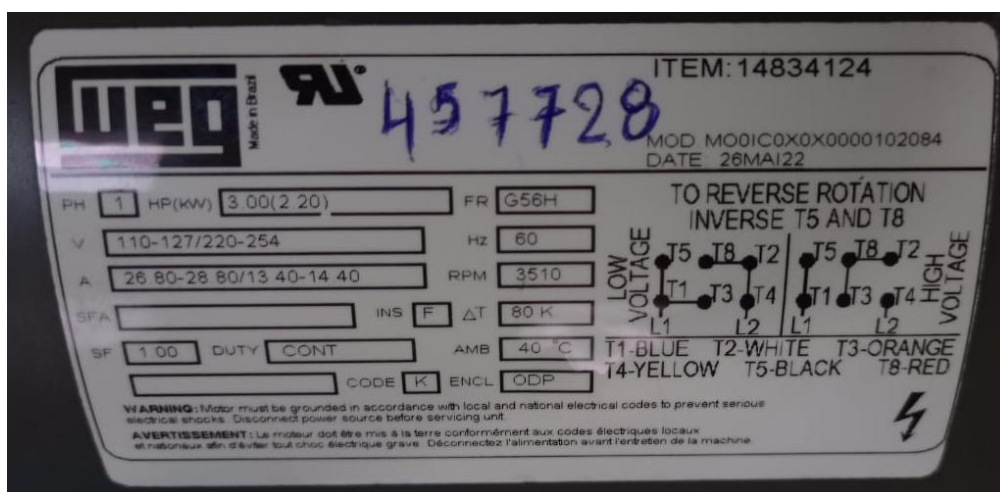
$$f = 60Hz$$

Parámetros eléctricos del motor seleccionado

La potencia del motor calculada en este capítulo fue de 3 hp y 220v de alimentación eléctrica, por lo cual se consiguió en el área comercial un motor monofásico marca WEG con una placa de características como se indica en la figura 156, los parámetros más importantes del motor para realizar el respectivo cálculo y dimensionamiento de los elementos eléctricos que acompañan al funcionamiento correcto del motor se aprecian en la tabla 38.

Figura 156

Placa de datos del motor eléctrico



Nota. En la figura se observa que existen dos tipos de conexiones, para el presente caso se utilizará la conexión “HIGH VOLTAGE” es la que trabaja con 220V de alimentación.

Tabla 38

Datos técnicos principales del motor WEG.

Motor WEG monofásico	
Modelo	Abierto
Potencia	3 HP (2.2KW)

Motor WEG monofásico	
Voltaje	220 V
Corriente nominal	13.9 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad angular	3600 RPM
Tipo de carcasa	G56H
Grado de protección	IP21

Nota. En la tabla se aprecia las características principales para realizar el dimensionamiento de los elementos eléctricos, se elige la corriente correspondiente a la alimentación de 220V.

Selección del interruptor termomagnético

Este dispositivo es muy importante implementarlo en el circuito, será de protección ante eventos de sobrecargas y cortocircuitos que pueden ocurrir. Para su correcto dimensionamiento se considera la corriente que consumirá el motor, por lo que es importante que la corriente del interruptor termomagnético seleccionado se encuentra en el rango de la corriente nominal y la corriente máxima soportada como se indica en la ecuación 55.

$$I_n \leq I_{T-M} \leq I_{m\acute{a}x} \quad (55)$$

Donde:

I_n = corriente nominal del motor [A]

I_{T-M} = Corriente del interruptor termomagnético [A]

$I_{m\acute{a}x}$ = Corriente máxima admisible [A]

Para calcular la corriente máxima se utiliza la expresión

$$I_{m\acute{a}x} = 1.5 * I_n$$

$$I_{m\acute{a}x} = 1.5 * 13.9 A$$

$$I_{m\acute{a}x} = 20.85 A$$


Por lo que, la corriente del interruptor termomagnético debe estar entre:

$$13.9 A \leq I_{T-M} \leq 20.85 A$$

Se selecciona el interruptor termomagnético de 32 A que se indica en la tabla 39, para conocer más detalles de los datos técnicos del interruptor termomagnético seleccionado se puede dirigir al Anexo O.

Tabla 39

Datos técnicos del interruptor termomagnético seleccionado

Interruptor termomagnético marca CHINT	
Figura	
Curva / Corriente	C 32 A
Voltaje	220 V
Número de polos	2
Montaje	Riel DIN

Nota. En la tabla se observa los elementos eléctricos.

Selección del contactor

Para la selección del contactor se realiza en base del tipo de trabajo que realizará el motor y la potencia del mismo.

El tipo de trabajo que realiza el motor se indica por categorías: para el presente caso se utiliza la categoría AC-3 que es ideal para motores jaula de ardilla en el cual durante el funcionamiento puede haber cortes a motor lanzado.

Sabiendo que el motor a utilizar posee una potencia mecánica de 3 HP (2238 W) se calcula la potencia eléctrica de entrada con la siguiente expresión:

$$P_E = \frac{P_m}{\eta}$$

$$P_E = \frac{2238W}{0.85}$$

$$P_E = \frac{2238W}{0.85}$$

$$P_E = 2632.94 W$$

Se obtiene una potencia eléctrica de 2632.94 W que es equivalente a 3.53 HP,

Luego se calcula la corriente absorbida con la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{V * \eta * \cos\phi}$$

$$I = \frac{2632.94 W}{220V * 0.85 * 0.87}$$

$$I = 17.20 A$$

Con la corriente obtenida, se puede elegir un contactor de 18 amperios, pero por seguridad se elige el superior a este que es de 25 amperios, como se puede apreciar en la tabla 40, además se puede ver a detalle parámetros y las especificaciones técnicas en el Anexo P.

Tabla 40*Datos técnicos contactor***Contactor marca CHINT**

Figura



Tipo	NXC-25
Corriente	25 A
Voltaje	220 V monofásico
Voltaje de bobina	220 V
Montaje	Riel DIN

Nota. Se observa las características del contactor.

Selección del relé térmico


Este dispositivo es importante implementarlo, protegerá al motor eléctrico ante corrientes que exceden el límite conocidas como sobrecargas.

Se elige en base al voltaje de operación y al rango de corriente, en donde se encuentra establecido el valor de la corriente nominal.

En la tabla 41 se indica los parámetros eléctricos del relé térmico seleccionado. Además, se puede revisar los datos técnicos y especificaciones adicionales del relé térmico en el Anexo Q.

Tabla 41

Datos técnicos Relé térmico

Relé térmico marca CHINT	
Figura	
Tipo	NXR-25
Corriente de ajuste	12-18 A
Fusible de protección	35 A
Número de polos	3

Nota. Se observa las características del relé térmico.

Selección del conductor eléctrico

La corriente del conductor se calcula en base a la corriente nominal y aumentando un 30% de la misma, esto corresponde a la corriente de trabajo que se indica en la siguiente expresión:

$$I_{trabajo} = I_n + 30\% * I_n$$

$$I_{trabajo} = 13.9 + 0.3 * 13.9$$

$$I_{trabajo} = 18.07 A$$

Figura 157

Calibres y amperajes de cables eléctricos

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A

Nota. Se observa las características de los cables.

Se selecciona un cable THW (75 °C) calibre #12 AWG que soporta 20 Amperios.


Selección de pulsadores

Este elemento permitirá activar el contactor dando el libre paso de la corriente eléctrica al motor e iniciar la molienda. Para iniciar el funcionamiento del molino se utilizará un pulsador de color verde y para detener un pulsador de color rojo, los parámetros adecuados para seleccionar el pulsador serán en base al voltaje de operación.

Tabla 42

Datos técnicos pulsadores

Parámetro	Arranque	Parada
Marca	CHINT	CHINT
Color	Plástico Verde	Plástico Rojo

Parámetro	Arranque	Parada
Contacto	2 NA	2 NC
Diámetro	22 mm	22 mm
Figura		

Nota. Se observa las características de los pulsadores.

Selección de luces piloto

Este elemento es una luz de señalización que ayudará a identificar si el equipo está en funcionamiento o no, para su selección se verifica que el voltaje sea acorde al que se utilizará en todo el sistema.

Tabla 43

Datos técnicos luces piloto

Parámetro	Indicación	Indicación	Indicación
	Funcionamiento	Parada	Sobrecarga
Marca	CHINT	CHINT	CHINT
Color	Verde	Rojo	Amarillo
Voltaje	220 V	220 V	220 V
Diámetro	22 mm	22 mm	22 mm

Parámetro	Indicación	Indicación	Indicación
	Funcionamiento	Parada	Sobrecarga
Figura			


Nota. Se observa las características de las luces piloto.

Selección del paro de emergencia

Este es un elemento muy importante en el circuito eléctrico, ayudará a detener totalmente el sistema en caso de que ocurra en evento inesperado que afecte con la integridad de la persona que opere la máquina, su selección es únicamente con el voltaje utilizado en el sistema como se indica a continuación:

Tabla 44

Datos técnicos paro de emergencia

Parámetro	Indicación de inicio
Marca	CHINT
Color	Plástico rojo
Voltaje	220 V
Diámetro	22 mm
Figura	

Nota. Se observa las características del paro de emergencia.

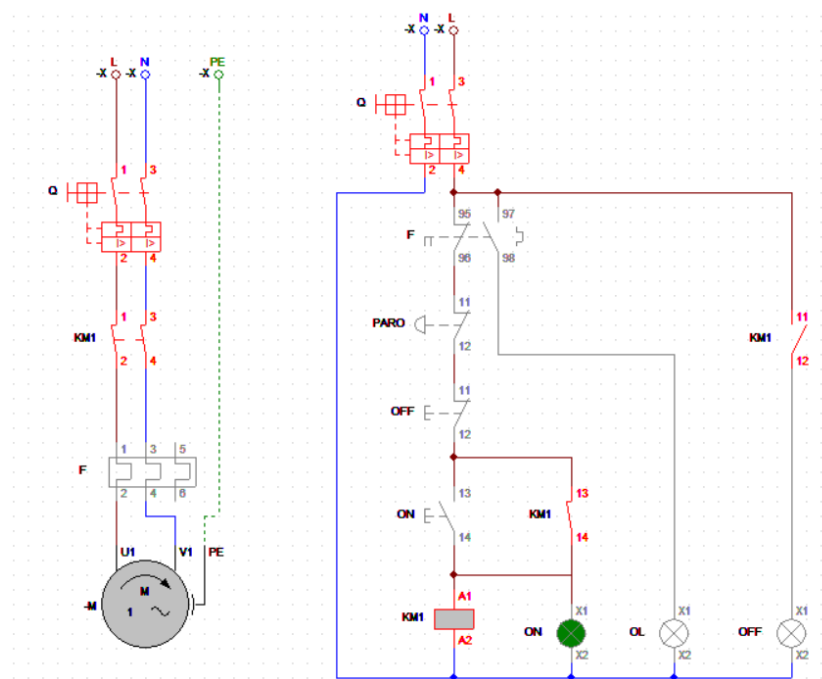
Diseño del circuito eléctrico para el molino de martillos

Se ha creado un circuito de control simple para encender y apagar un motor eléctrico. Para iniciar el motor, se debe presionar el pulsador verde "ON". Al hacerlo, se energiza la bobina del contactor KM1, lo que permite el flujo de corriente hacia el motor. Además, se enciende el indicador verde y se apaga el indicador rojo, tal como se muestra en la figura 158.

Para apagar el sistema, se debe presionar el pulsador rojo "OFF". Al hacerlo, la bobina del contactor se desenergiza, interrumpiendo el flujo de corriente hacia el motor. En consecuencia, se enciende el indicador rojo, indicando que el motor está apagado, como se representa en la figura 159. En caso de que ocurra una sobrecarga o calentamiento del motor eléctrico, se activa la protección térmica. Esta medida de seguridad desconecta el motor de la energía y enciende el indicador amarillo "OL", que señala la presencia de este evento, tal como se muestra en la figura 160.

Figura 158

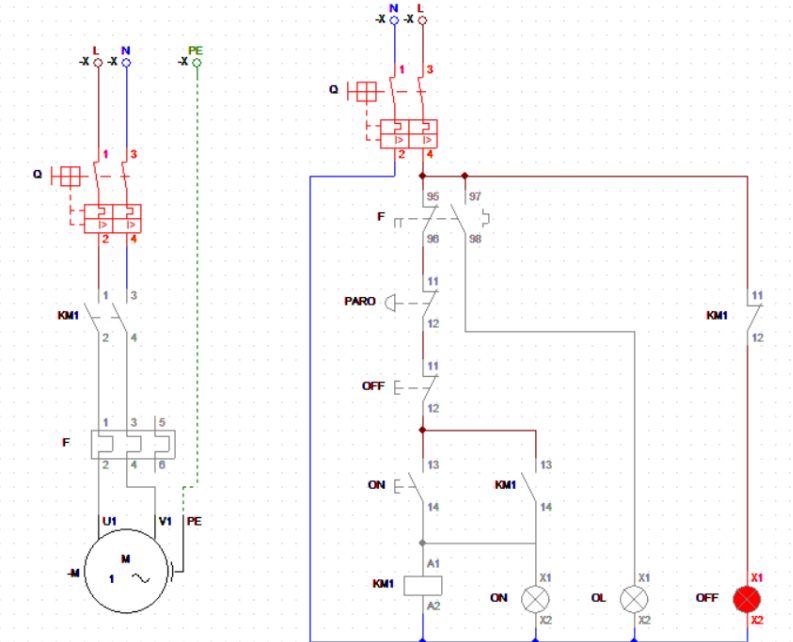
Circuito eléctrico del molino de martillos activado



Nota. Se observa el circuito activado.

Figura 159

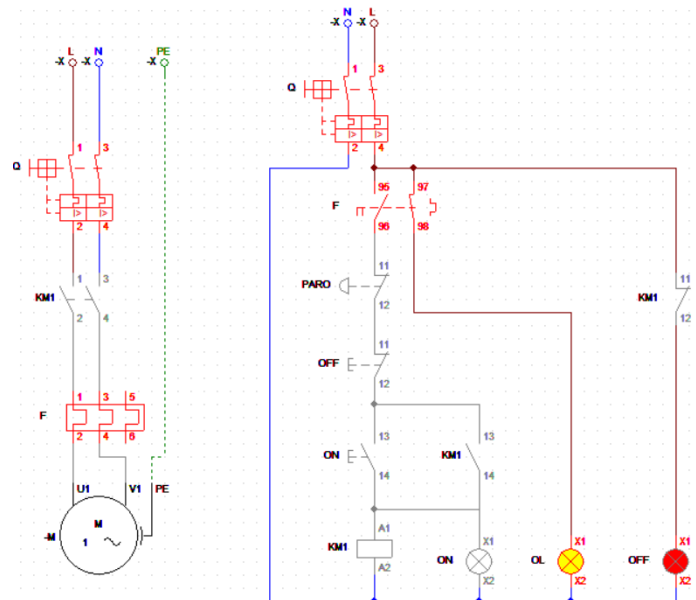
Circuito eléctrico del molino de martillos desactivado



Nota. Se observa el circuito desactivado.

Figura 160

Activación de la protección térmica del motor



Nota. Se observa el circuito en fallo.

Diseño del tablero de control

Se lleva a cabo un diseño rápido para determinar la ubicación adecuada de las luces piloto, el botón de paro de emergencia y los pulsadores para el arranque del motor, teniendo en cuenta las dimensiones necesarias para acomodar todos los componentes de manera apropiada.

Figura 161

Dimensiones del tablero de control



Nota. Se observa la distribución del tablero.

$$X = 20; Y = 300; Z = 150$$

Implementación del molino de martillos

Una vez completado el diseño y dimensionamiento de todos los componentes mecánicos y eléctricos, se procede a la adquisición de los materiales necesarios, así como su fabricación y montaje.

En esta sección, se partirá de los planos CAD previamente elaborados. Se realizará los procesos de manufacturas adecuados para obtener las piezas finales. Y finalmente se realizará el proceso de montaje para obtener la máquina final.

A continuación, se indica las máquinas y equipos que se utilizaron en la construcción del molino de martillos:

Tabla 45

Máquinas y equipos

Designación	Máquina y/o equipo	Características
M1	Amoladora angular	Velocidad: 11000 rpm
	Skil 9004	Mandril: 115 mm
		Voltaje: 120V
		Potencia: 830W
M2	Soldadora MIG	Voltaje: 220V
	MillerMatic 252 Miller	Amperaje: 50-250A
M3	Dobladora de Tool	Espesor de trabajo: 3 mm
	Vivanco	Longitud útil: 1800mm
M4	Taladradora de mesa	Velocidad: 90 – 1970 rpm
	TopTech	Avance eje Y: 190mm
	DM45	Avance eje X: 560mm
		Voltaje: 220V
M5		Potencia del motor: 1.5 KW
	Torno Paralelo Top-Tech	Velocidad: 45 – 1800 rpm
	Turner	Distancia entre centros: 1000mm
	360x1000	Volteo sobre bancada: 400mm
		Diámetro del husillo: 52mm
		Voltaje: 220V
		Amperaje: 9.8 A

Designación	Máquina y/o equipo	Características
M6		Potencia del motor: 2.54 KW
	Fresadora Toptech	Velocidad: 90-3000 rpm
	De bancada BF20V	Capacidad de fresado: 20mm
		Avance eje X: 280mm
		Avance eje Y: 175mm
		Avance eje Z: 280mm
		Ángulo de inclinación del husillo: 90°
	Voltaje: 220V	
	Potencia del motor: 850W	

Nota. Se observa la denominación de cada máquina.

Además de la maquinaria utilizada también se necesitó de herramientas y accesorios auxiliares que se emplean en la construcción, los cuales se indican en la tabla 46.

Tabla 46

Herramientas y/o accesorios

Designación	Herramienta y/o Accesorio
H1	Flexómetro
H2	Escuadra
H3	Martillo
H4	Calibrador pie de rey
H5	Lima cuadrada
H6	Herramienta de corte para torno

Designación	Herramienta y/o Accesorio
H7	Fresa
H8	Escuadras magnéticas
H9	Brocas
H10	Entenalla
H11	Cepillo de metal
H12	Tiza industrial
H13	Remachadora

Nota. Se observa la denominación de los elementos.

Para la construcción de la máquina se utilizaron varias operaciones tecnológicas necesarias para obtener cada pieza que conformará el molino en la etapa de ensamblaje, y se indican en la tabla 47.

Tabla 47

Operaciones tecnológicas

Nro. De Operación	Operaciones
1	Medición y trazado
2	Corte del material: con amoladora
3	Limpieza de rebabas: Amoladora o lima
4	Doblado

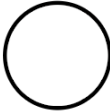

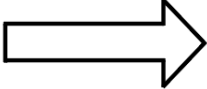


Nro. De Operación	Operaciones
5	Unión de partes (soldadura)
6	Torneado: cilindrado
7	Torneado: tronzado
8	Taladrado
9	Fresado
10	Remachado
11	Nivelado
12	Tratamiento térmico
13	Montaje

Nota. En la tabla se observa la denominación de las operaciones

Cursograma sinóptico de la construcción

Esta representación gráfica indica la secuencia y orden de las operaciones tecnológicas que se utilizan en la elaboración de cada elemento siguiendo los planos que se adjuntan en el Anexo U. Para una buena comprensión de los procesos se realiza el cursograma utilizando la simbología de la tabla 48, además se colocará el tiempo de implementación expresado en minutos de cada operación en la parte izquierda de los símbolos.

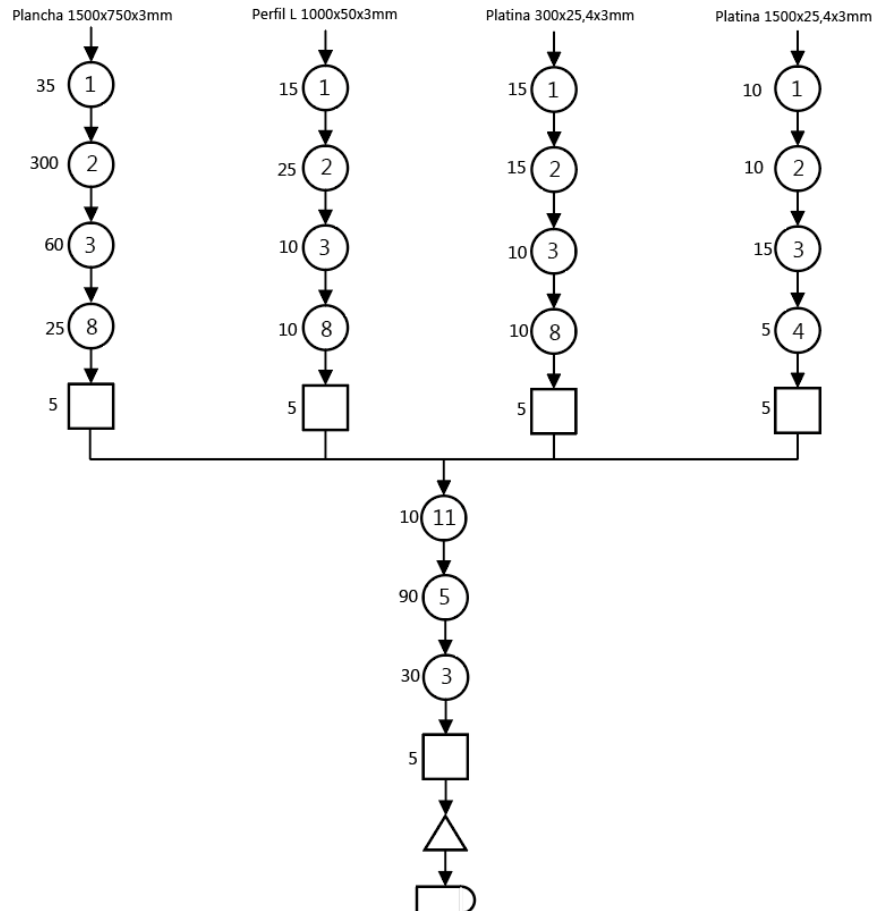
Tabla 48*Simbología de elementos de un cursograma*

Significado	Símbolo
Operación tecnológica	
Inspección	
Traslado o transporte	
Almacenamiento	
Espera	

Nota. En la tabla se observa la simbología del cursograma.

Construcción de la cámara de molienda

Para la construcción de esta sección, se emplea una plancha ASTM A36 para las paredes y perfiles tipo L para los soportes, se realizan las operaciones de acuerdo a las dimensiones del Anexo U, el cursograma de construcción se indica en la siguiente figura:

Figura 162*Cursograma de la construcción de la cámara de molienda*

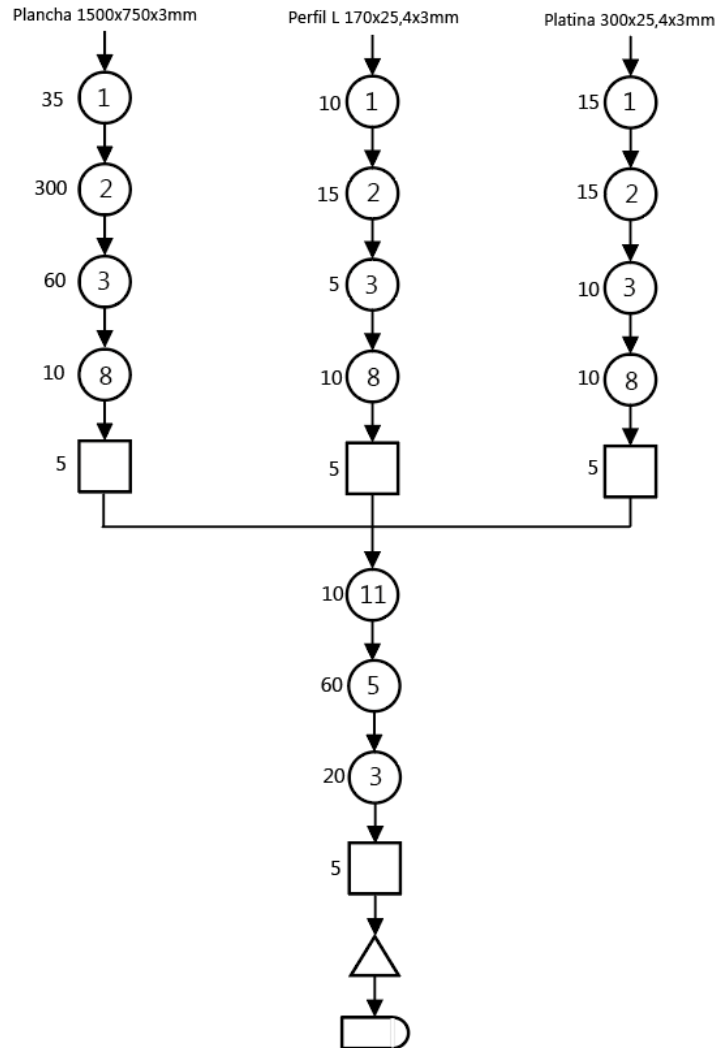
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la cámara de molienda.

Construcción de la tapa de la cámara de molienda

En la construcción de este elemento, también se emplea una plancha ASTM A36 para las paredes y perfiles tipo L para los soportes. Se realizan algunos procesos que se identifican en la figura 163, siguiendo las dimensiones en la etapa de diseño que se establecen en el anexo U.

Figura 163

Cursograma de la construcción de la tapa de la cámara



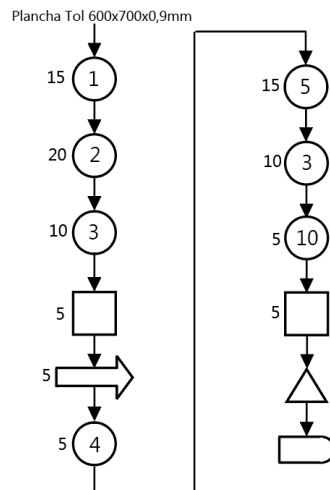
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la cámara de molienda.

Construcción de la tolva de entrada

Para la construcción de la tolva, se utilizan planchas de tol galvanizadas. Este material es adecuado para las tolvas debido a su ligereza y capacidad de ser moldeado. Se puede observar el cursograma de construcción en la siguiente figura:

Figura 164

Cursograma de la construcción de la tolva de entrada



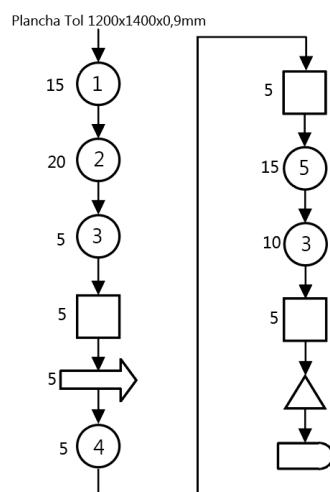
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la tolva de entrada.

Construcción de la tolva de salida

Para la tolva de salida, también se utilizan planchas de tol galvanizadas debido a su ligereza. Se puede observar el cursograma de construcción en la siguiente figura:

Figura 165

Cursograma de la construcción de la tolva de salida



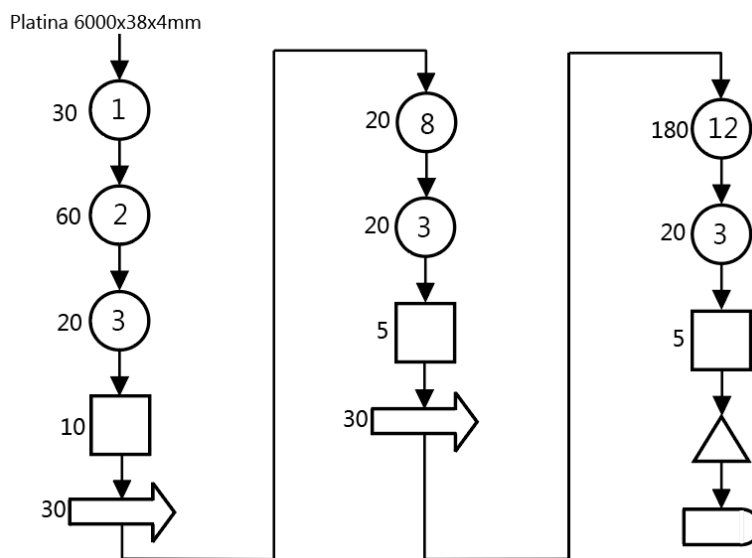
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la tolva de salida.

Construcción de los martillos

Para fabricar los martillos, se emplean platinas de 38 mm de ancho y 4 mm de espesor, fabricadas con el estándar ASTM A36. Estas platinas suelen encontrarse comercialmente en longitudes de 6 metros. Por lo tanto, se adquiere una de estas unidades. Las dimensiones para los martillos se pueden encontrar en el Anexo U, y los pasos para su fabricación se resumen en la siguiente figura:

Figura 166

Cursograma de la construcción de los martillos



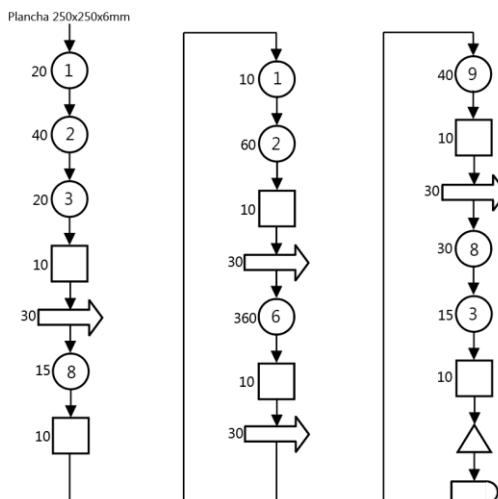
Nota. Se observa el cursograma de construcción de los martillos.

Construcción de los discos

Para la elaboración de los discos portadores de los ejes secundarios se utiliza planchas ASTM A36 de 6 mm de espesor. El resumen para los procesos se detalla a continuación:

Figura 167

Cursograma de la construcción de los discos



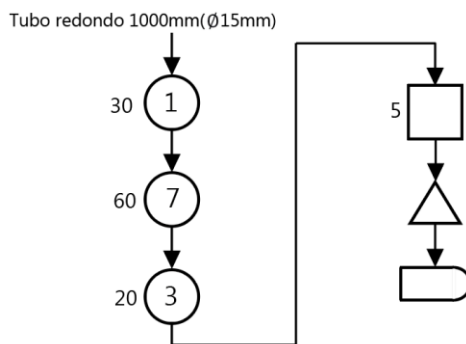
Nota. Se observa el cursograma de construcción de los discos.

Construcción de los separadores

Los separadores se obtienen a partir de tubos metálicos de 15 mm de diámetro para poder ser insertados en el eje secundario, con el objetivo de mantener fijos a los martillos de percusión. Las dimensiones para fabricar estos elementos se pueden encontrar en el Anexo U y los pasos se resumen en la siguiente figura:

Figura 168

Cursograma de la construcción de los separadores



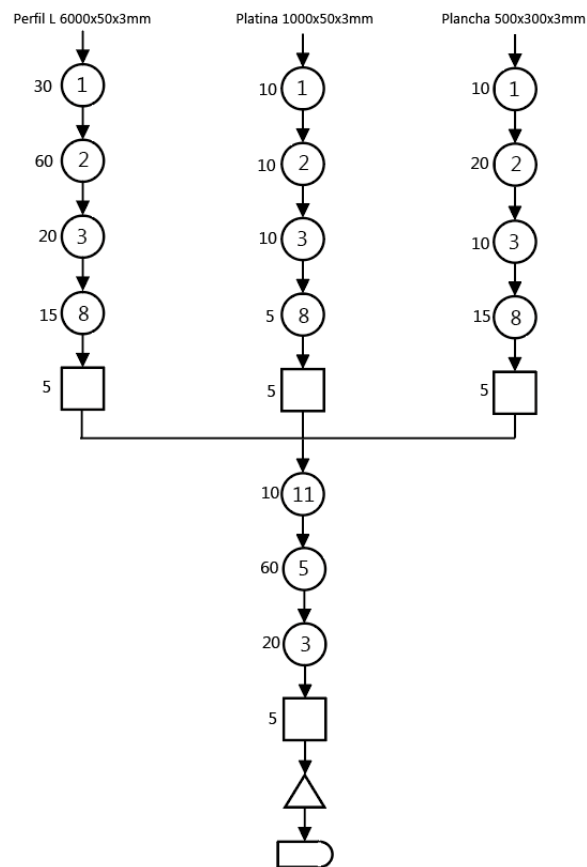
Nota. Se observa el cursograma de construcción de los separadores.

Construcción de la estructura soporte

Para la fabricación de la estructura de soporte se utiliza perfiles tipo L, planchas ASTM A36 y platinas de 3 mm de espesor, el procedimiento utilizado para la construcción de este elemento se indica en la siguiente figura:

Figura 169

Cursograma de la construcción de la estructura soporte



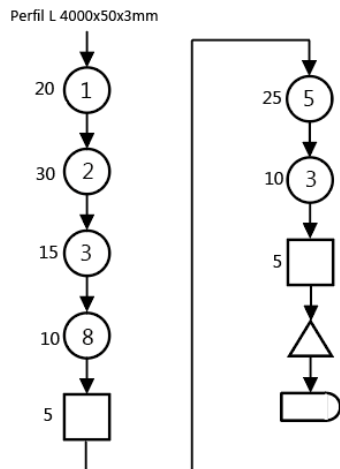
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la estructura de soporte.

Construcción de la estructura base

Para la estructura base se utiliza perfiles estructurales tipo L de 3 mm de espesor. Los pasos para la construcción se detallan en la siguiente figura:

Figura 170

Cursograma de la construcción de la estructura base



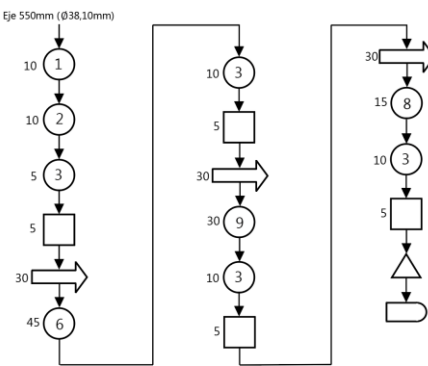
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la estructura de la base.

Construcción del eje principal

Para la construcción del eje principal, se emplea acero de tracción AISI 1020 de 1 ½ pulgadas y 550 mm de longitud, estas son las dimensiones que se obtuvo en la etapa de diseño con el fin de prevenir deflexiones y soportar los esfuerzos calculados. Los procesos realizados se verifican en la siguiente figura, siguiendo las dimensiones establecidas en los planos del Anexo U.

Figura 171

Cursograma de la construcción del eje principal



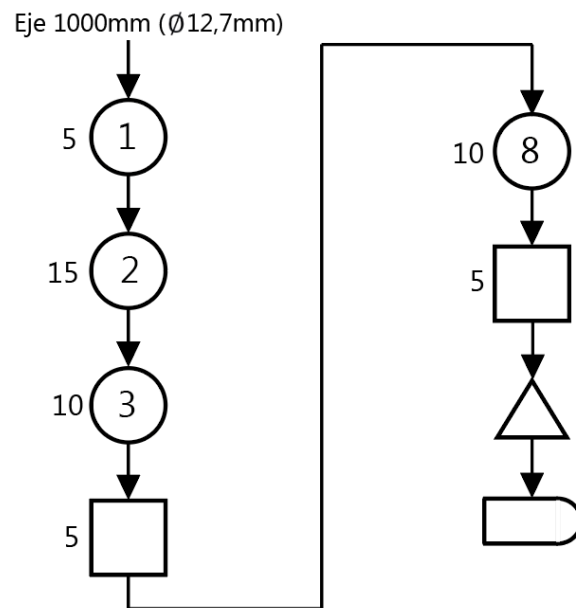
Nota. Se observa el cursograma de construcción del eje principal.

Construcción del eje secundario

Para la obtención de los 3 ejes secundario se parte utilizando un acero AISI 1020 DE ½ pulgada de diámetro y 1 metro de longitud. Los pasos para la construcción se detallan en la siguiente figura:

Figura 172

Cursograma de la construcción del eje secundario



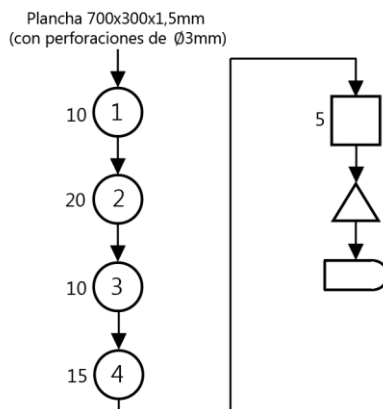
Nota. Se observa el cursograma de construcción del eje secundario.

Construcción de la criba

Para la elaboración de la criba se parte de una plancha de acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, con perforaciones de 3 mm de diámetro, la cual se ubicará en las guías de la parte interna baja de la cámara de molienda. Los procedimientos para este elemento se los resume en la siguiente figura:

Figura 173

Cursograma de la construcción de la criba



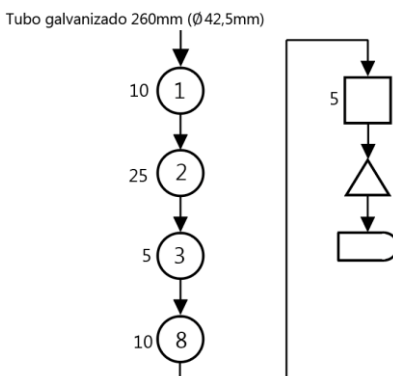
Nota. Se observa el cursograma de construcción de la criba.

Construcción de tubo porta eje primario

Para tener una mejora estabilidad del conjunto triturador se colocará un tubo de 3 mm de espesor, 42.5 mm de diámetro y 258 mm de longitud externa, este se ubica entre el eje primario y los cinco discos, lo que asegurará que estos estén perpendiculares al eje, con esto se evita posibles vibraciones que se pueda generar en la rotación. Los procesos realizados en este elemento se resumen a continuación:

Figura 174

Cursograma de la construcción del tubo porta eje primario



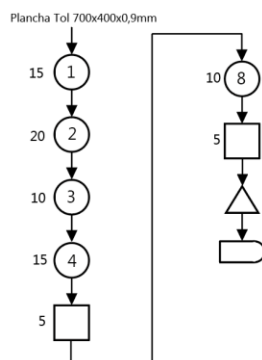
Nota. Se observa el cursograma de construcción del tubo del eje principal.

Construcción de la tapa protectora del sistema de transmisión

Por seguridad se realiza una tapa que cubre el sistema de transmisión a partir de una plancha de tol de 0.9 mm de espesor. El procedimiento para la construcción de esta pieza se puede observar en la siguiente figura:

Figura 175

Cursograma de la construcción de la protección del sistema de transmisión



Nota. Se observa el cursograma de construcción del sistema de transmisión.

Cursograma de montaje de las piezas y elementos

Para el ensamblaje y montaje de piezas se utiliza algunos elementos de sujeción como pernos, tuercas, arandelas de presión, bisagras. El resumen de operaciones de montaje realizadas se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 49

Códigos de las operaciones de montaje

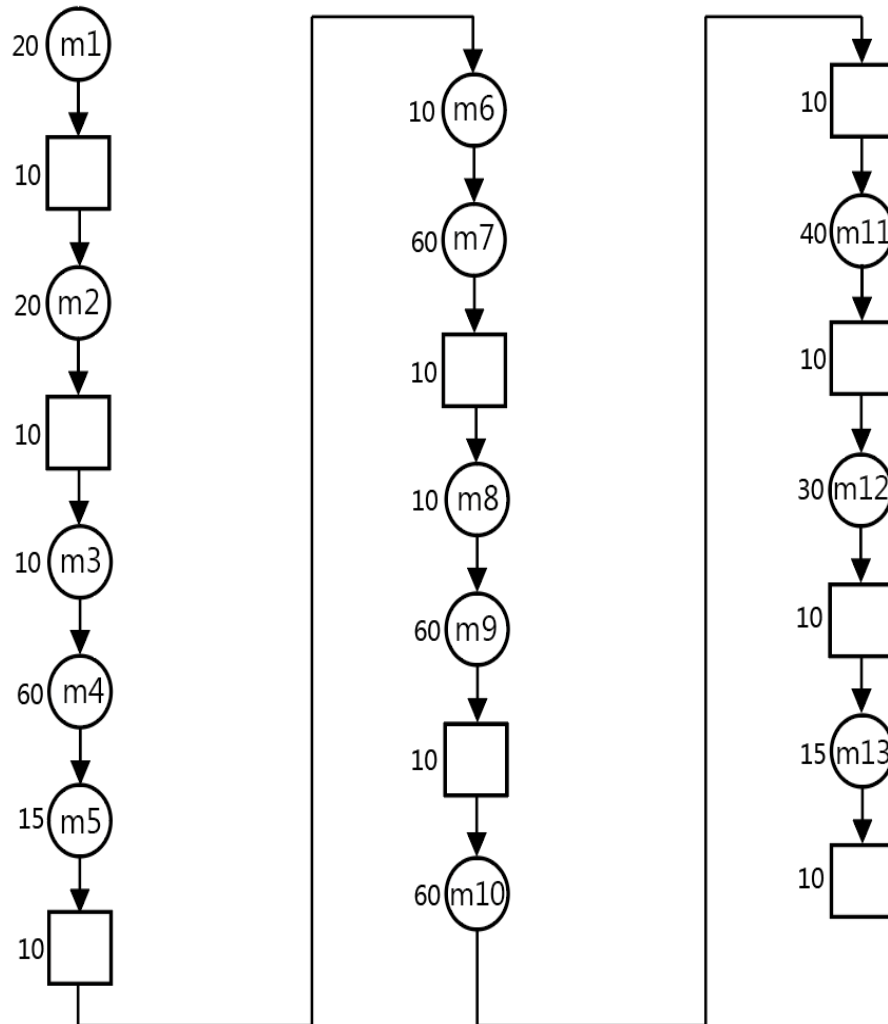
Operaciones de montaje	Código
Montaje de los martillos y separadores en los ejes secundarios y estos sobre los discos.	m1
Montaje de los discos en el tubo soporte y este sobre el eje principal	m2

Operaciones de montaje	Código
Montaje de la estructura soporte y base	m3
Montaje de la base de la cámara de molienda en la estructura soporte	m4
Montaje de la criba	m5
Montaje de las chumaceras en la base de la cámara	m6
Montaje del conjunto triturador en las chumaceras soporte	m7
Montaje del motor en la estructura soporte	m8
Montaje del sistema de transmisión	m9
Montaje de la tapa y cámara de molienda	m10
Montaje de la tolva de entrada	m11
Montaje de la tolva de salida	m12
Montaje del tablero de control	m13

Nota. En la tabla se observa los códigos de montaje de la máquina.

Figura 176

Cursograma de montaje del molino de martillos

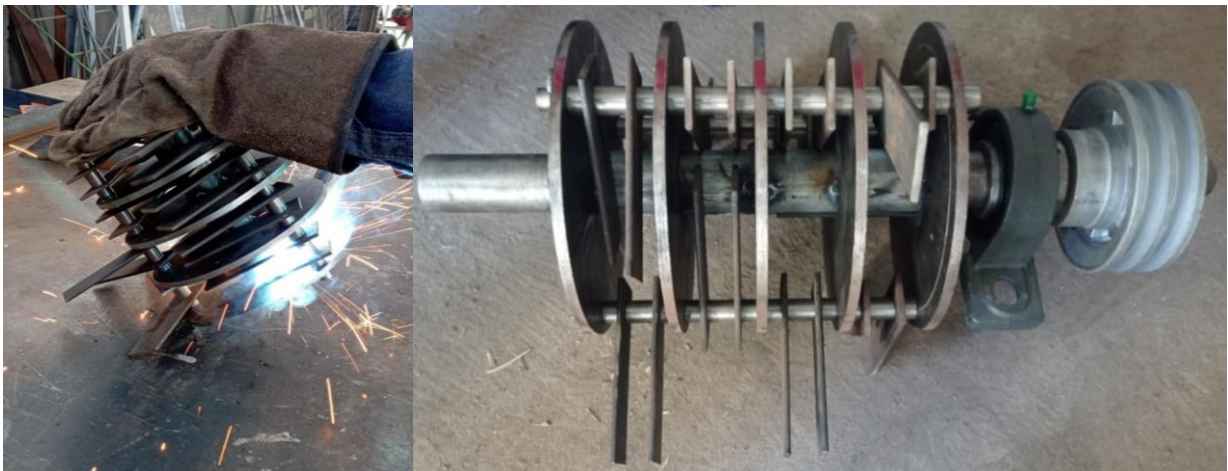


Nota. Se observa el cursograma de montaje de los martillos.

Las piezas del molino de martillos y procesos realizados representados en los cursogramas de construcción y de montaje anteriores se pueden apreciar en las siguientes figuras:

Figura 177*Cámara de molienda*

Nota. En la figura se observa la base y la tapa que conforman la cámara de molienda, las cuales abarcan el espacio totalmente cerrado en donde ocurrirá el proceso de molienda.

Figura 178*Construcción del conjunto triturador*

Nota. En la figura se observa el eje principal anclado a los ejes secundarios, discos, martillos y separadores, además de la chumacera de un lateral y la polea conducida.

Figura 179

Construcción y montaje de la tolva de entrada



Nota. En la figura se observa el montaje mediante pernos de la tolva de ingreso de material en la tapa de la cámara de molienda.

Figura 180

Construcción y montaje de la tolva de salida



Nota. En la figura se observa el montaje mediante pernos de la tolva de salida de material en la base de la cámara de molienda.

Figura 181

Montaje conjunto triturador en estructura



Nota. En la figura se observa el montaje del conjunto triturador sobre las chumaceras colocadas en la parte superior de la estructura.

Figura 182

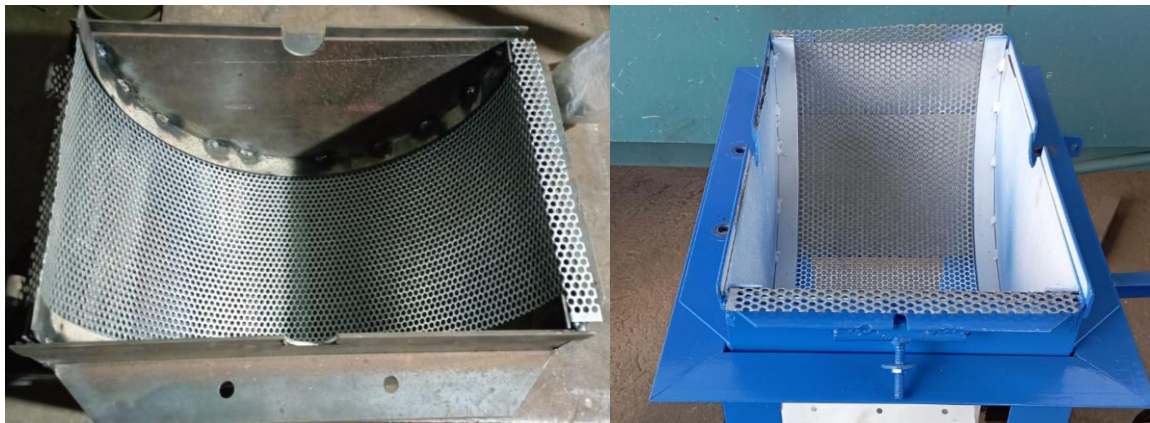
Construcción de la estructura base y de soporte



Nota. En la figura se observa la construcción de la estructura base conjuntamente con la estructura de soporte, las cuales se unirán con pernos posteriormente.

Figura 183

Construcción del sistema de cribado



Nota. En la figura se observa las canales ubicadas en la cámara de molienda, los cuales servirán de guía para poder introducir las cribas de cernido de material.

Figura 184

Montaje motor, poleas, correas



Nota. En la figura se observa el montaje del sistema de transmisión y templado de las correas de transmisión para un movimiento óptimo.

Se puede apreciar más figuras de la construcción del molino en el Anexo E.

Figura 185

Implementación eléctrica del molino de martillos



Nota. En la figura se observa el circuito realizado en el gabinete de control para dar marcha al motor del molino de martillos.

Figura 186

Molino de martillos finalizado



Nota. En la figura se observa la máquina de molienda totalmente terminada y funcional.

Capítulo IV

Resultados de la investigación

Validación del molino de alfalfa deshidratada

Una vez completados todos los procesos necesarios para finalizar la construcción de la máquina, se lleva a cabo una validación exhaustiva de cada subproceso, tanto en la parte eléctrica como en la mecánica, para asegurarse de que cumple con las expectativas de los miembros de la comunidad y las especificaciones técnicas establecidas por los diseñadores.

Las características más importantes a tener en cuenta durante esta verificación son las siguientes: garantizar que el tamaño de grano obtenido después de la molienda sea el esperado, que las tolvas de entrada y salida puedan transportar el material sin problemas, que no existan vibraciones excesivas en la estructura en general y que el arranque del motor desde el circuito de control funcione de manera óptima desde el punto de vista mecánico.

El personal encargado de llevar a cabo esta verificación y validación incluye a:

- Fundación “AYLLU APU FAA”
- Comunidad “Unión y Trabajo”
- Ángel Mosquera
- Alexis Ruales

El procedimiento para corroborar el funcionamiento del molino de martillos se realizó de la siguiente manera:

El proceso de encendido de la máquina trituradora se realiza desde el tablero de control eléctrico. Es importante verificar si el conjunto motor-sistema de transmisión y el conjunto triturador realizan un arranque mecánico adecuado. Una vez que el eje comienza a girar debido a la fuerza centrífuga, los martillos deben estar colocados de forma perpendicular y sin generar ningún ruido anormal.

A continuación, se introduce la alfalfa deshidratada o maíz seco a través de la tolva de entrada, y se verifica que se desplace de manera adecuada y llegue a la cámara de molienda sin problemas. La trituración de la muestra introducida debe completarse en poco tiempo. Luego, se verifica que la criba permita el paso del material triturado con el tamaño de grano adecuado.

Finalmente, se verifica que la inclinación de la tolva de salida sea la correcta para que el troceado de alfalfa se desplace de manera eficiente hacia los depósitos correspondientes. A continuación, se presentan algunas figuras que ilustran el correcto funcionamiento mencionado para mayor claridad.

Figura 187

Molienda de alfalfa deshidratada



Nota. Se observa la molienda de alfalfa deshidratada.

Figura 188

Troceado de alfalfa obtenida del proceso de molienda



Nota. Se observa el resultado la molienda de alfalfa deshidratada.

Figura 189

Molienda de grano (morochillo)



Nota. Se observa la molienda de morochillo.

Figura 190*Molienda de grano (maíz)*

Nota. Se observa la molienda de maíz.

Se realiza una evaluación exhaustiva del molino de martillos para obtener su aprobación final, verificando los parámetros definidos en la tabla 50. Este proceso se lleva a cabo bajo la supervisión de los dirigentes de la comunidad "Unión y Trabajo" y la fundación "AYLLU APU FAA". La prueba de la máquina se realiza en colaboración con estas entidades, donde se pueden observar tanto el funcionamiento como los resultados obtenidos durante la prueba de molienda de los diferentes materiales.

Tabla 50*Aprobación de los parámetros en el protocolo de pruebas*

Parámetros	Aprobación
Alimentación (Encendido/Apagado)	Cumple
Ingreso del material por la tolva de entrada	Cumple
Capacidad de molienda	Cumple

Parámetros	Aprobación
Obtención de tamaño de grano adecuado del material	Cumple
Desplazamiento de material por la tolva de salida	Cumple
Sistema sin excesivas vibraciones	Cumple
Correcto funcionamiento eléctrico	Cumple
Correcto funcionamiento mecánico	Cumple

Nota. Todos los parámetros mencionados en esta tabla fueron comprobados por todos los involucrados referentes al proyecto.

Protocolo de pruebas

Esta sección tiene como objetivo identificar el funcionamiento óptimo del molino de alfalfa deshidratada, con el fin de detectar posibles deficiencias o aspectos que podrían haberse pasado por alto. De esta manera, se podrán corregir, en caso de ser necesario, y garantizar que el molino cumpla con los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 51

Parámetros protocolo de pruebas

Elemento / Función	Destreza
Molienda y obtención de alfalfa troceada y maíz	Si el sistema de percusión de los martillos proporciona la cantidad de golpes necesaria para lograr la desintegración esperada de la alfalfa deshidratada, entonces estaría funcionando correctamente. Sin embargo, si el sistema no genera la cantidad adecuada de golpes, lo

Elemento / Función	Destreza
	<p>cual resulta en una demora en el proceso de molienda, esto no sería adecuado.</p>
Capacidad de tolva de entrada	<p>Si la tolva de alimentación permite que la cantidad requerida de material se deslice con facilidad hacia la cámara de molienda, entonces se consideraría que está funcionando correctamente. Sin embargo, si el orificio de entrada de la tolva es demasiado pequeño, podría haber complicaciones en la alimentación de la alfalfa, lo cual sería problemático.</p>
Cribado	<p>Si el diámetro de las perforaciones en la criba es el adecuado para obtener un grano de tamaño medio, sería óptimo para la alimentación de los animales.</p>
Capacidad tolva de salida	<p>La tolva de salida debe tener la inclinación y dimensiones adecuadas para permitir que el troceado de alfalfa o maíz se deslice de manera uniforme a medida que se lleva a cabo el proceso de molienda. Sin embargo, si el tamaño e inclinación no son los adecuados, es posible que el material se desparrame por los bordes debido a que no se desliza correctamente.</p>
Peso y transporte	<p>El peso del molino total debe estar alrededor de los 120 kg para facilitar su movilidad y transporte. En caso contrario, si el peso es mayor, su movilización se volverá difícil y el molino deberá mantenerse fijo en un solo lugar.</p>

Elemento / Función	Destreza
Sistema eléctrico	Si el motor está protegido del polvo que genera la actividad de molienda por medio de carcasas, caso contrario podría haber sobrecalentamientos y podría disminuir su rendimiento con este tipo de particular en su interior.
Sistema de transmisión	El templado de las correas debe estar correcta y las poleas bien seguras para la transmisión de potencia sea adecuado, caso contrario habrá calentamiento en las correas y tenderá a desgastarse en menos tiempo.

Nota. En la tabla se observa los parámetros de prueba.

Para la aprobación y ejecución de este proyecto, se elaboró un Acta de Auspicio (Anexo R), dirigida a la Fundación “AYLLU APU FAA”. Esta acta indica el acceso y permiso otorgado por la institución para llevar a cabo el proyecto.

Análisis de costos

Es necesario realizar un análisis de los gastos realizados, esto ayuda a identificar el valor total de la inversión con el presupuesto establecido inicialmente. En este análisis se consideran los materiales y elementos utilizados en la construcción, así como el costo del alquiler de las herramientas e indumentaria necesarias para procesar algunos de los materiales.

Costos materiales y componentes mecánicos

Los costos de materiales engloban todos los materiales y componentes utilizados en la construcción del molino. Estos costos se dividen en dos categorías: materiales mecánicos, que se detallan en la tabla 52, y materiales eléctricos, que se especifican en la tabla 53.

Tabla 52*Costos de materiales y componentes mecánicos (CMM)*

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
1	Eje Ø 1½ pulgada y 500mm de longitud AISI 1020 laminado en caliente.	\$18	\$18
3	Eje Ø ½ pulgada y 230 mm de longitud AISI1020 laminado en caliente.	\$5	\$15
5	Planchas cuadradas de 25cm x 6 mm, ASTM A36.	\$8	\$40
1	Platina 38 mm de ancho y 4 mm de espesor. ASTM A36.	\$12	\$12
3	Ángulo de 50 cm x 3 mm de espesor.	\$20	\$60
1	Plancha de 2m x 1.5m x 3 mm, ASTM A36.	\$40	\$40
2	Chumacera de piso Ø 1-1/2 in. (KMK UCP208-14.)	\$12	\$24
2	Poleas de aluminio doble canal, conductora de 4 in y conducida de 5 in diámetro.	\$6	\$12
2	Bandas tipo V A-48 (DONGIL)	\$4	\$8
1	Platina 1 in x 3 mm, ASTM A36.	\$8	\$8
1	Ángulo de 1 in x 3mm.	\$8	\$8
1	Plancha de tol galvanizado de 0.9mm.	\$25	\$25

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
1	1 metro de tubo Ø 5/8 in	\$3.75	\$3.75
1	Tubo de 50 cm de longitud Ø 40mm.	\$3	\$3
1	Varilla cuadrada 3/8 de 1 m de longitud.	\$2.50	\$2.50
1	Plancha de tol perforada Ø 4mm, 650mm x 260mm x 2mm.	\$10	\$10
29	Pernos varias medidas	\$5	\$5
4	Pernos prisioneros diferentes medidas	\$0.50	\$2
3	Bisagra diferentes medidas	\$6	\$6
4	Pintura 946 cm ³	\$6.25	\$25
1	Litro Thinner	\$2	\$2
		Total	\$323

Nota. En la tabla se observa los costos de materiales.

Tabla 53

Costos de materiales y componentes eléctricos (CME)

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
1	Motor eléctrico WEG Monofásico 110v-220v, 3HP	\$250	\$250
1	Tablero eléctrico, con medidas de 20cm x 30cm x15cm	\$30	\$30

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
1	Contactador Chint RieIDIN NXC 25 A, tripolar 220V	\$18	\$18
1	Relé térmico Chint 12-18 A / 220V	\$20	\$20
	Interruptor termomagnético Chint RieIDIN C-32 A / 220V	\$10	\$10
2	Pulsadores de plástico verde y rojo.	\$2.50	\$5
3	Luces piloto verde, rojo y amarillo.	\$2.50	\$7.50
1	Paro de emergencia.	\$4	\$4
5	1m Cable, THW calibre #12 AWG	\$2.40	\$12
1	Rieles, borneras, remaches para cables, canaletas	\$9	\$9
1	Enchufe 250v.	\$2.50	\$2.50
		Total	\$368

Nota. En la tabla se observa los costos de materiales eléctricos.

Costos de maquinaria y herramientas

Los costos de maquinaria comprenden todas las máquinas y herramientas utilizadas en los procesos de fabricación y mecanizado de los diferentes elementos mecánicos. Estos costos se encuentran detallados en la tabla 54, además en la tabla 55 se identifica los costos de algunas herramientas auxiliares que se necesitó adquirir para la fabricación. En estas tablas mencionadas se puede apreciar el desglose de los gastos asociados a la adquisición y utilización de dicha maquinaria.

Las máquinas que se encuentran con el valor de alquiler en Kwh fueron facilitadas por el taller de mecánica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L o son elementos propios.

Tabla 54

Costo de utilización de las maquinas (CM)

Descripción de la máquina	Tiempo (horas)	Alquiler (\$/hora)	Costo total
M1	18	Costo \$/kwh	\$1.92
M2	5	\$5	\$25
M3	0.75	\$3	\$2.25
M4	4	Costo \$/kwh	\$0.57
M5	8	Costo \$/kwh	\$1.93
M6	1.5	\$10	\$15
Total			\$46.67

Nota. En la tabla se observa los costos de uso de maquinaria.

Tabla 55

Costo de herramientas (CE)

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
9	Discos de corte NORTON BDA 08	\$2.51	\$11.51

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
4	Discos de corte NORTON BNA 12	\$1.70	\$6.80
1	Disco Zirconio laminado truper 4 ½ G 40.	\$4.04	\$4.04
1	Disco desbaste super BDA 640	\$1.95	\$1.95
1	Escuadra magnética para soldar	\$5.34	\$5.34
1	Broca de ½ in	\$11	\$11
	Broca de centros	\$4	\$4
1	cuchillas HSS de 3/8x4in y 3/16x2½in	\$8.50	\$8.50
		Total	\$53.14

Nota. En la tabla se observa los costos de herramientas.

Para concluir, se realiza la sumatoria de todos los gastos totales realizados, donde se destaca la inversión neta total necesaria para la construcción de la máquina.

$$COSTO FINAL = CMM + CME + CM + CE$$

$$COSTO FINAL = \$323 + \$368 + \$46.67 + \$53.14$$

$$COSTO FINAL = \$790.81$$

Como se puede apreciar, los gastos netos para la implementación del molino de alfalfa deshidratada fueron de \$790.81, lo cual representa un aspecto favorable, dado que la expectativa presupuestaria inicial se situaba alrededor de los \$1000, esto termina como un aspecto positivo al terminar el proyecto dentro del capital disponible sin inconvenientes.

Manual del molino de alfalfa deshidratada

Se ha elaborado un manual breve y de fácil comprensión dirigido a la comunidad. Este manual incluye información sobre las características, mantenimiento adecuado, limpieza recomendada del molino de martillos y el correcto funcionamiento del tablero de control. Para revisar el contenido detallado del manual, se puede encontrar en el Anexo T.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se llevó a cabo el diseño e implementación de una máquina moledora de alfalfa deshidratada, considerando las necesidades del usuario, la cual permite realizar molienda de alfalfa deshidratada y granos de maíz, proporcionando una alternativa para la conservación de nutrientes, almacenamiento, y disponibilidad de alimento procesado para sus animales, fomentando el desarrollo del área agropecuaria en la comunidad.
- Se determinó que la mejor opción para la aplicación de trituración corresponde a la de martillos oscilantes, por su versatilidad, alta capacidad de molienda y grandes cámaras, considerando que puede triturar materiales como la alfalfa que es voluminosa y fibrosa y el maíz que es más compacto, además este sistema es de facilidad limpieza y costos de mantenimiento bajos.
- El área de terreno disponible para el cultivo de alfalfa y maíz en la comunidad, es una oportunidad para el proceso de molienda, integrando así una forma de transformar estos alimentos con una mejoría en el incremento de nivel nutricional de estos productos para los animales de granja pertenecientes a esta comunidad.
- Se aplicó una metodología de diseño que se enfocó en identificar los requerimientos a través de encuestas, encontrando enfoques ingenieriles principales como: capacidad del motor eléctrico, piezas desmontables y sistema de operación sencillo. Se utilizó la matriz de la Casa de la Calidad para comparar características diseño de máquina de molienda de otros fabricantes, encontrando buena ponderación del diseño propuesto.
- Se empleó software CAD para representar las dimensiones obtenidas durante la etapa de diseño y dimensionamiento. Esto permitió una visualización clara del resultado final

de cada componente y del ensamblaje completo de la máquina. Mediante esta herramienta, se verificó la unión de las juntas de todos los elementos.

- Se utilizó software CAE, el cual resultó fundamental para simular el comportamiento de los elementos más críticos del conjunto triturador y de la estructura frente a las fuerzas en condiciones de carga calculadas durante el diseño, obteniendo tensiones de Von Mises por debajo del límite elástico, obteniendo factores de seguridad adecuados, garantizando así que no aparezcan desplazamientos significativos en los componentes. Se realizó ensayo de vibración de la máquina identificando que la parte estructural no caiga en resonancia con la vibración de la molienda, evitando ruidos, fallas estructurales o inestabilidad.
- La implementación de la máquina se realizó utilizando la maquinaria y herramientas más adecuadas para que cada elemento cumpla con su objetivo, se tomó importancia en la parte económica, utilizando materiales que brindan seguridad y robustez a la máquina pero que al mismo tiempo sean livianos para la movilidad o desplazamiento de la misma.
- La máquina fue sometida a pruebas finales de validación que se llevaron a cabo en dos etapas. En primer lugar, se realizaron pruebas en vacío para verificar la rotación del conjunto triturador, confirmando que no generara vibraciones significativas ni ruidos extraños. Posteriormente, se introdujo el material a triturar a través de la tolva de alimentación para evaluar tanto la eficiencia de la molienda, además de realizar el intercambio de cribas para comprobar la diferencia del tamaño de grano obtenido.

Recomendaciones

- Para lograr un troceado de alfalfa de alta calidad, previamente es fundamental comprender el proceso de secado y deshidratación de la alfalfa. Si este proceso se realiza adecuadamente, los niveles de conservación de nutrientes serán óptimos, lo que se traducirá en un troceado de alfalfa de excelente calidad y que se puede conservar durante periodos largos de tiempo. Esta es una ventaja especialmente valiosa en periodos de sequías y baja producción de alimentos.
- Se recomienda revisar el manual realizado, donde se detallan las instrucciones de limpieza, el funcionamiento del tablero de control y las partes de la máquina. Además, se proporciona información sobre el mantenimiento necesario, especialmente en los elementos que pueden sufrir desgaste con el paso de los años y que requerirán ser reemplazados.

Bibliografía

- ABB. (2022). *Paros de emergencia*. Obtenido de <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/dispositivos-de-seguridad/paros-de-emergencia-y-pulsadores>
- Aceropedia. (2021). *Características y usos de los pernos*. Obtenido de <https://aceropedia.com/materiales/pernos/>
- Aceros S.A. (2023).
- ACOSEMILLAS. (2 de noviembre de 2021). *Cultivo de maíz amarillo tecnificado aumentó las áreas sembradas*. Obtenido de <https://acosemillas.org/cultivo-de-maiz-amarillo-tecnificado-aumento-las-areas-sembradas/>
- AEFA. (2018). *Alfalfa deshidratada*. Obtenido de <https://www.alfalfaspain.es/pacas-de-alfalfa-deshidratada/>
- Agritotal. (2013). *Heno de alfalfa, el nuevo proveedor de fibra*.
- Agrofy. (2023). *Martillos para molino de alimento balanceado*. Obtenido de <https://www.agrofy.com.ar/martillos-para-molino-de-alimento-balanceado.html>
- Agronews Castilla y León. (23 de octubre de 2016). *Ventajas de la alfalfa deshidratada sobre la alfalfa en rama*. Obtenido de Agropal: <https://www.agronewscastillayleon.com/ventajas-de-la-alfalfa-deshidratada-sobre-la-alfalfa-en-rama-agropal>
- Agrositio. (22 de agosto de 2018). *La selección genómica acelera el mejoramiento de los cultivos*. Obtenido de <https://www.agrositio.com.ar/noticia/198139-la-seleccion-genomica-acelera-el-mejoramiento-de-los-cultivos.html>
- AreaTecnologia. (2020). *Guardamotor*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/guardamotor.html>
- Arturo, R. (2022). *Tipos de Cribas* . Obtenido de <https://es.scribd.com/document/19887792/CRIBAS-2>

- Bermeo, D. C. (2014). *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8299/T-ESPEL-EMI-0254.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blanco, E. A. (2023). *Grados de molienda*. Obtenido de Unican: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/8._molienda.pdf
- Campo Galego. (16 de septiembre de 2022). *El precio de la alfalfa sube un 60% con respecto a hace un año*. Obtenido de <https://www.campogalego.es/el-precio-de-la-alfalfa-sube-un-60-con-respecto-hace-un-ano/>
- Canals, R. M., Peralta, J., & Zubiri, E. (9 de septiembre de 2019). *Flora pratense y forrajera cultivada de la Península Ibérica*. Obtenido de Herbario: https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/creditos_p.htm
- Capell JR. (2020). *Poleas de transmisión Catálogo Online*. Obtenido de Sadi transmisiones: <https://saditransmisiones.com/poleas-de-transmision/#:~:text=Las%20poleas%20de%20transmisi%C3%B3n%20son,capacidad%20de%20transmitir%20energ%C3%ADa%20a>
- Chicaiza Songor, O. V. (2015). *Diseño y simulación de una máquina trituradora para el reciclaje de botellas de vidrio*. Obtenido de Universidad Nacional de Loja: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11810/1/Chicaiza%20Songor%2C%20Oscar%20Vladimir.pdf>
- CHINT. (2023). *Pulsadores metálicos*. Obtenido de <https://chint.cl/pulsadores-metalicos-22mm/661-pulsador-metalico-verde-1na-ip40-chint.html>
- Chuncho Juca, L., Uriguen Aguirre, P., & Apolo Vivanco, N. (25 de Mayo de 2021). *Ecuador: análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018*. Obtenido de Revista CTU:

- <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/547/502#:~:text=A%20lo%20largo%20de%20los,el%20fin%20de%20buscar%20nuevas>
- Comindus Ltda. (2020). *Planchas de acero*. Obtenido de <https://comindustda.cl/planchas-de-acero-2/>
- Cribas. (2022). *Placa perforada*. Obtenido de https://www.cribas.mx/placa_perforada.php
- Dinamica. (2019). *Correas y Poleas*. Obtenido de <https://www.dinamica.net/correas-y-poleas-poly-v/>
- Dunlop S.A. (2015). *Correas de transmisión industrial*. Obtenido de https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut121/Correas_Dunlop.pdf
- Eimpsa. (2020). *Interruptores termomagnéticos*. Obtenido de <https://www.eimpsa.com/web/cat/automatizacion-y-control-industrial/schneider/page/2/>
- El sitio Avícola. (30 de diciembre de 2016). Obtenido de Granulometría: <https://www.elsitioavicola.com/articles/2967/granulometraa-importancia-del-tamaao-de-las-particulas-de-alimento-en-las-ponedoras-2/>
- ElectroControl. (2020). *Elementos de señalización*. Obtenido de <https://electrocontrol-neumatico-industrial-sa-de-cv.negocio.site/>
- Endesa. (2022). *Instalación eléctrica, sistema de protección y averías*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/instalacion-electrica-domestica>
- FAO. (2023). Obtenido de <https://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm>
- Flores. (2017). *Origen de la alfalfa*. Obtenido de <https://www.flores.ninja/alfalfa/>
- Forga. (2014). *Alfalfa y forrajes granulados*. Obtenido de Productos deshidratados pellets: <http://forga.es/productos/pellets/>
- Franco, C. (2021). *¿Qué es un remache? Tipos y usos importantes*. Obtenido de Aceropedia: <https://aceropedia.com/materiales/remache/>

- Franco, C. (2021). *¿Qué son los pernos? Características y usos*. Obtenido de Aceropedia:
<https://aceropedia.com/materiales/pernos/>
- Franco, C. (2021). *¿Qué son los pernos? Características y usos*. Obtenido de Aceropedia:
<https://aceropedia.com/materiales/pernos/>
- Franquesa, M. (2016). *¿Cómo es el cultivo de maíz?* Obtenido de Agroptima:
<https://www.agroptima.com/es/blog/cultivo-del-maiz/>
- Globalpiyasa. (2009). *Sémola de maíz y harina de maíz*. Obtenido de
<https://www.globalpiyasa.com/es/product-detail/corn-grits-and-corn-flour-cmp/238458>
- Gómez Villoldo, A. (4 de abril de 2023). *QFD La casa de la calidad: herramienta de planificación del diseño*. Obtenido de <http://asesordecalidad.blogspot.com/2017/03/qfd-la-casa-de-la-calidad-herramienta.html>
- Google Maps. (2023).
- Grupo Medifer. (2022). *Alfalfa: Beneficios y Cultivo*. Obtenido de Cofepasa:
<https://cofepasa.com/alfalfa-beneficios-y-cultivo/>
- IAOM. (2012). *El cernido*. Obtenido de Vision Molinera: <https://docplayer.es/23770526-l-a-o-m.html>
- INEC. (2010). *Base de datos de población y vivienda*. Obtenido de
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- Instron. (2020). *Impacto Charpy*. Obtenido de <https://www.instron.com/es-es/resources/glossary/c/charpy>
- Interempresas. (30 de abril de 2021). *La alfalfa deshidratada supone una disminución de las pérdidas de valor nutritivo del forraje*. Obtenido de Ganadería:
<https://www.interempresas.net/Ganadero/Articulos/349860-alfalfa-deshidratada-supone-disminucion-de-perdidas-de-valor-nutritivo-del-forraje.html>

- IONOS. (13 de julio de 2020). *La casa de la calidad (House of quality) en el desarrollo de productos*. Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/house-of-quality/>
- Jimeno, J. (18 de octubre de 2012). *Despliegue de la función calidad (QFD)*. Obtenido de Pdcahome: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>
- LAVAL LAB. (2023). *Pulverizador de discos*. Obtenido de <https://lavallab.com/es/products/molinos/pulverizador-de-disco/>
- Lifeder. (2019). *Alfalfa: características, hábitad, reproducción, propiedades*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/alfalfa/>
- Mancera Rico, A. (enero de 2016). *Resistencia a ruptura y calidad fisiológica en semillas de maíz bajo comprensión axial*. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000100045
- Máquinas y herramientas. (2011). *Tipos y usos de remaches*. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-manuales/tipos-y-usos-de-remaches>
- Maquinova. (2020). *Mezcladoras y molinos*. Obtenido de <https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/>
- Metallurgist. (2021). *Molino de Martillos Industrial*. Obtenido de <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/molino-de-martillos/>
- MIES. (2014). *Publicaciones MIES*. Obtenido de Ministerio de Inclusión Económica y Social: <https://www.inclusion.gob.ec/publicaciones-mies/>
- Minsal Pérez, D., & Pérez Rodríguez, Y. (2007). *Organización funcional*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-

STICO%20PLAN%20DE%20DESARROLLO%20Y%20ORDENAMIENTOS%20TERRIT
ORIAL%20MULALILLO%20%202015_31-10-2015_21-07-51.pdf

Quintero, H. (26 de abril de 2021). *Tipos de chumaceras y aplicaciones*. Obtenido de
<https://www.quinterohurtado.com/post/tipos-de-chumaceras-y-aplicaciones>

Rabanillo, J. J. (17 de Febrero de 2022). *Fecha de siembra de alfalfa*. Obtenido de ESSEEDS:
<https://esseed.com/blog/fecha-siembra-alfalfa/>

Redosado, K. (2023). *Factores de seguridad recomendados*. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/221811931/Factores-de-Seguridad-Recomendados>

Ribero. (2022). *El heno de alfalfa*. Obtenido de Productor agrícola: <https://www.riberosat.es/el-heno-de-alfalfa/>

Rodaseros. (2020). *Motores monofásicos*. Obtenido de
<http://www.rodaseros.com/producto/motor-monofasico-3600-rpm-weg-1-hp/>

Romeva, C. R. (2002). *Diseño concurrente*. Obtenido de
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1", "author": \[{"family": "Rib](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1)

Salazar López, B. (11 de septiembre de 2019). *¿Qué es la ingeniería concurrente?* Obtenido de
Ingeniería Industrial: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/procesos-industriales/que-es-la-ingenieria-concurrente/>

Sanchez, S. (2023). *Teoría de fallas*. Obtenido de Slideshare:
<https://es.slideshare.net/michelsanchez9/teora-de-fallas>

Shigley. (2011). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Mc Graw Hill. Obtenido de Diseño en
Ingeniería mecánica.

SKF. (2023). *Conceptos básicos de rodamientos*. Obtenido de
<https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics>

Soldano, L. (2015). *Brotos de alfalfa*. Obtenido de Fiit:

<https://www.nutricionyentrenamiento.fit/alimento-fiit/450-brotos-de-alfalfa/>

Teminsa. (2023). *Tipos de Arandelas*. Obtenido de <https://www.teminsa.com/blog/117-tipos-de-arandelas>

Torres, C. (2023). *Teoría y criterios de fallas por Cargas estáticas*. Obtenido de Diseño mecánico: <https://docplayer.es/92766192-Diseno-mecanico-unidad-2-teorias-y-criterios-de-fallas-por-cargas-estaticas.html>

Transelec. (2023). *Diferencia entre guardamotor y relé térmico*. Obtenido de <https://www.transelec.com.ar/soporte/18434/que-es-un-guardamotor-y-su-diferencia-con-el-rele-termico/>

Vasquez, S. (16 de septiembre de 2018). *Relé térmico*. Obtenido de Modalidad electricidad: <http://sulesvasquez2002.blogspot.com/2018/09/rele-termico.html>

Villalon, J. (2022). *El maíz para las gallinas*. Obtenido de Gallina Castellana Negra: <https://www.tri-tro.com/alimentacion-de-las-gallinas/el-maiz-para-las-gallinas/>

Weg. (2022). *Comando y señalización - Selectores*. Obtenido de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Control-y-Protecci%C3%B3n/Baja-Tensi%C3%B3n/Mando-y-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n/Selectores/Comando-y-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n---Selectores/p/MKT_WDC_BRAZIL_CONTROL_AND_PILOT_LIGHTS_SELECTOR_SWI

Anexos