



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS  
PARA LA MOLIENDA DE GRANOS SECOS Y HOJAS PARA TÉ.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**LUIS MIGUEL LOACHAMIN PULUPA**

Riobamba-Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS  
PARA LA MOLIENDA DE GRANOS SECOS Y HOJAS PARA TÉ.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: LUIS MIGUEL LOACHAMIN PULUPA**

**DIRECTOR: ING. MIGUEL ANGEL ESCOBAR GUACHAMBALA**

Riobamba-Ecuador

2024

© 2024, Luis Miguel Loachamin Pulupa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Luis Miguel Loachamin Pulupa, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20-06-2024



**Luis Miguel Loachamin Pulupa**

**172752130-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
CARRERA MECÁNICA**

EL Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: EL trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA LA MOLIENDA DE GRANOS SECOS Y HOJAS DE TÉ**, realizado por el señor: **LUIS MIGUEL LOACHAMIN PULUPA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**



Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

2024-06-20



Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala  
**DIRECTOR DEL TRABJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2024-06-20



Ing. Javier Edmundo Albuja Jácome  
**ASESOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2024-06-20

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Dolores y Angel, ellos han sido el pilar fundamental a lo largo de estos años de carrera estudiantil apoyándome moralmente y económicamente, agradecerles a mis hermanos, primos, tíos quienes han compartido conmigo momentos alegres y momentos de tristeza siendo un apoyo fundamental en mi formación académica.

## **AGRADECIMIENTO**

Con mucha gratitud, agradezco primer lugar a Dios que fue luz en caminos oscuros a lo largo de mi formación académica, agradecerle a mi familia que han sido un apoyo en momentos difíciles dándome palabras alentadoras para culminar con éxito la carrera.

Agradecerle a la ESPOCH, donde me a brindado experiencias inolvidables, amigos que hemos compartido en estos años de carrera, finalmente agradecerles a mis profesores que fueron parte una formación académica y orientación para cumplir este logro.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN .....	¡Error! Marcador no definido.
SUMMARY .....	¡Error! Marcador no definido.i
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos .....	3

### CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Características de granos y hojas de té .....	5
2.1.1. <i>Materia prima</i> .....	5
2.1.2. <i>Tamaño de la partícula</i> .....	5
2.1.3. <i>Trituración y molienda</i> .....	5
2.1.4. <i>Porcentaje de humedad</i> .....	6
2.1.5. <i>Proceso de trituración</i> .....	7
2.2. Tipos de molinos y características importantes.....	8
2.2.1. <i>Competencias de molinos de martillos en el mercado nacional e internacional</i> .....	9
2.2.1.1. <i>Mercado nacional</i> .....	9
2.2.1.2. <i>Mercado internacional</i> .....	9
2.2.2. <i>Clasificación en base al diseño y funcionamiento</i> .....	11
2.3. Definición del molino de martillo .....	14
2.3.1. <i>Elementos del molino de martillos</i> .....	14
2.3.2. <i>Funcionamiento técnico del molino de martillos</i> .....	16

<b>2.4. Parámetros de diseño y ecuaciones de diseño mecánico</b> .....	17
2.4.1. <i>Capacidad de producción</i> .....	17
2.4.2. <i>Factor de seguridad</i> .....	17
2.4.3. <i>Potencia del motor</i> .....	17
2.4.4. <i>Diseño de martillos</i> .....	17
2.4.7. <i>Diseño de un eje a carga estática</i> .....	18
2.4.8. <i>Diseño de un eje a fatiga</i> .....	19
2.4.9. <i>Transmisión</i> .....	21
2.4.10. <i>Selección de rodamientos</i> .....	21
2.4.11. <i>Diseño de tolva</i> .....	21

### CAPITULO III

<b>3. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	23
3.1. <b>Metodología del diseño</b> .....	23
3.2. <b>Definición del producto</b> .....	23
3.2.1. <i>Requerimiento del cliente</i> .....	23
3.2.2. <i>Voz del usuario</i> .....	24
3.2.3. <i>Análisis de competencias</i> .....	25
3.2.4. <i>Desarrollo de la casa de calidad Matriz (QFD)</i> .....	26
3.2.5. <i>Conclusiones de la casa de calidad</i> .....	29
3.2.6. <i>Especificaciones técnicas</i> .....	29
3.3. <b>Diseño Conceptual</b> .....	30
3.3.1. <i>Análisis funcional</i> .....	30
3.3.2. <i>Definición de módulos</i> .....	32
3.3.3. <i>Matriz Morfológica</i> .....	34
3.3.4. <i>Alternativas</i> .....	37
3.3.5. <i>Matriz de criterios ponderados</i> .....	38
3.4. <b>Diseño de materialización</b> .....	40
3.4.1. <i>Diseño 3D aplicación de software CAD</i> .....	40
3.5. <b>Diseño de detalle</b> .....	41
3.5.1. <i>Diseño y selección de componentes mecánicos</i> .....	41
3.5.2. <i>Cálculo de la capacidad de molienda</i> .....	42
3.5.3. <i>Cálculo de la potencia del motor</i> .....	42
3.5.4. <i>Selección del motor eléctrico</i> .....	43

3.5.5. <i>Diseño de martillos</i> .....	43
3.5.6. <i>Cálculo del número de martillos</i> .....	54
3.5.7. <i>Selección de separadores de martillos</i> .....	55
3.5.8. <i>Diseño del perno porta-martillos</i> .....	55
3.5.9. <i>Cálculo de poleas y correas</i> .....	60
3.5.10. <i>Diseño del eje principal</i> .....	65
3.5.11. <i>Selección de chumaceras</i> .....	78
3.5.12. <i>Diseño del disco porta-martillos</i> .....	80
3.5.13. <i>Selección de separadores de disco porta-martillos</i> .....	82
3.5.14. <i>Diseño de la tuerca de sujeción</i> .....	83
3.5.15. <i>Dimensionamiento de cuñas</i> .....	84
3.5.16. <i>Diseño de la tolva de alimentación</i> .....	85
3.5.17. <i>Diseño estructural del bastidor</i> .....	86
<b>3.6. Construcción y ensamblaje del molino de martillos</b> .....	<b>95</b>
3.6.1. <i>Etapas de construcción del molino de martillos (Etapas tres)</i> .....	96
3.6.2. <i>Etapas de montaje del molino de martillos (Etapas cuatro)</i> .....	99
<b>3.7. Análisis de costos</b> .....	<b>104</b>
3.7.1. <i>Costos directos</i> .....	104
3.7.2. <i>Costos indirectos</i> .....	107
3.7.3. <i>Costos totales</i> .....	108

## CAPITULO IV

<b>4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>109</b>
4.1. <b>Resultados y validación CAE</b> .....	<b>109</b>
4.2. <b>Validación del diseño mediante software (CAE)</b> .....	<b>109</b>
4.2.1. <i>Eje de transmisión</i> .....	111
4.2.2. <i>Martillo triturador</i> .....	114
4.2.3. <i>Disco porta-martillos</i> .....	118
4.2.4. <i>Cámara de trituración</i> .....	121
4.2.5. <i>Etapas de pruebas de funcionamiento (Etapas quinta)</i> .....	124
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>129</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>131</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>132</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Clasificación del tipo de trituración .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Clasificación del tipo de trituración .....	6
<b>Tabla 2-3:</b> Porcentaje de humedad y temperatura de granos y hojas .....	6
<b>Tabla 2-4:</b> Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final .....	8
<b>Tabla 2-5:</b> Especificaciones técnicas molino nacional .....	9
<b>Tabla 2-6:</b> Especificaciones técnicas molino triturador TP-24 .....	10
<b>Tabla 2-7:</b> Especificaciones técnicas molino PERUMINOX MM4 .....	11
<b>Tabla 3-1:</b> Parámetros para el diseño conceptual .....	24
<b>Tabla 3-2:</b> Voz del ingeniero.....	24
<b>Tabla 3-3:</b> Cuadro comparativo de las competencias .....	25
<b>Tabla 3-4:</b> Matriz QFD .....	27
<b>Tabla 3-5:</b> Especificaciones de diseño .....	29
<b>Tabla 3-6:</b> Alternativas de solución modulo 1 .....	29
<b>Tabla 3-7:</b> Alternativas de solución modulo 2.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 3-8:</b> Alternativas de solución modulo 3.....	32
<b>Tabla 3-9:</b> Matriz morfológica .....	35
<b>Tabla 3-10:</b> Alternativas de solución.....	37
<b>Tabla 3-11:</b> Matriz de evaluación de criterios ponderados .....	38
<b>Tabla 3-12:</b> Evaluación del peso específico del criterio seguridad .....	38
<b>Tabla 3-13:</b> Evaluación del peso específico del criterio costo .....	39
<b>Tabla 3-14:</b> Evaluación del peso específico del criterio vida útil .....	39
<b>Tabla 3-15:</b> Evaluación del peso específico del criterio capacidad .....	39
<b>Tabla 3-16:</b> Evaluación del peso específico del criterio mantenibilidad.....	39
<b>Tabla 3-17:</b> Evaluación del peso específico del criterio operabilidad.....	40
<b>Tabla 3-18:</b> Matriz de prioridad de soluciones .....	40
<b>Tabla 3-19:</b> Capacidad de molienda .....	42
<b>Tabla 3-20:</b> Coeficiente de fluctuaciones .....	45
<b>Tabla 3-21:</b> Fuerza de aplastamiento.....	47
<b>Tabla 3-22:</b> Factores de seguridad de los martillos .....	54
<b>Tabla 3-23:</b> Parámetros para selección de bandas y poleas .....	60
<b>Tabla 3-24:</b> Reacciones de los apoyos del eje principal .....	62
<b>Tabla 3-25:</b> Propiedades del acero AISI 304.....	73
<b>Tabla 3-26:</b> Momentos máximos del eje principal .....	75

<b>Tabla 3-27:</b> Perfiles de análisis del bastidor .....	88
<b>Tabla 3-28:</b> Métricas de malla del bastidor .....	85
<b>Tabla 3-29:</b> Fuerzas actuantes en el bastidor .....	89
<b>Tabla 3-30:</b> Perfiles de análisis de la base del bastidor .....	92
<b>Tabla 3-31:</b> Métricas de mallado del soporte del bastidor .....	92
<b>Tabla 3-32:</b> Fuerzas actuantes en el molino de martillos.....	93
<b>Tabla 3-33:</b> Análisis de costos de materiales.....	105
<b>Tabla 3-34:</b> Análisis de costos de mano de obra .....	106
<b>Tabla 3-35:</b> Análisis de costos de equipos y herramientas .....	107
<b>Tabla 3-36:</b> Análisis de costos de movilización .....	107
<b>Tabla 3-37:</b> Análisis de costos directos totales.....	107
<b>Tabla 3-38:</b> Análisis de costos indirectos .....	107
<b>Tabla 3-39:</b> Costos totales del molino de martillos .....	108
<b>Tabla 4-1:</b> Métricas de mallado eje de transmisión .....	112
<b>Tabla 4-2:</b> Métricas de mallado del martillo triturador.....	115
<b>Tabla 4-3:</b> Métricas de mallado del disco porta-martillos .....	119
<b>Tabla 4-4:</b> Métricas de mallado de la cámara de trituración .....	122
<b>Tabla 4-5:</b> Evaluación de funcionamiento de la estructura y bastidor .....	125
<b>Tabla 4-6:</b> Evaluación de funcionamiento de la cámara de trituración .....	126
<b>Tabla 4-7:</b> Evaluación de funcionamiento del sistema de transmisión .....	127
<b>Tabla 4-8:</b> Evaluación de funcionamiento del molino de martillos .....	127

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Proceso de producción de hojas de té .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b> Procesos de trituración de granos secos.....	8
<b>Ilustración 2-3:</b> Molino de martillos Sirca .....	9
<b>Ilustración 2-4:</b> Molino triturador picador TP-24 .....	10
<b>Ilustración 2-5:</b> Molino PERUMINOX MM4-COM .....	11
<b>Ilustración 2-6:</b> Molino de bolas.....	12
<b>Ilustración 2-7:</b> Molino de martillos .....	12
<b>Ilustración 2-8:</b> Molino de discos .....	13
<b>Ilustración 2-9:</b> Molino de rodillos .....	14
<b>Ilustración 2-10:</b> Partes molino de martillos .....	14
<b>Ilustración 2-11:</b> Tipos de martillos.....	15
<b>Ilustración 2-12:</b> Criba del molino de martillos .....	16
<b>Ilustración 2-13:</b> Funcionamiento molino de martillos .....	16
<b>Ilustración 3-1:</b> Análisis funcional nivel 0.....	20
<b>Ilustración 3-2:</b> Análisis funcional nivel 1 .....	24
<b>Ilustración 3-3:</b> Análisis funcional nivel 2.....	28
<b>Ilustración 3-4:</b> Definición de módulos .....	33
<b>Ilustración 3-5:</b> Modelado CAD .....	41
<b>Ilustración 3-6:</b> Catálogo de motores WEG.....	43
<b>Ilustración 3-7:</b> Posiciones de trabajo cámara de trituración.....	44
<b>Ilustración 3-8:</b> Análisis estático fuerza de trituración.....	46
<b>Ilustración 3-9:</b> Radio de giro cámara de trituración.....	48
<b>Ilustración 3-10:</b> Fuerzas actuantes cámara de trituración .....	49
<b>Ilustración 3-11:</b> Dimensionamiento del martillo .....	51
<b>Ilustración 3-12:</b> Catálogo Dipac.....	52
<b>Ilustración 3-13:</b> Catálogo Dipac diámetro de ejes .....	55
<b>Ilustración 3-14:</b> Martillos trituradores.....	56
<b>Ilustración 3-15:</b> Diseño del perno porta-martillos .....	57
<b>Ilustración 3-16:</b> Diagrama de cortante y momento flector perno porta-martillos .....	58
<b>Ilustración 3-17:</b> Catálogo casa del perno.....	59
<b>Ilustración 3-18:</b> Factor de desarrollo .....	60
<b>Ilustración 3-19:</b> Secciones de bandas .....	61
<b>Ilustración 3-20:</b> Factor de ángulo de carga.....	63

<b>Ilustración 3-21:</b> Factor de desarrollo .....	63
<b>Ilustración 3-22:</b> Potencia máxima .....	64
<b>Ilustración 3-23:</b> Especificaciones software Optibelt.....	65
<b>Ilustración 3-24:</b> Componentes eje principal .....	66
<b>Ilustración 3-25:</b> Transmisión de potencia.....	66
<b>Ilustración 3-26:</b> Fuerzas de la polea .....	67
<b>Ilustración 3-27:</b> Coeficiente de fricción .....	68
<b>Ilustración 3-28:</b> Análisis de la fuerza cortante.....	69
<b>Ilustración 3-29:</b> Fuerza cortante en el eje principal .....	70
<b>Ilustración 3-30:</b> Diagrama de las fuerzas actuante plano x, y, z .....	70
<b>Ilustración 3-31:</b> Momento cortante y flector del eje principal, plano XY.....	71
<b>Ilustración 3-32:</b> Momento cortante y flector del eje principal, plano XZ .....	72
<b>Ilustración 3-33:</b> Dimensionamiento del eje principal .....	74
<b>Ilustración 3-34:</b> Calculo factor Ka .....	75
<b>Ilustración 3-35:</b> Calculo factor Kd .....	76
<b>Ilustración 3-36:</b> Calculo factor Kc .....	76
<b>Ilustración 3-37:</b> Calculo factor Kf.....	77
<b>Ilustración 3-38:</b> Calculo factor Kfs .....	77
<b>Ilustración 3-39:</b> Factor de choque (fw).....	79
<b>Ilustración 3-40:</b> Parámetros de selección de rodamientos .....	79
<b>Ilustración 3-41:</b> Fuerzas actuantes disco porta-martillos .....	81
<b>Ilustración 3-42:</b> Selección de plancha de acero inoxidable 304.....	82
<b>Ilustración 3-43:</b> Espaciadores disco porta-martillos .....	83
<b>Ilustración 3-44:</b> Selección de chavetas normalizadas .....	84
<b>Ilustración 3-45:</b> Dimensionamiento de la tolva reguladora .....	86
<b>Ilustración 3-46:</b> Diseño CAE del bastidor y Base del molino de martillos .....	87
<b>Ilustración 3-47:</b> Zonas de fuerzas aplicadas en el bastidor .....	87
<b>Ilustración 3-48:</b> Métricas de mallado bastidor.....	88
<b>Ilustración 3-49:</b> Condiciones de frontera bastidor .....	89
<b>Ilustración 3-50:</b> Esfuerzo equivalente de (von-Misses) bastidor .....	90
<b>Ilustración 3-51:</b> Deformación total del bastidor .....	90
<b>Ilustración 3-52:</b> Factor de seguridad del bastidor .....	90
<b>Ilustración 3-53:</b> Zonas de fuerzas aplicadas en la base bastidor .....	91
<b>Ilustración 3-54:</b> Métricas de mallado base bastidor.....	92
<b>Ilustración 3-55:</b> Condiciones de frontera base bastidor .....	93
<b>Ilustración 3-56:</b> Esfuerzo equivalente de (von-Misses) base bastidor .....	94
<b>Ilustración 3-57:</b> Deformación total base bastidor .....	94

<b>Ilustración 3-58:</b> Factor de seguridad base bastidor.....	95
<b>Ilustración 3-59:</b> Corte a laser acero inoxidable AISI 304.....	96
<b>Ilustración 3-60:</b> Corte amoladora en acero inoxidable AISI 304.....	96
<b>Ilustración 3-61:</b> Discos de grata multilijas 7".....	98
<b>Ilustración 3-62:</b> Torneado del eje principal.....	99
<b>Ilustración 3-63:</b> Montaje de la soldadura proceso GTAW.....	100
<b>Ilustración 3-64:</b> Soldadura con aporte proceso GTAW.....	100
<b>Ilustración 3-65:</b> Montaje de los discos porta-martillos.....	101
<b>Ilustración 3-66:</b> Montaje de la cámara de trituración en el bastidor.....	102
<b>Ilustración 3-67:</b> Montaje del sistema de transmisión.....	103
<b>Ilustración 3-68:</b> Ensamblaje total del molino de martillos.....	104
<b>Ilustración 4-1:</b> Framework ANSYS.....	110
<b>Ilustración 4-2:</b> Deformaciones admisibles.....	110
<b>Ilustración 4-3:</b> Evaluación de calidad de mallado.....	111
<b>Ilustración 4-4:</b> Métricas de mallado eje principal.....	112
<b>Ilustración 4-5:</b> Condiciones de frontera eje.....	113
<b>Ilustración 4-6:</b> Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del eje.....	113
<b>Ilustración 4-7:</b> Deformación total del eje.....	114
<b>Ilustración 4-8:</b> Análisis de fatiga del eje de transmisión.....	114
<b>Ilustración 4-9:</b> Geometría martillo triturador.....	115
<b>Ilustración 4-10:</b> Métricas de mallado martillo triturador.....	115
<b>Ilustración 4-11:</b> Condiciones de frontera martillo triturador.....	116
<b>Ilustración 4-12:</b> Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del eje.....	117
<b>Ilustración 4-13:</b> Deformación total del martillo triturador.....	117
<b>Ilustración 4-14:</b> Factor de seguridad martillo triturador.....	118
<b>Ilustración 4-15:</b> Geometría disco porta-martillos.....	118
<b>Ilustración 4-16:</b> Métricas de mallado disco porta-martillos.....	119
<b>Ilustración 4-17:</b> Condiciones de frontera disco porta-martillos.....	119
<b>Ilustración 4-18:</b> Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del eje.....	120
<b>Ilustración 4-19:</b> Deformación total del disco porta-martillos.....	120
<b>Ilustración 4-20:</b> Factor de seguridad disco porta-martillos.....	121
<b>Ilustración 4-21:</b> Geometría disco porta-martillos.....	121
<b>Ilustración 4-22:</b> Métricas de mallado cámara de trituración.....	122
<b>Ilustración 4-23:</b> Condiciones de frontera cámara de trituración.....	122
<b>Ilustración 4-24:</b> Esfuerzo equivalente de (Von-Misses) de la cámara de trituración.....	123
<b>Ilustración 4-25:</b> Factor de seguridad cámara de trituración a carga estática.....	124
<b>Ilustración 4-26:</b> Factor de seguridad cámara de trituración a carga dinámica.....	124

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

**ANEXO B:** ANÁLISIS DE COMPETENCIAS SIMILARES– CASA DE CALIDAD

**ANEXO C:** SELECCIÓN DEL MOTOR MONOFÁSICO WEG DE 5 Hp A 1750 RPM

**ANEXO D:** TRITURACIÓN DE GRANOS Y HOJAS SECAS MÉTODO EXPERIMENTAL

**ANEXO E:** PESO NETO DEL GRANO DE MAÍZ

**ANEXO F:** CALCULO DE ENERGÍA CINÉTICA MASA DE PRUEBA

**ANEXO G:** SELECCIÓN DE CHUMACERAS

**ANEXO H:** COTIZACIÓN DE MATERIALES

**ANEXO I:** MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MOLINO DE MARTILLOS

**ANEXO J:** CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO FINAL

**ANEXO K:** PLANOS

## RESUMEN

El estudio a la microempresa analizada, no cuenta con un plan de diseño y construcción de molinos de martillos por lo que realizaban diseños de forma empírica, donde se realizaba un inversión de capital muy alta en comparación con otras competencias obteniendo una utilidad mínima, el presente trabajo de integración curricular tuvo como objetivo diseñar y construir un molino de martillos para la molienda de granos secos y hojas de té, para optimizar recursos económicos y tener un alto porcentaje de eficiencia de funcionalidad. La metodología implementada fue realizar un análisis de competitividad con modelos existentes en el mercado para obtener los parámetros de diseño mediante el QFD, para la mejor alternativa de construcción y montaje se realizó un análisis mediante una matriz morfológica en base a los requerimientos de la microempresa seleccionada, obteniendo un molino de martillos de veinte y cuatro martillos y siete discos accionado por un motor eléctrico monofásico de 5Hp de potencia. Para el diseño a detalle de los componentes de la cámara de trituración se realizó en base a ecuaciones existentes en libros de diseño de elementos de máquinas, en la tolva, bastidor y base soporte se aplicó la ingeniería asistida por computadora CAE mediante el software ANSYS Workbench 2021 R2 para el diseño. Implementando elementos finitos se logró validar todos los componentes mecánicos garantizando factores de seguridad adecuados en las condiciones de trabajo de cada componente mecánico, se realizó la construcción y montaje del molino de martillos y se evaluado mediante una metodología de pruebas de funcionamiento de la molienda de granos secos y hojas de té. Concluyendo que el molino de martillos tubo reducción de costos y tiempos de fabricación *garantizado los parámetros de diseño y obteniendo un adecuado porcentaje de eficiencia.*

**Palabras clave:** <MOLIENDA> <GRANOS SECOS> <ELEMENTOS FINITOS>  
<PRODUCTOS DESHIDRATADOS> <MARTILLOS DE IMPACTO> <DIBUJO ASISTIDO  
POR COMPUTADOS (CAE)> <FUERZA CENTRÍFUGA >.

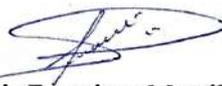
1134-DBRAI-UPT-2024

A handwritten signature in blue ink is written over a faint, rectangular stamp. The stamp contains the text 'INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZAR' and 'DEPARTAMENTO DE MECÁNICA'.

## ABSTRACT

The study of the analyzed microenterprise does not have a design and construction plan for hammer mills, so they made empirical designs, where a very high capital investment was made compared to other competitions, obtaining a minimum profit. The present curricular integration work had as its objective to design and build a hammer mill for grinding dry grains and tea leaves, to optimize economic resources and have a high percentage of efficiency of functionality. The methodology implemented was to perform a competitiveness analysis with existing models in the market to obtain the design parameters through the QFD, for the best construction and assembly alternative, an analysis was carried out using a morphological matrix based on the requirements of the selected microenterprise, obtaining a hammer mill with twenty-four hammers and seven discs driven by a 5Hp single-phase electric motor. For the detailed design of the grinding chamber components, it was carried out based on equations existing in machine element design books. In the hopper, frame and support base, computer-aided engineering (CAE) was applied using ANSYS Workbench 2021 R2 software for the design. By implementing finite elements, it was possible to validate all the mechanical components, guaranteeing adequate safety factors in the working conditions of each mechanical component. The hammer mill was built and assembled and evaluated using a performance testing methodology for grinding dry grains and tea leaves. It was concluded that the hammer mill reduced costs and manufacturing times, guaranteeing the design parameters and obtaining an adequate percentage of efficiency.

**Keywords:** <GRINDING> <DRY GRAINS> <FINITE ELEMENTS> <DEHYDRATED PRODUCTS> <IMPACT HAMMERS> <COMPUTER-ASSISTED DRAWING (CAE)> <CENTRIFUGAL FORCE>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

0603747809

## INTRODUCCIÓN

La molienda de granos secos y hojas de té han provocado un impacto en el mercado nacional teniendo una demanda de molinos de martillos de mayor capacidad y una eficiencia adecuada de funcionamiento, por lo cual el diseño y construcción de microempresas de forma empírica no es competitivo.

La fabricación de molinos es compleja y puede variar el diseño significativamente entre artesanos que lo realizan de forma empírica, sin embargo, existen procesos de doblado, corte mediante tecnologías existentes y procesos de soldadura que son obviados por muchos talleres mecánicos donde no garantiza un buen funcionamiento.

El presente trabajo de integración curricular, su objetivo es el diseño y construcción del molino de martillos teniendo una capacidad de 150 kg/h dependiendo el tamaño de molienda o trituración deseada, para una producción agroindustrial, mediante metodologías planteadas en el capítulo tres se plantea el mejor proceso de funcionamiento para el presente molino de martillos mediante aplicando la metodología de la selección de posible mejor alternativa de construcción y montaje, el dimensionamiento adecuado de cada elemento mecánico diseñado, seleccionando un material adecuado de fabricación acorde a las normativas del Ecuador para procesos alimenticios que en todo nuestro proyecto se lo realizo en acero inoxidable AISI 304.

El proceso de molienda y trituración es un proceso importante enfocándose en los componentes mecánicos que conforman la cámara de trituración por ende es importante realizar un diseño eficiente y óptimo de funcionamiento, para obtener resultados de productos de molienda y trituración homogénea, garantizando un producto competitivo en el mercado nacional e internacional en la producción de harinas y hojas de té de forma orgánica. La validación de cada componente mecánico mediante la aplicación de softwares de ingeniería mediante la aplicación del CAE es fundamental en el diseño, donde como futuros ingenieros se pueda tomar decisiones en componentes mecánicos donde sus parámetros no cumplan con las condiciones propuestas por bibliografías o libros de diseños mecánicos, validando el diseño que sea optimo y adecuado previo a su manufactura.

De tal forma que la finalidad de este trabajo de integración curricular es garantizar un alto porcentaje de eficiencia y optimizando recursos de fabricación y tiempos empleados en manufactura, dejando a un lado la elaboración artesanal o empírica de molinos industriales apoyando a microempresas para obtención de mayores ganancias y ser competitivos con industrias de mayor impacto en el sector agroindustrial.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Antecedentes**

En todas las partes del globo, ha resultado imperativo emplear molinos con el fin de atender las demandas alimenticias tanto de seres humanos como de animales. Ya sea tratándose de molinos artesanales o de instalaciones industriales, estas herramientas trituradoras han sido objeto de extensos análisis, investigaciones, simulaciones y otros procedimientos, todo con el propósito de perfeccionar el producto final (Instituto nacional de estadísticas y censos, 2022)

Para realizar estos estudios se requiere una suma importante de capital, lo que no es fácil de obtener para microempresarios, además, en el Ecuador, existen alrededor de 8820.000 empresas consideradas como micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), estas empresas generan cerca de 2 millones de plazas de empleo, siendo dichas plazas, aproximadamente el 60% del total de empleos existentes en el Ecuador, los presentes datos son recopilados de fuentes bibliográficas del INEC en el año 2019 (Instituto nacional de estadísticas y censos, 2022).

No obstante, se ha afectado en gran manera a las MIPYMES ya que para el año 2021 el INEC en una nueva evaluación estadística ha obtenido datos relevantes en los cuales se registran 849 831 empresas de la categoría mencionada, es decir, más de 30 000 MIPYMES en consecuencia de una crisis económica a considerado cancelar las actividades, en consecuencia, de la pandemia en el año 2020 (Instituto nacional de estadísticas y censos, 2022).

Sin embargo, en una evaluación estadística, para el año 2022 se ha visto un crecimiento en producción y ventas del 12.8% de las MIPYMES en relación al 2021 (Instituto nacional de estadísticas y censos, 2022).

Además, del total de estas empresas, las dedicadas a la manufactura corresponden aproximadamente al 17% del total, también se estima que menos del 1% de estas, presenta actividades de fabricación y/o mantenimiento de molinos, por lo cual resulta importante, para destacar en este grupo de empresas, el realizar estudios de mejora de productos y así aumentar la producción y disminuir costos (Instituto nacional de estadísticas y censos, 2022).

#### **1.2. Planteamiento del problema**

Los molinos a través de los años y el avance tecnológicos, estos han ido presentando innumerables modificaciones, desde molinos artesanales hasta molinos industriales capaces de triturar varias toneladas de producto en una hora.

Cada una de estas mejoras ha sido gracias al análisis del mercado, nuevos requerimientos, aumento en la producción, y muchos aspectos más, necesitando para esto una gran inversión por parte del fabricante. En tal virtud, la mayor parte de los microempresarios y artesanos no han podido desarrollar mejoras en sus productos, quedando estancados en un único modelo el cual con el paso del tiempo posiblemente se vea discontinuado al compararlo con la nueva tecnología en molinos.

La microempresa, en virtud de una innovación y calidad de los productos que son fabricados, y a fin de posicionarse de manera estratégica en el mercado se realizara un estudio a sus productos e iniciando con el DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA LA MOLIENDA DE GRANOS SECOS Y HOJAS PARA TÉ, con el propósito de mejorar sus diseños y revolucionar en el mercado nacional con el apoyo de herramientas de ingeniería, considerando el comienzo de futuros estudios de máquinas existentes en la microempresa.

### **1.3. Justificación**

#### ***1.3.1. Justificación técnica***

Para llevar a cabo este proyecto, se requiere emplear conocimientos aprendidos en los años de la carrera universitaria siendo los más destacados a emplear que son: diseño de elementos de máquinas, mecanismos, CAD CAM – dibujo técnico, electrotecnia, resistencia de materiales, además, como futuro ingeniero esta problemática será muy frecuente, por lo cual es importante afrontarlo y conocer mi capacidad resolutive ante estos problemas y brindar una solución técnica, rápida y económica.

#### ***1.3.2. Justificación económica***

El estudio y análisis de un molino de martillos una microempresa se busca de beneficiarse en el diseño y posterior construcción con la finalidad de optimizar tiempos de construcción, disminución de costos y posicionarse con mayor eficiencia en el mercado con la finalidad de aumentar sus ingresos económicos.

#### ***1.3.3. Justificación social***

Con el desarrollo de este proyecto, se beneficiará micro empresas y futuras empresas, con lo cual podrán optimizar sus recursos; además, al disminuir costos de producción podría aumentar sus ventas, lo cual generaría una mayor demanda de trabajadores generando de esta forma plazas de empleo.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar y construir un molino de martillos para la molienda de granos secos y hojas para té

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Determinar los requerimientos funcionales o parámetros de diseño requeridos.
- Diseñar y seleccionar los componentes del molino de martillos mediante la aplicación de catálogos, el diseño de elementos mecánicos y validándolo mediante el software SolidWorks.
- Evaluación de los componentes sometidos a cargas o esfuerzos mediante la utilización de softwares de ingeniería.
- Construir y ensamblar el molino de martillos con el apoyo de máquinas herramientas y posterior evaluar su funcionamiento.

- Analizar costos directos e indirectos de la fabricación del presente molino de martillos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Definiciones de los granos y hojas de té

##### 2.1.1. *Materia prima*

Nuestra materia prima empleada es la variedad de granos secos cultivados de manera orgánica para reducir el riesgo de enfermedades catastróficas en el ser humano como son: maíz, trigo, frejol, cebada, café, alverja, etc. Y teniendo una variedad de hojas deshidratadas de plantas consideradas de gran demanda en el mercado ecuatoriano, para la elaboración de té para el consumo humano como son: hierba luisa, cedrón, canela, manzanilla, hierba buena, guayusa, etc. (Salazar et al., 2023).

##### 2.1.2. *Dimensionamiento de la partícula*

El dimensionamiento de la partícula obtenida en el proceso de la trituración o molienda es fundamental para la selección del tipo de molino, las condiciones operativas y los métodos de desintegración de los sólidos. Es una práctica habitual llevar a cabo varias pruebas para la obtención del dimensionamiento adecuado de la partícula deseado para una aplicación particular o definida por el usuario (Salazar et al., 2023).

##### 2.1.3. *Trituración y molienda*

Al tener ambos conceptos con similitud en la reducción del tamaño de partículas, la principal diferencia entre la trituración y molienda es que la trituración tiene a producirse granos o hojas de mayor tamaño, mientras que la molienda se especializa en la obtención de partículas más refinadas en requerimiento del usuario.

###### 2.1.3.1. *Trituración*

En concordancia con investigaciones realizadas observándose en la tabla 2-1, existe una clasificación de tres categorías según el diámetro de la partícula triturada.

**Tabla 2-1:** Dimensionamiento del tipo de trituración

<b>Tipo de trituración</b>	<b>Tamaño de la partícula (mm)</b>
Trituración gruesa	15 o mas
Trituración media	3-15
Trituración fina	0.5-3

Fuente: (Salazar et al., 2023)

Realizado por: Loachamin L., 2023

###### 2.1.3.2. *Molienda*

En concordancia con investigaciones realizadas observándose en la tabla 2-2, existe una clasificación de dos categorías según el diámetro de la partícula molida.

**Tabla 2-2:** Clasificación del tipo de trituración

<b>Tipo de molienda</b>	<b>Tamaño de la partícula (mm)</b>
Molienda gruesa	0.1-0.3
Molienda fina	0.1

Fuente: (Salazar et al., 2023)

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### **2.1.4. Concentración en porcentajes de humedad de granos y hojas**

Los productos secos destinados a la molienda es el porcentaje de humedad. La medición de la humedad en granos y hojas secas es esencial por dos razones claves: la inocuidad y la calidad. La humedad puede tener impactos adversos durante diversas etapas, como almacenamiento, empaque, conservación y propiedades intrínsecas de los granos.

En la determinación precisa de la humedad en granos y hojas se relaciona con obtener una buena calidad de materia prima. En varias industrias alimenticias, el control de procesos depende de conocer este parámetro para garantizar la calidad del producto final. Como señala Tuitise (2012), para las industrias alimenticias, es importante considerar la cantidad de porcentaje de la humedad de su materia prima, ya que se busca una calidad óptima con el equilibrio adecuado entre materia seca y humedad. Un menor contenido de agua contribuye a reducir el desarrollo de microorganismos, siendo esencial para garantizar la conservación de alimentos.

**Tabla 2-3:** Porcentaje de humedad y temperatura de granos y hojas

<b>Alimento</b>	<b>Humedad residual alimento seco HS (%)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>
Granos	15	25
Hojas aromáticas	9-13	45

Fuente: (Salazar et al., 2023)

Realizado por: Loachamin L., 2023

Es esencial que el contenido de humedad residual en el producto que se introduce sea inferior al 15%. En la norma NTE INEN 616:2015 es considerado el respectivo porcentaje de humedad, En concordancia con Zambrano (2021a: pp.57-76) que establece este límite como la máxima cantidad permitida. Este parámetro se utiliza como guía crítica y corresponde a varias normas internacionales aplicables a las harinas de origen vegetal. Estos estándares especifican que el contenido de humedad en el momento del envasado debe ser menor al 15%. Esto se debe a que, durante el almacenamiento y la conservación, los productos harinosos tienden a aumentar gradualmente su humedad debido a su naturaleza higroscópica. Si este límite se excede, existe un mayor riesgo de establecimiento de parásitos y hongos en el producto, lo que puede resultar en una drástica reducción de su vida útil.

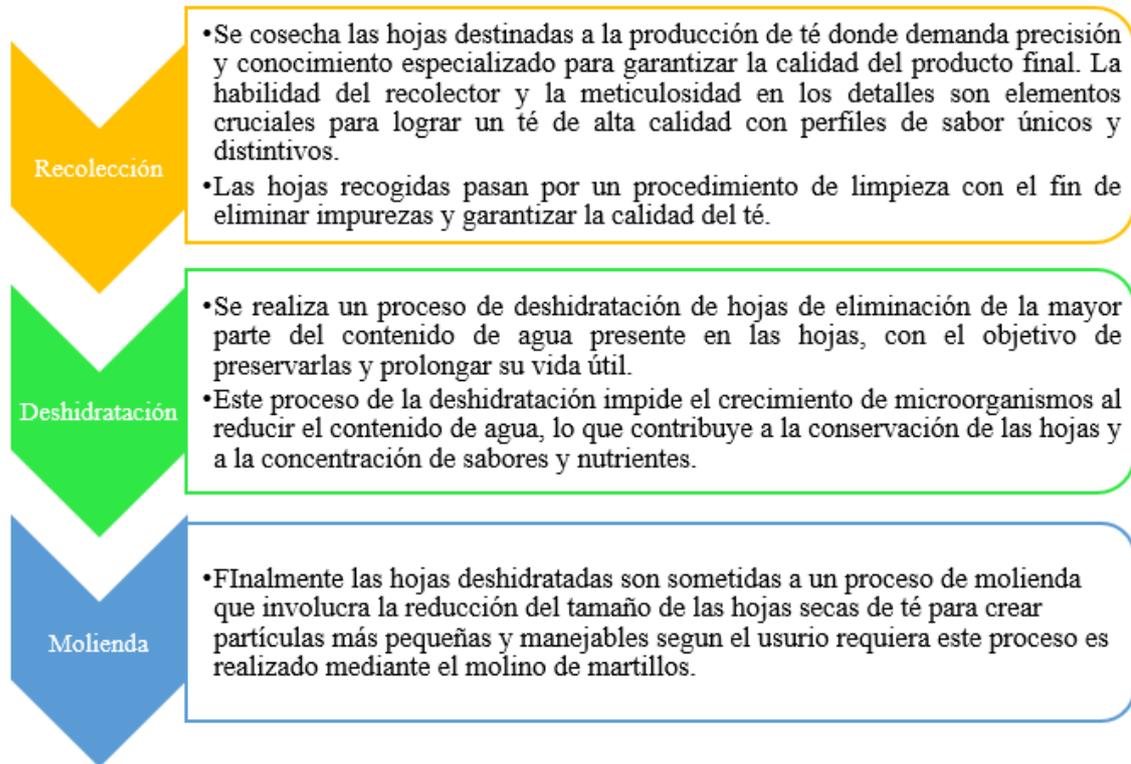
Para realizar una medición precisa de este parámetro de acuerdo con la ISO 712:2013 (2013: p.15) se procederá con un protocolo establecido en la norma NTE INEN-ISO 712:2013. La norma detalla un protocolo de referencia en el procedimiento de determinar la cantidad de porcentaje de

humedad de las harinas de origen vegetal. En la tabla 2-3 se describe datos referenciales de porcentaje de humedad en base a normas ecuatorianas INEN.

### 2.1.5. *Proceso de trituración*

El proceso de producción de las hojas de té y la molienda de granos secos tiene una similitud que se basa en la recolección, deshidratación y molienda, cada proceso es muy importante y descrito en las ilustraciones 2-1 y 2-2 respectivamente.

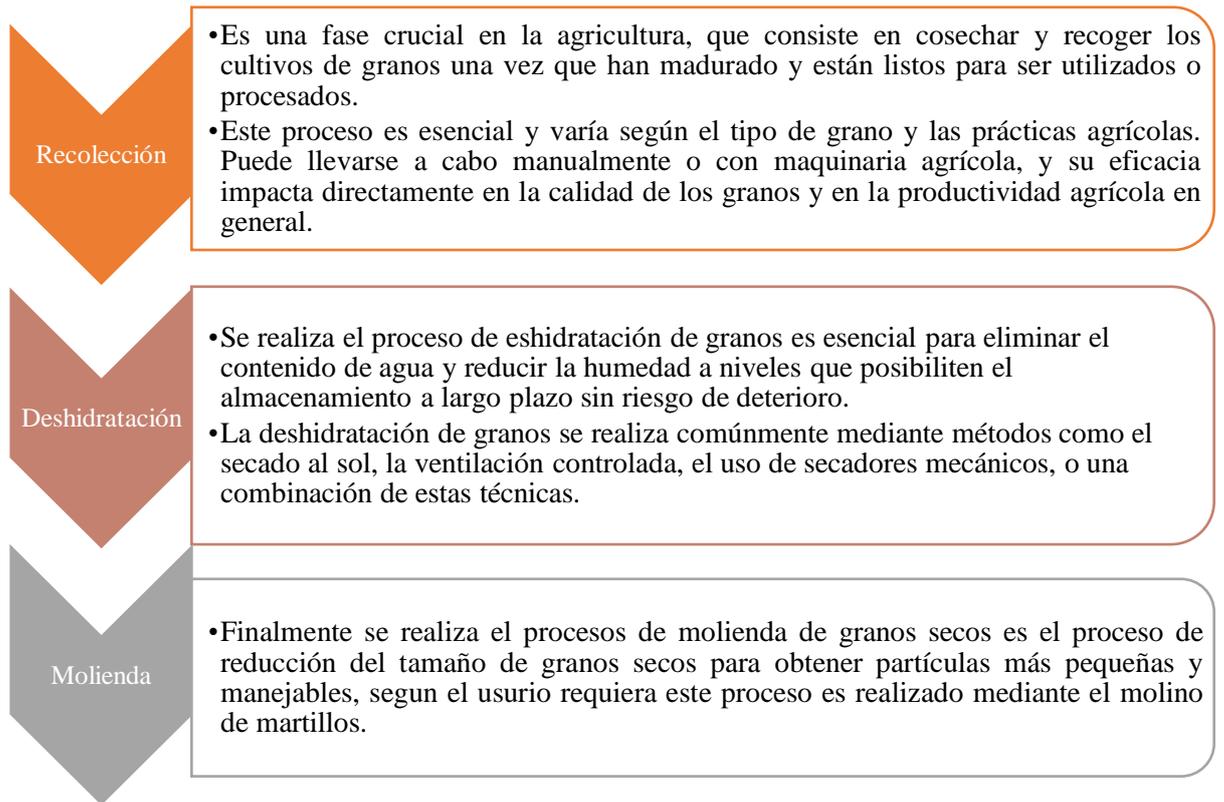
#### 2.1.5.1. *Hojas de té*



**Ilustración 2-1:** Proceso de producción de hojas de té

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 2.1.5.2. Granos secos



**Ilustración 2-2:** Procesos de tritución de granos secos

Realizado por: Loachamin L., 2023

## 2.2. Tipos de molinos y características importantes

Las fábricas introducen diferentes modelos de molinos y diferentes parámetros que cada empresa o microempresa implementa para mejorar su competitividad en el mercado nacional e internacional, como observamos en la Tabla 2-4, se muestra el dimensionamiento del tamaño en base al tipo de molino.

**Tabla 2-4:** Clasificación de los molinos en base al tamaño del producto final.

Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	Tipo de equipos
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: "Crushers"	De rodillos
Intermedio y fino	Molino de finos: "Mills o Grinders"	De martillo Disco de atrición De rodillos
Fino y ultrafino	Molinos de ultrafinos: "Ultrafine grinders"	De martillos De bolas

Fuente: (Tamaños de molinos, 2022.)

Realizado por: Loachamin L., 2023

## 2.2.1. Competencias de molinos de martillos en el mercado nacional e internacional

### 2.2.1.1. Mercado nacional

El molino representado en la figura 2-2, producido por la compañía "Maquinaria agroindustrial sirca", se posiciona como un competidor en el mercado nacional logrando un funcionamiento de trituración por percusión. Para un adecuado funcionamiento se implementa martillos para realizar la molienda y trituración. Esta máquina se destina a la trituración de diversos granos, como maíz y soya, así como especias y hortalizas, incluyendo pimienta, orégano, comino, entre otros (Sirca, 2023).



**Ilustración 2-3:** Molino de martillos Sirca

Fuente: (Sirca, 2023)

Mediante la tabla 2-5, observamos características importantes técnicas del fabricante Sirca.

**Tabla 2-5:** Especificaciones técnicas molino nacional

Construcción metálica	
Capacidad	10 qq/h – 460 kg/h
Motor	5 Hp. 1 fase
Medidas de base	1,20m x 1,20m
Consumo eléctrico del motor	7,5 KW/H
Industria	Ecuatoriana

Fuente: (Sirca, 2023)

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 2.2.1.2. Mercado internacional

El molino triturador picador TP-24 producido por la empresa "EQUIPMASER.CO", este equipo es conocido al estar constituido en su interior por cuchillas y martillos manufacturadas a partir de un material con un límite de fluencia elevado en este caso es el acero templado especial. Este material tiene la característica de poder ser rectificadas hasta en cuatro ocasiones, lo que confiere al equipo una capacidad de producción elevada y lo posiciona como una opción ideal para medianos productores. En la ilustración 2-3, observamos el equipo construido por el fabricante

Penagos hermanos, esta máquina tiene la alternativa variable de utilizar mediante el accionamiento mediante un motor o dos motores eléctricos o a diésel (Penagos Hermanos, 2022).



**Ilustración 2-4:** Molino triturador picador TP-24

**Fuente:** (Penagos Hermanos, 2022).

Observando en la tabla 2-6, se muestran características técnicas del molino triturador TP-24 construido por EQUIPMASER.CO.

**Tabla 2-6: Especificaciones técnicas molino triturador TP-24**

Modelo	TP-24
Producción desintegrando cereales secos	150-900 kg/h
Producción picando forrajes	1000-2500 kg/h
Cribas (agujeros en milímetros)	2, 3, 5 14 y lisa
Revoluciones del rotor	3500-36000 R.P.M
Potencia motor eléctrico	7.5-10 Hp
Potencia motor gasolina o diésel	10-13 Hp
Dimensiones (LXAXH)	660x550x1.200mm
Número de martillos	24
Número de cuchillas	4
Número de contra cuchillas	1
Industria	Colombiana

**Fuente:** (Penagos Hermanos, 2022).

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

El molino PERUMINOX MM4-COM producido por la empresa “MAQUINA ELECTRO PERÚ”, una característica importante es que está destinado para la industria alimenticia para el consumo humano siendo ideal para moler y triturar granos y cereales secos de todo tipo. En la ilustración 2-5, que consta con una tolva con un sistema de dosificación teniendo un funcionamiento eficiente y optimo en la trituración o molienda de granos secos (Peruminox, 2023).



**Ilustración 2-5:** Molino PERUMINOX MM4-COM

Fuente: (Peruminox, 2023).

Se observa en la tabla 2-7, características técnicas importantes del molino PERUMINOX MM4-COM construido por MAQUINA ELECTRO PERÚ.

**Tabla 2-7:** Especificaciones técnicas molino PERUMINOX MM4

Modelo	PERUMINOX MM4
Capacidad de producción	Harina: 250 kg/h Partidos: 700 kg/h
Material	Acero inoxidable AISI 304
Cribas (agujeros en milímetros)	0.5 – 0.8 – 3.2mm
Peso neto	196 kg
Potencia motor eléctrico	20 Hp (trifásico)
Número de martillos	96
Industria	Peruana

Fuente: (Peruminox, 2022)

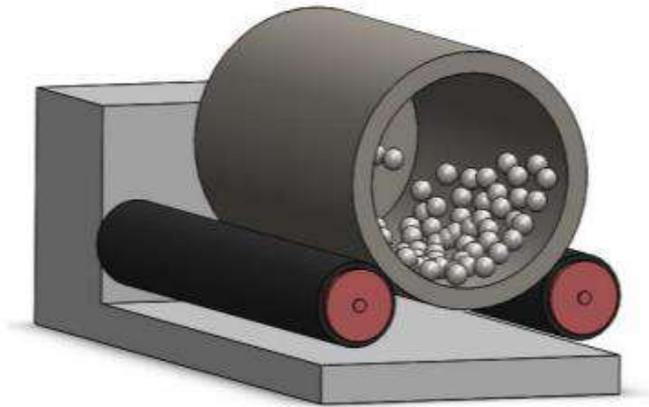
Realizado por: Loachamin L., 2023

## 2.2.2. Clasificación en base al diseño y funcionamiento

### 2.2.2.1. Molino de bolas

Según Barta (2021), el molino de bolas es una máquina utilizada para moler y mezclar variedades de materiales como minerales, pinturas, pirotecnia, cerámica y sinterización selectiva por láser. Su funcionamiento es conformado mediante el principio de impacto y fricción, donde el tamaño se reduce por el choque de bolas o bolas abrasivas y partículas del material que se está procesando. Estos dispositivos son necesarios para la trituración fina y la homogeneización de sustancias, y

son necesarios en diversas industrias para obtener productos con determinadas características.



**Ilustración 2-6:** Molino de bolas

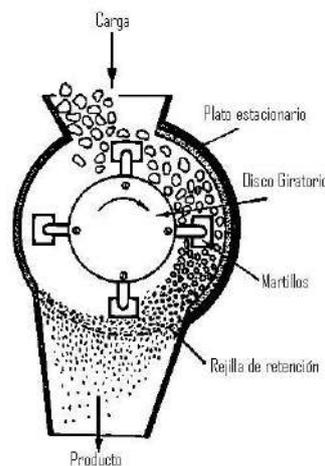
Fuente: (Cabezas A., 2017)

### **Funcionamiento**

Es un tambor cilíndrico que gira alrededor de su eje y puede estar horizontal o ligeramente inclinado con respecto al plano horizontal. Este cilindro está parcialmente cargado con bolas que pueden ser de acero (cromo), acero inoxidable, cerámica (por ejemplo, carburo de silicio) o incluso caucho. El interior del cilindro suele estar revestido con un material resistente al desgaste, como carburo de silicio, acero al manganeso o caucho. La longitud del molino es aproximadamente igual a su diámetro (Barta, 2021).

#### *2.2.2.2. Molino de martillos o barras*

Los molinos de martillos presenta un bloque o masa de martillos y un eje central el cual gira y estos martillos golpean el producto contra el tamiz realizando de esta forma la molienda.



**Ilustración 2-7:** Molino de martillos

Fuente: (HAMMERMILLS, 2023)

### **Ventajas del molino de martillos**

- Fácil mantenimiento
- Reducción de costos de los repuestos

- Construcción simple
- Larga duración de los martillos
- Operan en un sistema cerrado reduciendo riegos y contaminación al operario
- Alta eficiencia de la maquina
- Disponibilidad de tamaños

#### **Desventajas del molino de martillos**

- Incapacidad de producir una molienda uniforme
- Se tiene un aumento de temperatura en la cámara de molienda

#### *2.2.2.3. Molinos de discos*

Este tipo de maquinaria posee dos discos abrasivos, uno de ellos es estático y la otra gira y de esta manera presiona el producto entre los discos obteniendo la molienda, tiene una similitud con los molinos de piedras.



**Ilustración 2-8:** Molino de discos

**Fuente:** (Deshidratadoras Perú, 2021)

#### **Ventajas del molino de discos**

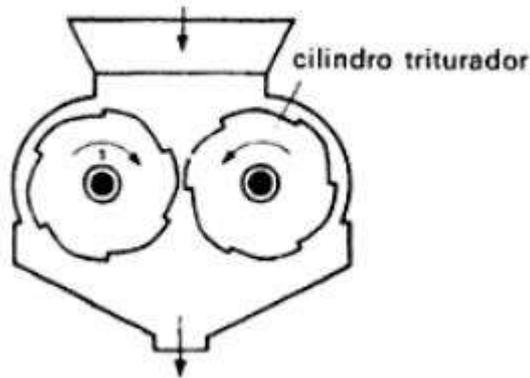
- Potencia y velocidades bajas.
- Uniformidad de la molienda.
- Bajo costos.

#### **Desventajas del molino de discos**

- Desgaste de los discos.
- Potencias elevadas para molienda fina.
- Fricción y desgaste de los discos cuando funcionan vacíos.

#### *2.2.2.4. Molino de rodillos*

Son máquinas que presentan dos rodillos móviles que giran en sentido contrario, esto permite moler el producto el cual ingresa por la parte superior.



**Ilustración 2-9:** Molino de rodillos

Fuente: (Bermeo, 2014)

### **Funcionamiento**

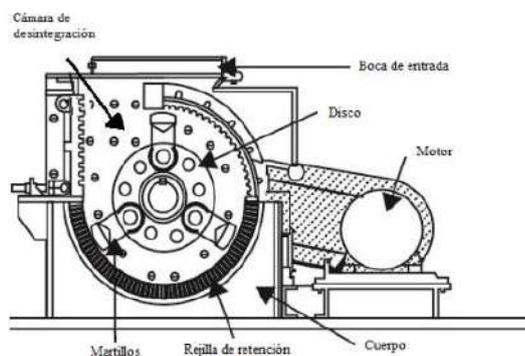
El funcionamiento del molino de rodillos tiene la característica de constituirse por dos rodillos un rodillo que gira lentamente donde los granos son retenidos y un rodillo que gira rápidamente donde son los encargados de triturarlo o cortarlos, este tipo de maquinaria es utilizado para granos con un alto porcentaje de humedad (Bermeo, 2014).

### **2.3. Definición del molino de martillo**

EL molino de martillos tiene la característica de ser una maquinaria empleada en el sector agroindustrial o sector alimenticios teniendo la función de triturar o pulverizar granos secos o hojas de té mediante la percusión de golpes o martillazos repetidos. Estos molinos son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales del sector alimenticio y agrícola para la reducción de tamaño de materiales como granos, minerales, biomasa, productos químicos, hojas deshidratadas, entre otras (Bermeo C., 2014, p.14).

#### **2.3.1. Componentes fundamentales del molino de martillos**

El molino de martillos se encuentra formado mediante varios elementos importantes para su funcionamiento, como son: sistema de alimentación, sistema de descarga, tamiz o criba, cámara de molienda, martillos, eje rotor, motor y transmisión (Bermeo C., 2014, p.14).



**Ilustración 2-10:** Partes molino de martillos

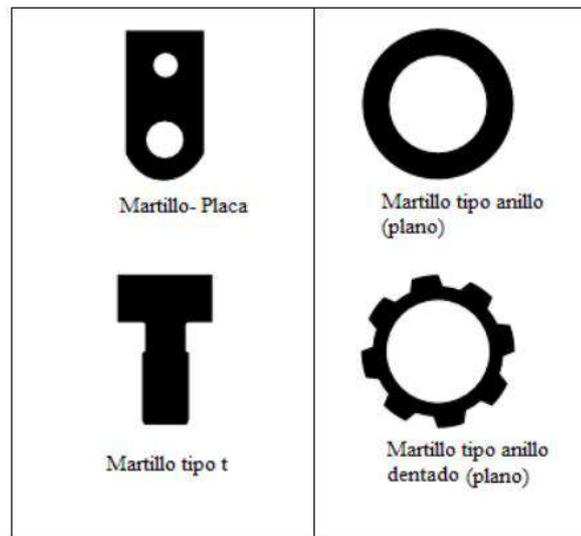
Fuente: (Bermeo C., 2014)

### 2.3.1.1. Cámara de molienda

La cámara de molienda o cámara de trituración es una estructura interna que consta de una serie de martillos giratorios que golpean los granos secos o hojas para té a moler, estos martillos están unidos a un eje para su trituración dentro de la cámara.

### 2.3.1.2. Martillos

Los martillos son partes importantes de la cámara de trituración del molino de martillos que se utilizan en diversas aplicaciones, desde la agricultura hasta la industria alimentaria. Existen diferentes tipos de martillos. Nuestro trabajo de integración curricular utiliza martillos-placas.



**Ilustración 2-11:** Tipos de martillos

**Fuente:** (Swain, Mechanical Operations, 2019)

### 2.3.1.3. Eje rotor

El eje rotor es una parte fundamental de la cámara de trituración. El rotor es un eje macizo giratorio que sujeta a los respectivos martillos para la trituración de los granos y hojas.

### 2.3.1.4. Transmisión del motor eléctrico

La transmisión de un motor eléctrico se refiere al conjunto de componentes que permiten controlar, ajustar la velocidad y el torque del motor, debido a que es importante para cada aplicación, existen distintas formas de realiza la transmisión del motor como son: variador de frecuencia, transmisión por correas, transmisión por engranes, control de polos, etc.

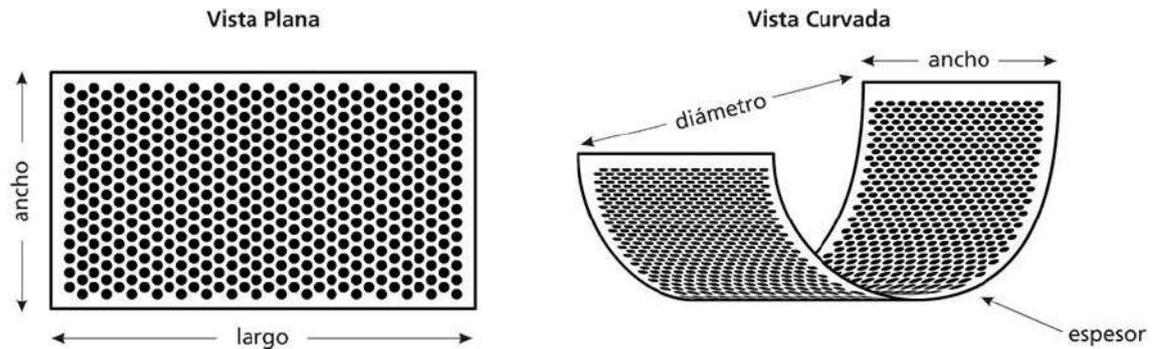
### 2.3.1.5. Sistema de alimentación y sistema de descarga

Los dos tipos de alimentación son fundamental en el molino de martillos, estas dos partes deben tener un sistema de seguridad adecuado, evitando la reducción de riesgos laborales.

### 2.3.1.6. Criba o tamiz

La criba o tamiz esta parte se encuentra dentro de la cámara de molienda y tiene como objetivo dimensionar la granulometría del grano seco o hoja para te, existen diferentes tamaños de granulometría que será definido por el usuario, este cribado debe cubrir un ángulo de 120° como

se muestra en la ilustración 2-12 (Pallasco L. & Jami A., 2018).

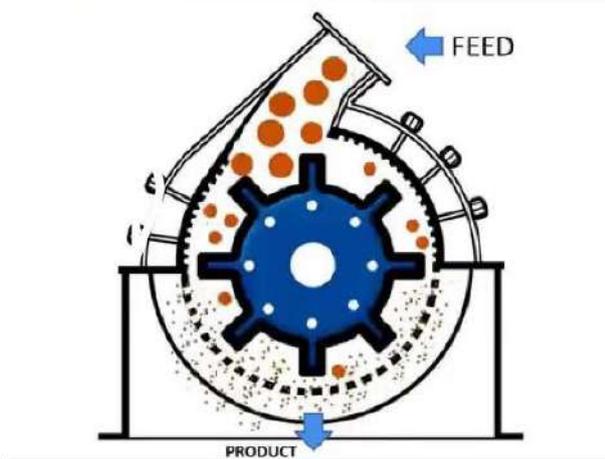


**Ilustración 2-12:** Criba del molino de martillos

Fuente: AG internacional

### 2.3.2. Funcionamiento técnico del molino de martillos

El funcionamiento de un molino de martillos es relativamente sencillo. Comienza con la introducción del producto a triturar por la boca superior, desde donde cae por gravedad hacia la cámara de desintegración. El eje del molino gira a una velocidad considerable, generando una fuerza centrífuga que posiciona los martillos perpendicularmente para que estén listos para trabajar. Estos martillos golpean repetidamente el producto en el interior del molino, y después chocan contra la cámara de desintegración. Este ciclo se repite hasta que el producto alcanza un tamaño que le permite pasar a través de la criba o rejilla como se observa en la ilustración 2-13.



**Ilustración 2-13:** Funcionalidad de un molino de martillos

Fuente: (TRUSTAR Pharma, 2019)

La granulometría de la salida del producto final puede ajustarse mediante el cambio de cribas con tamaños diferentes, para la obtención de un producto homogéneo depende de la velocidad del eje o la forma de ensamblaje de los martillos, todos estos parámetros influyen garantizar una calidad óptima de producto final. (Carl W. & Salas A., 1968).

De acuerdo con Carl W. & Salas A., (1968), especifica que la velocidad de rotación del eje principal debe oscilar entre 2500 y 4000 rpm, mientras que en las esquinas de los martillos la

velocidad debe oscilar entre 70 y 100 m/s, finalmente la separación entre los martillos debe encontrarse en un límite de 25 y 75 mm, en base al producto de ser triturado.

## **2.4. Criterios de diseño y ecuaciones para el diseño mecánico**

### **2.4.1. Capacidad de molienda o trituración**

La capacidad de producción es la cantidad máxima que el molino puede procesar en un periodo de tiempo específico, puede ser expresado en peso, volumen u otra unidad de medida (SI), esta capacidad se obtiene mediante la ecuación:

$$M_o = \frac{m_g}{t_m} \quad ( 1 )$$

Donde:

$M_o$  = Capacidad de trituración (kg/h) o (gr/m)

$m_g$  = Masa de granos o hojas a ser triturados (kg o gr)

$t_m$  = Tiempo en el cual los granos o hojas son triturado (h o m)

### **2.4.2. Factor de seguridad**

El trabajo de integración curricular es una máquina compuesta por elementos mecánicos y estructuras estáticas utilizada para la trituración de diversos granos y hojas, se considerará un adecuado factor de seguridad de dos garantizando la durabilidad y seguridad al usuario para el cálculo factor de seguridad, tendremos el apoyo de libros de "Diseño en ingeniería mecánica" (Budynas R., 2008).

### **2.4.3. Potencia del motor**

La determinación de la potencia es fundamental y necesario para evitar sobrecargas a un motor eléctrico, se empleará el método de Von Rittinger al tener la facilidad de tener un alto índice de eficiencia con maquinarias de molienda mediante percusión, este método se aplicará a capacidades inferiores a 10ton/h.

$$P = C * K_r * \left( \frac{1}{D2} - \frac{1}{D1} \right) \quad ( 2 )$$

Donde:

P= Potencia de motor (Hp)

C= Capacidad de producción

$K_r$ = Constante de Rittinger (Hp-cm/ton-h)

D2= Diámetro del grano después de ser triturado (cm)

D1= Diámetro del grano antes de ser triturado (cm)

### **2.4.4. Diseño de martillos**

Es importante diseñar los martillos, debido que es un componente fundamental en la trituración, ya que la excelencia del producto final está determinada por los martillos, los cuales descomponen granos y hojas en partículas más pequeñas. Estos martillos, actuando como herramientas de percusión, facilitan la ruptura tan pronto como entran en contacto con la criba.

#### 2.4.5. *Energía de ruptura o trituración*

La energía necesaria para la trituración se obtiene experimentalmente aplicando la ley de Charpy, esta ley implica dejar caer un cuerpo de masa conocida sobre un grano seco a una cierta altura, esta energía se calcula mediante la ecuación:

$$E_{ruptura} = m_{prueba} * g * h \quad ( 3 )$$

Donde:

$E_{ruptura}$  = energía de ruptura del grano

$m_{prueba}$  = masa de prueba

$g$  = aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = altura necesaria para triturar el grano seco (m)

#### 2.4.6. *Energía cinética*

Durante la rotación de los martillos, el contacto con el grano o la hoja seca crea una velocidad tangencial en el filo del martillo. La energía cinética generada cuando se golpea un grano o una hoja con un martillo viene dada por la ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} m_g * v_t^2 \quad ( 4 )$$

Donde:

$E_c$  = Energía cinética

$m_g$  = masa del grano o hoja

$v_t$  = velocidad tangencial del martillo

La ruptura del grano seco o hoja se origina debido a la velocidad tangencial en el borde del martillo. En este punto específico, la energía cinética generada coincide con la energía necesaria para lograr la ruptura (Lasluisa W., 2022).

Por lo tanto, se iguala las ecuaciones anteriores, obteniendo una ecuación para la velocidad tangencia.

$$m_{prueba} * g * h = \frac{1}{2} m_g * v_t^2 \quad ( 5 )$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * m_{prueba} * g * h}{m_g}} \quad ( 6 )$$

En esta sección se presenta un resumen general de las ecuaciones que se emplearán más adelante en el siguiente capítulo, donde se llevará a cabo el diseño detallado de cada componente mecánico junto con sus resultados correspondientes.

#### 2.4.7. *Diseño de un eje a carga estática*

En el molino de martillos al estar compuesto por un eje principal y varios ejes secundarios es importante el diseño del eje a carga estática, calculando los esfuerzos de flexión y torsión respectivamente, estos esfuerzos se calculan empleando ecuaciones de libros de “Diseño de elementos mecánicos” que se mostraran en los párrafos siguientes.

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3} \quad ( 7 )$$

Donde:

$\sigma_x$ = esfuerzo normal de flexión (Pa)

M= momento flector máximo (N.m)

d= diámetro del eje (m)

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad ( 8 )$$

Donde:

$\tau_{xy}$ = esfuerzo cortante máximo (Pa)

T= momento torsor máximo (N.m)

Realizado el cálculo de los esfuerzos de flexión y torsión, se emplea la teoría de fallas basada en la energía de distorsión. Se tienen varias ecuaciones para determinar el esfuerzo equivalente, y en este caso se optará por utilizar el esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n} \quad ( 9 )$$

Finalmente para la comprobación de un diseño adecuado se comprueba mediante el factor de seguridad el mismo debe ser mayor a uno.

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad ( 10 )$$

Donde:

$S_y$ = resistencia a la fluencia (MPa)

#### 2.4.8. *Diseño de un eje a fatiga*

En el diseño de un eje sometido a fatiga, donde se tiene una curva fluctuante en su gráfica, se realiza el cálculo de los esfuerzos medios y esfuerzo amplitud. La ecuación mostrada representa el límite de resistencia de un componente frente a la fatiga, conocida como la ecuación de Marín. En este contexto, se consideran los diversos factores de Marín que influyen en la resistencia del elemento a fatiga.

$$S_e = 0.5S_{ut} * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f \quad ( 11 )$$

Donde:

$K_a$ = factor de modificación de la condición superficial.

$K_b$ = factor de modificación del tamaño.

$K_c$ = factor de modificación de la carga.

$K_d$ = factor de modificación de la temperatura.

$K_e$ = factor de modificación de confiabilidad.

$K_f$ = factor de modificación de efectos varios.

$S_{ut}$ = resistencia ultima a tensión (MPa)

Estos factores se lo hallan en el capítulo siguiente mediante tablas o formulas descritas en el libro de "Diseño en ingeniería mecánica" de los autores Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett.

Mencionado con anterioridad se calcula los esfuerzos medios y esfuerzo amplitud (Richard G. Budynas & J. Keith Gisbert, 2008).

$$\sigma_a = kf \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad ( 12 )$$

$$\sigma_m = kf \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad ( 13 )$$

$$\tau_a = kfs \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad ( 14 )$$

$$\tau_m = kfs \frac{16T_m}{\pi d^3} \quad ( 15 )$$

Donde:

$M_a$ = momento flexionante amplitud (N.m).

$M_m$ = momento flexionante medio (N.m).

$T_a$ = par torsor amplitud (N.m).

$T_m$ = par torsor medio (N.m).

$\sigma_a, \sigma_m$ = esfuerzo de flexión amplitud y medio, respectivamente.

$\tau_a, \tau_m$ = esfuerzo de torsión amplitud y medio, respectivamente.

Realizando la utilización de la teoría de Von Mises, el esfuerzo amplitud equivalente y esfuerzo media equivalente calculado.

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16k_{fs} T_a}{\pi d^3}\right)^2} \quad ( 16 )$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} = \sqrt{\left(\frac{32k_f M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d^3}\right)^2} \quad ( 17 )$$

Se implementa un criterio de falla por fatiga de Goodman con el objetivo de determinar un factor de seguridad aplicable al diseño del eje que está sujeto a cargas fluctuantes, específicamente en situaciones de fatiga.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad ( 18 )$$

Finalmente, en el dimensionamiento del diámetro del eje se aplica la ecuación planteada según el autor.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad ( 19 )$$

Para comprobar que el eje realmente sea el diseñado adecuadamente se deberá cumplir varios parámetros propuestos por varios autores.

#### **2.4.9. Transmisión**

La transmisión en un molino de martillos se fundamenta en controlar la velocidad y la efectividad del proceso de molienda, adaptándose a diversas condiciones de operación.

##### **2.4.9.1. Transmisión por correa**

En el proceso de diseño de la correa, es esencial incorporar una potencia de diseño, para una selección apropiada a partir de los catálogos disponibles en el mercado nacional. Esta potencia de diseño debe ajustarse a las necesidades específicas del sistema, asegurando así la elección de una correa que cumpla con los requerimientos técnicos y funcionales establecidos (Tapia, 2022).

$$P_D = P_M * C_1 \quad ( 20 )$$

Donde:

$P_D$ = potencia del motor [KW]

$C_1$ = factor de servicio

#### **2.4.10. Selección de rodamientos**

En el proceso de selección de rodamientos nos regiremos a los parámetros a seguir establecidos por el catálogo NTN, para su selección optima de los rodamientos para el eje principal de la cámara de trituración.

#### **2.4.11. Diseño de tolva**

Es adecuado considerar el ángulo de inclinación en el diseño de la tolva. Este cálculo se realiza teniendo valores de referencia de coeficientes de fricción entre los granos, hojas secas y la superficie de la tolva (Pavón A., 2013).

$$\theta = \tan^{-1}(ff) \quad ( 21 )$$

Donde:

$\theta$ = ángulo de inclinación

$ff$ = factor de fricción

#### **2.4.12. Proceso de soldadura**

Los procesos de soldadura son métodos utilizados para unir materiales, comúnmente metales, mediante la fusión y solidificación existen varios procesos de soldadura como son: SMAW, GTAW, GMAW.

En el presente trabajo de integración curricular se utilizará el proceso GTAW en el montaje y ensamblaje del molino de martillos, debido a un alto requerimiento de acabado superficial y un aspecto visual al cliente.

##### **2.4.12.1. Proceso de soldadura aceros inoxidables (GTAW)**

La soldadura por electrodo revestido es uno de los métodos más frecuentemente empleados en la industria, especialmente para unir aceros inoxidables y aceros al carbono debido a su sencillez y costo accesible. En este proceso, el electrodo se cubre con un material que resguarda la zona de

soldadura del contacto con el aire, reduciendo así la formación de óxidos. La calidad de la unión está estrechamente vinculada a la destreza del soldador para regular la corriente de soldadura y la velocidad de avance (OXGASA, 2015).

Cabe destacar que la soldadura por electrodo revestido genera una cantidad significativa de escoria, lo cual puede incidir en la calidad de la unión. En términos generales, este método es idóneo para soldar aceros inoxidable de baja y media aleación, si bien no constituye la elección más adecuada para materiales de alta aleación o para aplicaciones que demandan una calidad superior. Se reconoce su uso extendido en la fabricación de bastidores, bancadas y estructuras de soporte dentro de maquinaria alimentaria de uso industrial (Salazar Sebastián & Varela Ronal, 2023).

#### *2.4.12.2. Código de Soldadura Estructural en Acero Inoxidable AWS D1.6*

La norma AWS D1.6, desarrollada por la American Welding Society (AWS), se ocupa de diversos aspectos relacionados con la soldadura en aceros inoxidables estructurales. Proporciona directrices detalladas para el diseño de juntas soldadas en este tipo de acero, establece criterios para juntas precalificadas que sirven como una base confiable al seleccionar y aplicar las juntas de soldadura. Además, define posiciones de soldadura para asegurar la efectividad del proceso en diversas condiciones. La norma también especifica los tipos de juntas de soldadura adecuados para aceros inoxidables y establece parámetros de variables de soldadura que facilitan la comprensión y aplicación de las directrices establecidas. Cumplir con la norma AWS D1.6 garantiza prácticas de soldadura consistentes y de alta calidad en el ámbito de los aceros inoxidables (AWS D1.6, 2017: pp.1-7).

EL proceso que se empleara es el proceso GTAW, siguiendo instrucciones de la norma AWS D1.6, donde nos indican el tipo de juntas, el gas a utilizar, el punto de calentamiento del los elementos no consumibles y consumibles, se realizara este proceso al tener una soldadura libre de escoria y tener un adecuado acabado en su procedimiento de soldadura, en los respectivos anexos se muestra los tipos de juntas a emplear en la maquina con sus características correspondientes.

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Metodología del diseño

Este proyecto técnico, tiene como paso inicial una recopilación de información a partir de fuentes bibliográficas que ofrecieran datos sustanciales en la elaboración del trabajo de integración curricular, realizando un análisis de competencias de mercados nacionales e internacionales de molinos de martillos. Posteriormente, se aplicará un análisis QFD con la finalidad de identificar la configuración de diseño más viable para las condiciones específicas del proyecto, así como determinar cuál de ellas tiene mayor probabilidad de lograr éxito comercial en el sector industrial nacional. Este enfoque analítico garantiza la efectividad y la competitividad del producto en el mercado (Lasluisa W., 2022).

#### 3.2. Definición del producto

##### 3.2.1. *Requerimiento del cliente*

En la definición de los requerimientos del cliente, se realizó una encuesta al propietario y trabajadores de una microempresa dedicada a la elaboración y construcción del molino de martillos, para tener conocimiento de sus necesidades. La encuesta realizada se incluye en el "Anexo A" del trabajo de integración curricular. Los requerimientos del cliente identificados mediante las encuestas fueron:

- Fácil uso
- No sea ruidoso
- Se transporte con facilidad
- No tenga volcamientos
- Fácil de reparar
- Duradera
- No tenga atascamientos
- Que triture rápido
- No sea costosa
- Repuestos no costos
- Repuestos fáciles de adquirir
- Procese grandes cantidades
- Producto uniforme
- Tamaño no muy grande
- Segura
- Que no contamine

### 3.2.2. Voz del usuario

Obteniendo los adecuados antecedentes, la encuesta elaborada es fundamental para el conocimiento de las necesidades del usuario o persona natural (voz del usuario), estos parámetros es importante incluir en la casa de calidad (QFD). En tabla 3-1 se ha evaluado cuatro parámetros en función de la importancia de cada requerimiento.

**Tabla 3-1:** Parámetros para el diseño conceptual

N_°	Característica	Muy importante	Importante	Poco importante	Innecesario	% Importante	% No importante	importancia
1	Fácil uso	12	2	1		93	6,7	4,7
2	No sea ruidoso	9	4	2		87	13,3	4,3
3	Se transporte con facilidad	6	4	4	1	67	33,3	3,3
4	No tenga volcamientos	9	2	2	2	73	26,7	3,7
5	Fácil de reparar	10	4	1		93	6,7	4,7
6	Duradera	14	1			100	0,0	5,0
7	No tenga atascamientos	3	2	6	4	33	66,7	1,7
8	Que triture rápido	10	5			100	0,0	5,0
9	No sea costosa	8	4	3		80	20,0	4,0
10	Repuestos no costos	3	2	4	6	33	66,7	1,7
11	Repuestos fáciles de adquirir	4	2	4	5	40	60,0	2,0
12	Procese grandes cantidades	9	3	3		80	20,0	4,0
13	Producto uniforme	15				100	0,0	5,0
14	Tamaño no muy grande	7	5	2	1	80	20,0	4,0
15	Segura	8	4	2	1	80	20,0	4,0
16	Que no contamine	4	4	5	2	53	46,7	2,7

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

De acuerdo con la tabla 3-1, se han identificado los requerimientos del usuario que poseen los porcentajes más elevados de importancia. Estos han sido incorporados en la tabla 3-2, acompañados de sus correspondientes características técnicas designadas como "La Voz del Ingeniero". Este proceso es la base para avanzar en la fase de desarrollo de la Casa de Calidad de nuestro proyecto técnico.

**Tabla 3-2:** Voz del ingeniero

N°	Voz del usuario	Voz del ingeniero
1	Facilidad de utilizar	<b>Accesibilidad</b>
2	Que no produzca mucho ruido	<b>Silenciosa</b>
3	Facilidad de transportación	<b>Movilidad</b>
4	No tenga volcamientos	<b>Estable</b>
5	Fácil de reparar	<b>Mantenimiento</b>
6	Maquina duradera	<b>Vida útil</b>
7	Trituración rápida	<b>Potencia</b>
8	No sea costosa	<b>Costos</b>
9	Que procese grandes capacidades	<b>Capacidad de trituración</b>

<b>10</b>	Producto uniforme	<b>Producto homogéneo</b>
<b>11</b>	Que no sea muy grande	<b>Peso máximo</b>
<b>12</b>	Segura	<b>Seguridad del usuario</b>

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.2.3. Análisis de competencias

En nuestro proyecto técnico en el capítulo dos, se obtiene un análisis exhaustivo de competencias denominado benchmarking en el mercado nacional y mercado internacional. Se realizara el estudio de dos competencias específicas para llevar a cabo un análisis detallado de competencias "Anexo B".

- Molino triturador picador TP-24
- PERUMINOX MM4-COM

Las características y especificaciones técnicas se han indicado anteriormente en el capítulo de marco teórico.

#### 3.2.3.1. Comparación de análisis de competencias

**Tabla 3-3:** Cuadro comparativo entre competencias

Empresa de fabricación	EQUIPMASER.CO.	MAQUINA ELECTRO PERÚ.
Modelo	Molino triturador picador TP-24	PERUMINOX MM4-COM
Ilustración		
Dimensiones	660x550x1200mm	350x700x1400
Peso	250 kg	196 kg
Potencia Motor	7-10 Hp	20 Hp (trifásico)
Capacidad	Granos secos: 150-900 kg/h Forrajes: 1000-2500 kg/h	Harina: 250 kg/h Partidos: 700kg/h
Tamaño de criba	2, 3, 4 ,14 y lisa	0.5 – 0.8 – 3.2mm
Tipo de Molienda	Martillos	96 martillos
Material	Acero al carbono	Acero inoxidable AISI 304
Procedencia	Colombia	Perú

Realizado por: Loachamin L., 2023

De acuerdo con la Tabla 3-3, se evidencia que cada equipo mencionado exhibe atributos diversos tanto en accesibilidad para los usuarios, funcionalidad y disponibilidad en el mercado nacional. Es importante considerar varias características en la selección de un equipo adecuado y no

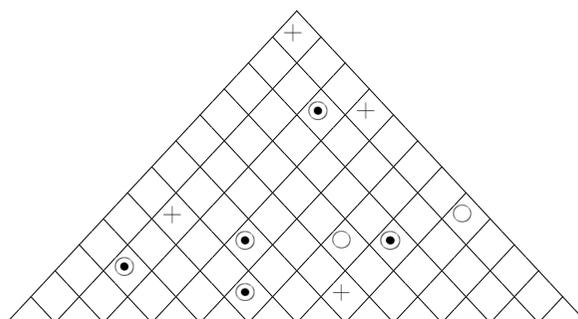
limitarse en características de capacidad y rendimiento, sino que deben abarcar factores que influyen en la adquisición del producto y otros aspectos no considerados.

#### **3.2.4. *Desarrollo de la casa de calidad Matriz (QFD)***

La metodología de implementar la casa de calidad facilita una evaluación más detallada de la matriz QFD, estableciendo características entre el usuario y especificaciones técnicas (voz del ingeniero). Este enfoque permite una selección precisa de una alternativa competitiva, identificando de manera efectiva los requisitos técnicos fundamentales. En resumen, el análisis de la Casa de Calidad contribuye a obtener información crucial sobre los aspectos técnicos más relevantes como se visualiza en tabla 3-4.

**Tabla 3-4: Matriz QFD**

Correlaciones	
Muy positivo	⊙
Positivo	○
Negativo	+
Factor de incidencia	
Fuerte=9	●
Medio=3	○
Bajo=1	▽
Factor de venta	
Fuerte= 1,5	
Posible= 1,2	
Ninguno= 1	



VOZ DEL USUARIO \ VOZ DEL INGENIERO		Tipo de necesidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Evaluación del usuario				F	G	H	I	J
			Operabilidad	Silenciosa	Movilidad	Estable	Mantenimiento	Vida útil	Potencia	Costos	Capacidad de trituración	Voltaje	Seguridad del usuario	Peso máximo	Importancia	Diseño propio	Molino triturador TP-24	PERUMINOX MM\$-COM	Objetivo	Índice de mejora	Factor de venta	Ponderación	Ponderación %
1	Facilidad de utilizar	B	●			●							●		4	1	3	3	3	3	1,2	14,4	10,1053
2	Que no produzca mucho ruido	U		●	▽	○					▽			○	4	1	4	3	2	2	1,2	9,6	6,73684
3	Facilidad de transportación	E			●	○					○			●	4	1	2	2	3	3	1	12	8,42105
4	No tenga volcamientos	E			○	●				▽	▽		●	○	4	1	3	3	3	3	1	12	8,42105
5	Fácil de reparar	E					●	●					○		3	1	3	2	2	2	1,2	7,2	5,05263
6	Maquina duradera	U					○	●		▽	▽				3	1	3	4	3	3	1,5	13,5	9,47368
7	Trituración rápida	E	○	▽		○	▽		●		●	○	▽		4	1	3	4	2	2	1,2	9,6	6,73684
8	No sea costosa	B	▽		▽	▽	○	○	●	●			○	○	3	1	2	2	2	2	1,5	9	6,31579
9	Que procese grandes capacidades	E					○	▽	●	○	●	○			3	1	3	4	3	3	1,2	10,8	7,57895
10	Consumo de electricidad	B							●	▽		●			4	1	1	1	3	3	1	12	8,42105
11	Segura	B	▽					○		○			●	▽	5	1	4	4	3	3	1,2	18	12,6316
12	Que no sea muy grande	U				○			▽		○			●	4	1	4	3	3	3	1,2	14,4	10,1053
																					142,5	100	

Esfecificaciones tecnicas	Control On/Off												
	Espesor= 4mm y refuerzo con angulos	Dimensiones menores a 1 m (l, a, h)	Base soporte	Facil desmontaje	5 años	5Hp-7,5Hp	2700\$-3100\$	130-150 kg/h	110v-220v	Tolva y recolector seguros	200kg		
Diseño propio	3	2	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	
Molino triturador TP-24	3	3	3	3	2	3	4	2	4	3	3	3	
PERUMINOX MM\$-COM	4	3	2	3	1	3	4	3	4	2	4	3	
Incidencia	185,4	96	162,6	383,4	174,3	278,1	387	204,9	293,1	196,2	430,8	347,4	3139,2
Incidencia %	5,906	3,058	5,18	12,21	5,552	8,859	12,33	6,527	9,337	6,25	13,72	11,07	100
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.2.5. Conclusiones de la casa de calidad

Concluido la casa de calidad se obtiene las especificaciones importantes en base al porcentaje de incidencia, en dichos parámetros el diseñador deberá tener un enfoque óptimo para cumplir con los requerimientos del usuario, a continuación, se detallarán las especificaciones importantes:

- Estabilidad: Se logrará cumplir la estabilidad mediante el apoyo de perfil estructural formando una base soporte y refuerzos de ser necesarios para tener volcamientos por el peso máximo o las vibraciones producidas al triturar el producto
- Potencia: Se realizará el cálculo respectivo para la utilización de un motor de 5 Hp a 7.5 Hp para evitar tener atascamientos, se utilizará motores eléctricos de la marca WEG de procedencia brasileña.
- Capacidad: El cumplimiento de producción por cada hora requerida por el usuario.
- Seguridad: Es importante tener un buen diseño de las tolvas de entrada del producto, la salida del producto y un protector de la transmisión del motor a el eje principal, reduciendo riegos en su totalidad.
- Peso máximo: Es importante un diseño optimo en base a los requerimientos necesarios para evitar pesos adicionales.
- Vida útil: La selección de un buen material, un diseño optimo y los respectivos mantenimientos preventivos aumentara la vida útil de la máquina.

Los parámetros mencionados con anterioridad son relacionados las más importantes donde el diseñador debe tomar acciones las exigentes sin dejar a un lado las especificaciones con menor porcentaje de incidencia, para tener un producto final adecuado,

### 3.2.6. Especificaciones técnicas

Observando en la tabla 3-5, se describen las especificaciones técnicas implementadas en el diseño a detalle del molino de martillos. Estos criterios específicos serán empleados como referencia esencial en la formulación de un diseño conceptual apropiado en base a la información de la microempresa y después de revisar detenidamente las características de las competencias mencionadas anteriormente, hemos identificado las especificaciones técnicas del equipo que se procederá al diseño y construcción del molino de martillos.

**Tabla 3-5:** Especificaciones de diseño

<b>Parámetro técnico</b>	<b>Valor de referencia</b>
Operabilidad	Control ON/OFF
Dimensiones cámara de trituración	225x390mm y D=340mm
Movilidad	Equipo portátil
Estable	Espesor considerable y soporte base
Mantenimiento	Fácil mantenimiento
Vida útil	3-5 años

Potencia de entrada	5 hp
Revoluciones	1750 RPM - motor bifásico
Costos	\$3000-\$3200
Capacidad de trituración	Harina: 130-150 kg/h Partidos: 300-350 kg/h Hojas: 100-150 kg/h
Trasmisión de potencia	Sistema Polea-correa
Peso máximo	150-180 kg
Seguridad del usuario	Tolva de alimentación y descarga
Numero de martillo	24

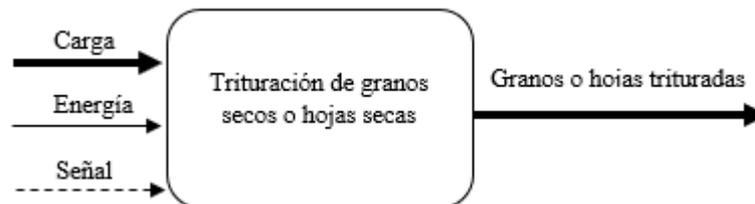
Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.3. Diseño Conceptual

#### 3.3.1. Análisis funcional

Al realizar el análisis funcional se identifica y se comprende los sistemas o funciones del molino de martillos. En este proceso, obtiene las funciones principales y secundarias, que se observara de manera gráfica en los respectivos diagramas de flujo.

##### 3.3.1.1. Estructura funcional nivel 0

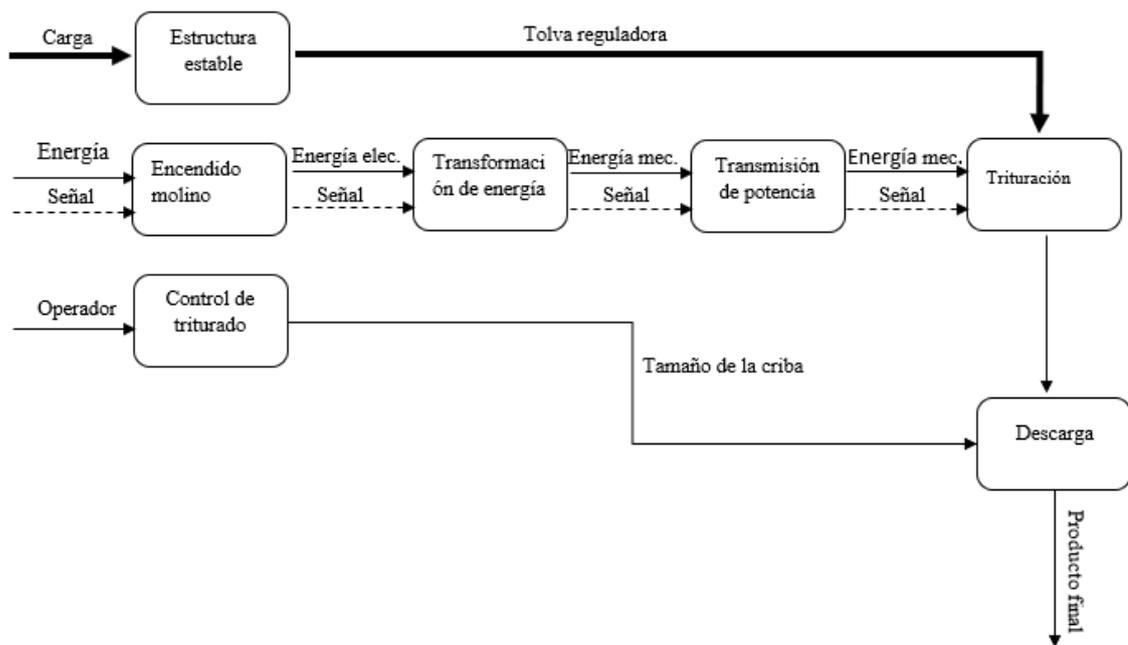


**Ilustración 3-1: Análisis funcional nivel 0**

Realizado por: Loachamin L., 2023

En el nivel 0, según se evidencia en la ilustración 3-1, la función primordial del molino de martillos consiste en la trituración de granos con un contenido de humedad de hasta el 11%, conforme a la normativa NTE INEN 616:2015. La energía eléctrica es el factor principal para la transmisión de potencia a la máquina, y la señal del operador desencadena el funcionamiento de la máquina con el objetivo de lograr la trituración de hojas o granos secos hasta alcanzar el tamaño deseado.

### 3.3.1.2. Estructura funcional nivel 1

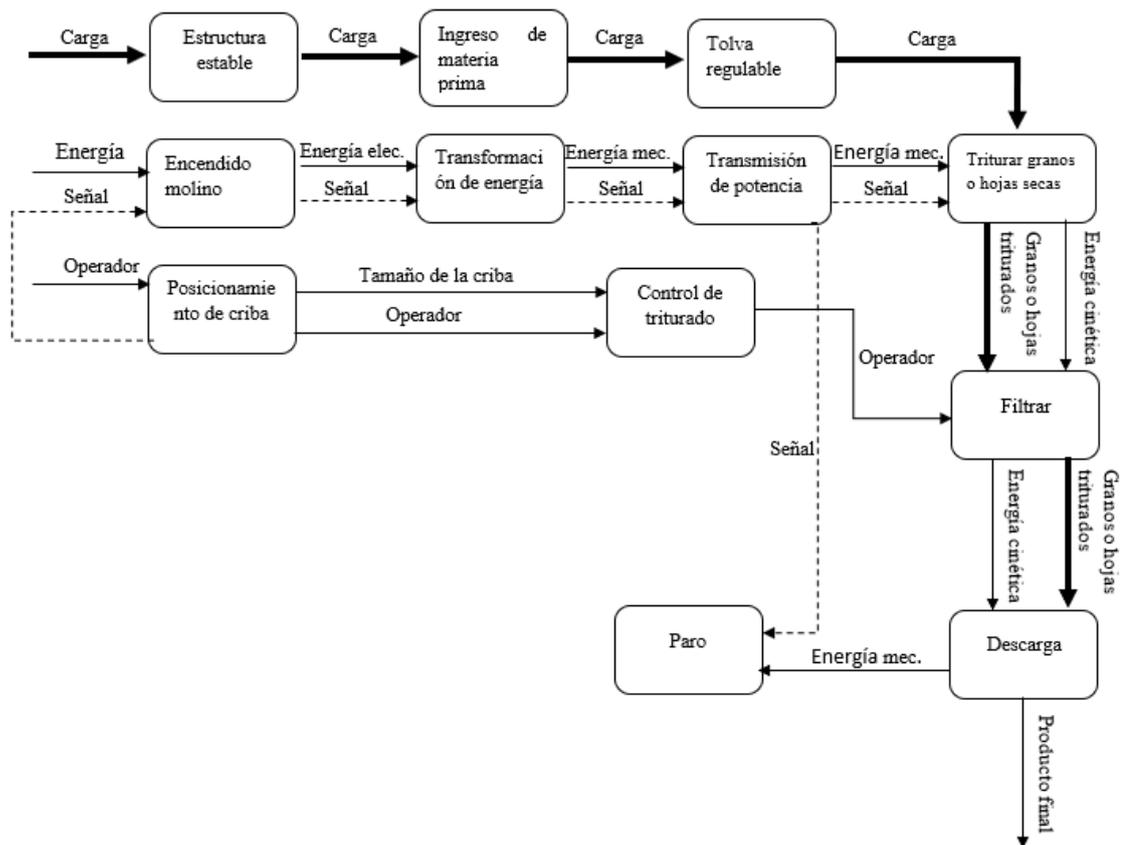


#### **Ilustración 3-2: Análisis funcional nivel 1**

Realizado por: Loachamin L., 2023

En el nivel 1, según se evidencia en la ilustración 3-2, se puede apreciar con más detalle el funcionamiento de nuestra máquina desde la señal que el operador realiza para energizar el motor, para previamente se active el rotor para la transmisión de potencia a la cámara de trituración para la obtención del producto de acuerdo a la criba utilizada.

### 3.3.1.3. Estructura funcional nivel 2



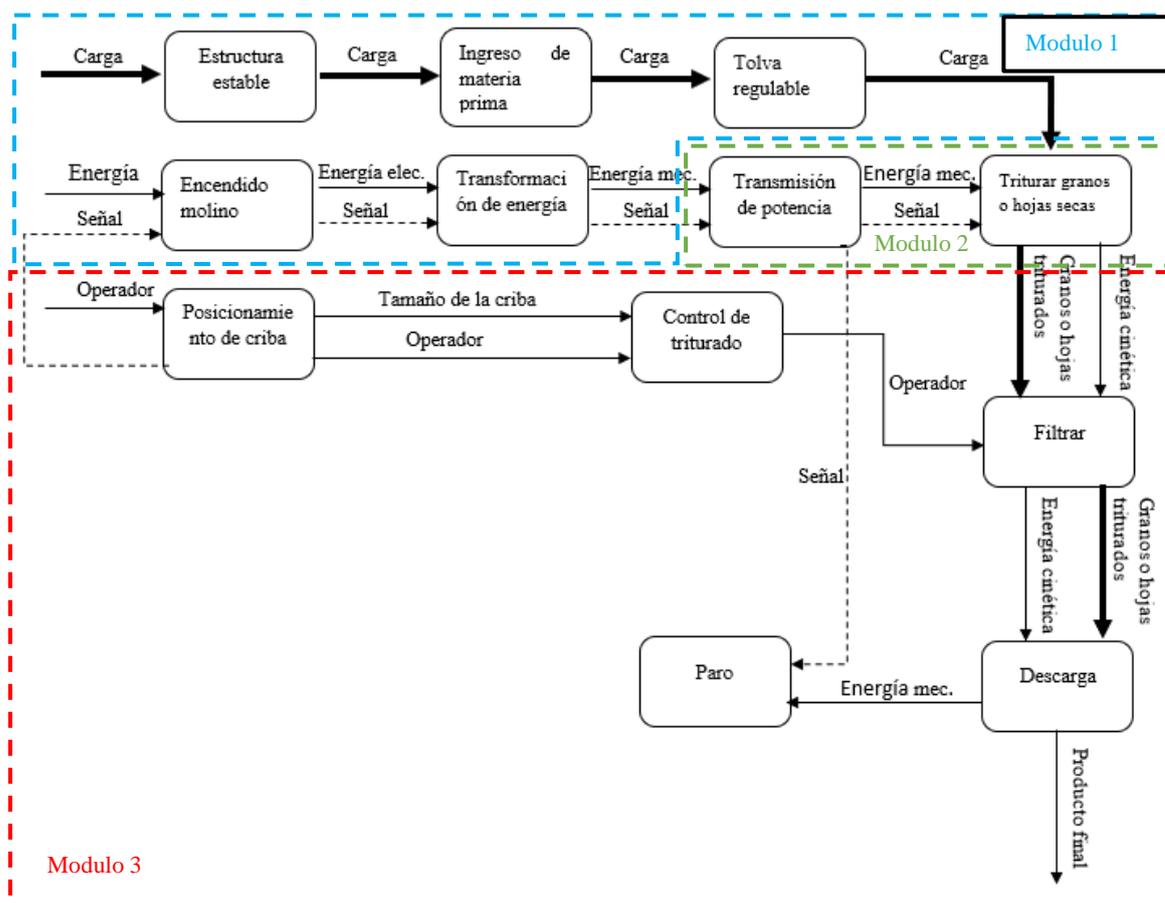
**Ilustración 3-3:** Análisis funcional nivel 2

Realizado por: Loachamin L., 2023

Finalmente, en el nivel 2, como se evidencia en la ilustración 3-3, se aprecia con más detalle cómo se realiza cada función del nivel 0 y 1, en donde se muestra las actividades que el operador realizara hasta obtener un producto final deseado filtrando mediante la criba seleccionada por el usuario.

### 3.3.2. Definición de módulos

En esta sección, se fragmenta la funcionalidad de nuestra máquina en módulos, lo que facilita la elaboración del diseño, análisis y producción del dispositivo por bloques. Este enfoque permite la creación de un diseño detallado para proponer diversas alternativas de solución en los módulos específicos identificados.



**Ilustración 3-1:** Definición de módulos

Realizado por: Loachamin L., 2023

Los módulos definidos mediante el análisis funcional, como se representa en la ilustración 3-4, consisten en tres elementos distintos: en nuestro diagrama funcional se divide en un módulo de encendido y un módulo de alimentación, un módulo de transmisión de potencia y un módulo del sistema de triturado. Cada uno de estos módulos será sometido a una selección de alternativas y se aplicará una matriz morfológica correspondiente a fin de identificar soluciones viables para la problemática en cuestión.

### 3.3.2.1. Estructura funcional módulo 1 (Módulo de encendido y alimentación)

**Tabla 3-6:** Alternativas de solución modulo 1

Función	Componentes		
Estructura estable	Armazón sin refuerzos	Base soporte empernada	Armazón con refuerzos de perfiles
Ingreso de materia prima	Tolva cónica	Tolva rectangular	Tolva prismática
Tolva regulable	Tolva recta		Tolva curva
Encendido del molino	Pulsador ON/OFF	Botonera ON/OFF	SsLlave de seguridad

Transformación de energía	Motor eléctrico	Motor de combustión interna
---------------------------	-----------------	-----------------------------

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.3.2.1. Estructura funcional módulo 1 (Módulo de transmisión de potencia)

**Tabla 3-7:** Alternativas de solución modulo 2

Función	Componentes		
Transmisión de potencia	Trasmisión por cadena	Transmisión por banda dentada	Transmisión por banda en v
Trituración de granos o hojas secas	Martillos	Rodillos	Bolas

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.3.2.1. Estructura funcional módulo 1 (Módulo de transmisión de potencia)

**Tabla 3-8:** Alternativas de solución modulo 3

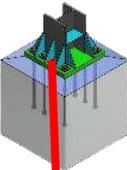
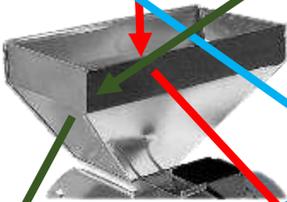
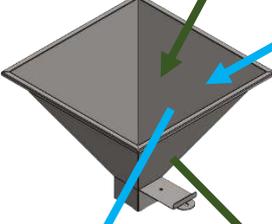
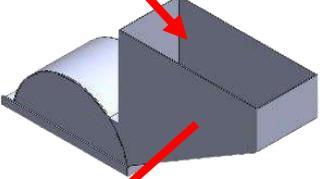
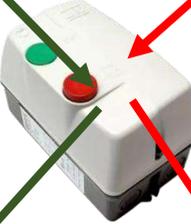
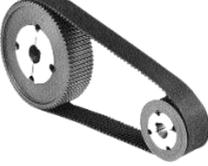
Función	Componentes		
Posicionamiento de la criba	Manual		
Control de triturado	Criba uniforme	Tamiz	Criba con patrón
Filtrar granos	Criba rectangular		Criba circular
Paro	Pulsador ON/OFF	Botonera ON/OFF	Llave de seguridad
Descarga	Caja recta		Caja inclinada

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.3.3. Matriz Morfológica

En la matriz morfológica presentada a continuación, se llevará a cabo la integración de los tres módulos previamente expuestos con el propósito de identificar alternativas viables para nuestro proyecto de integración curricular. La culminación de este proceso permitirá la elección de la opción óptima, la cual será detalladamente descrita en la tabla 3-9.

**Tabla 3-6:** Matriz morfológica

Funciones	Componentes		
<i>Estructura estable</i>			
<i>Ingreso de materia prima</i>			
<i>Tolva regulable</i>			
<i>Encendido del molino</i>			
<i>Transformación de energía</i>			
<i>Transmisión de potencia</i>			

<p><i>Trituración de granos o hojas secas</i></p>			
<p><i>Posicionamiento de la criba</i></p>			
<p><i>Control de triturado</i></p>			
<p><i>Filtrar granos</i></p>			
<p><i>Paro</i></p>			
<p><i>Descarga</i></p>			
<p><i>Alternativas</i></p>	<p><b>Alternativa 3</b></p>	<p><b>Alternativa 2</b></p>	<p><b>Alternativa 1</b></p>

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.3.4. Alternativas

Al obtener las rutas críticas de nuestra matriz morfológica que se evidencia en la tabla 3-9, obtenemos cuatro posibles alternativas para nuestro diseño del molino de granos, estas alternativas se observan en la tabla 3-10, y serán descritas cada una de ellas en los párrafos siguientes.

**Tabla 3-7:** Alternativas de solución

<b>Alternativa 3</b>	Molino de martillos estable
<b>Alternativa 2</b>	Molino de martillos estable con motor de combustión interna
<b>Alternativa 1</b>	Molino de martillos estructura no estable

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 3.3.4.1. Alternativa 1

Una de las alternativa, puede ser un molino de estructura no estable, alivianando el peso del molino, utilizando una tolva prismática regulable de menor volumen, para su funcionamiento se utiliza un motor eléctricos mediante un pulsador ON/OFF transmitiendo la potencia del motor al eje principal una transmisión por cadena para reducir velocidades y tener mayor seguridad, como ya se lo menciono el molino tendrá una cámara de trituración de martillos, para el posicionamiento de la criba se lo realizara de forma manual, utilizando cribas de distintos diámetros según el triturado que el usuario requiera, teniendo finalmente una salida del producto circular en base que se tendrá un menor volumen de entrada.

#### 3.3.4.2. Alternativa 2

La segunda alternativa, puede ser un molino de estructura empernada, tratando de evitar volcamientos y tener estabilidad en su funcionamiento, se utiliza una tolva regulable de mayor capacidad mediante la alimentación de un sistema de trasmisión por bandas en v, mediante el accionamiento de un motor de combustión interna mediante el guardamotor y pulsador ON/OFF, siendo más segura el accionamiento, en la cámara de trituración constara de martillos, para el posicionamiento de la criba se lo realizara de forma manual, utilizando cribas de distintos diámetros según el triturado que el usuario requiera, teniendo finalmente una salida del producto rectangular en base que se tendrá un mayor volumen de entrada.

#### 3.3.4.3. Alternativa 3

La tercera alternativa, puede ser un molino de estructura estable, tratando de evitar volcamientos y tener estabilidad en su funcionamiento, se utiliza una tolva regulable de mayor capacidad mediante la alimentación de un sistema de trasmisión por bandas en v, mediante el accionamiento de un motor eléctrico por medio de un guardamotor y pulsador ON/OFF, siendo más segura el accionamiento, en la cámara de trituración constara de martillos, para el posicionamiento de la criba se lo realizara de forma manual, utilizando cribas de distintos diámetros según el triturado que el usuario requiera, teniendo finalmente una salida del producto rectangular en base que se tendrá un mayor volumen de entrada.

### 3.3.5. Matriz de criterios ponderados

Como observamos en la tabla 3-10, se tiene 3 alternativas de posibles soluciones, las tres soluciones serán evaluadas en la matriz de criterios ponderados, bajo siguientes criterios.

- Costo
- Capacidad
- Seguridad
- Mantenibilidad
- Operabilidad
- Vida útil

Cada uno estos criterios serán evaluados mediante la matriz de criterios ponderados como se observa en la tabla 3-11.

**Tabla 3-8:** Matriz de evaluación de criterios ponderados

Costo > Capacidad > Seguridad > Mantenibilidad > Operabilidad > Vida útil								
CRITERIO	Costo	Capacidad	Seguridad	Mantenibilidad	Operabilidad	Vida útil	$\Sigma +1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	1	6	0,222
Capacidad	0		0	1	1	1	4	0,148
Seguridad	1	1		1	1	1	6	0,222
Mantenibilidad	0	0	0		1	1	3	0,111
Operabilidad	0	0	0	1		1	3	0,111
Vida útil	1	1	0	1	1		5	0,185
						Suma	27	1

Realizado por: Loachamin L., 2023

Para desarrollar la mejor alternativa de solución, se integra los criterios ponderados en cada una de las alternativas mostradas en las siguientes tablas.

**Tabla 3-9:** Evaluación del peso específico del criterio seguridad

Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1					
SEGURIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,250
Alternativa 2	1		1	3	0,375
Alternativa 3	1	1		3	0,375
			Suma	8	1

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-10:** Evaluación del peso específico del criterio costo

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					
COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,125
Alternativa 2	0		1	2	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,375
			Suma	6	0,75

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-11:** Evaluación del peso específico del criterio vida útil

Alternativa 3 = Alternativa 1 > Alternativa 2					
VIDA ÚTIL	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,375
Alternativa 2	0		1	2	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,375
			Suma	8	1

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-12:** Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					
CAPACIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,250
Alternativa 2	1		0	2	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,375
			Suma	7	0,875

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-13:** Evaluación del peso específico del criterio mantenibilidad

Alternativa 2 = Alternativa 1 = Alternativa 3					
MANTENIBILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	2	0,250
Alternativa 2	1		0	2	0,250
Alternativa 3	1	0		2	0,250
			Suma	6	0,75

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-14:** Evaluación del peso específico del criterio operabilidad

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1					
OPERABILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,250
Alternativa 2	0		1	2	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,375
			Suma	7	0,875

Realizado por: Loachamin L., 2023

Finalmente, la Tabla 3-18, se examina la matriz de resultados para los cuales se encuentra que tres variantes son la mejor solución para la cual se implementa este diseño de variante ganadora.

**Tabla 3-15:** Matriz de prioridad de soluciones

CRITERIO	Costo	Capacidad	Seguridad	Operabilidad	Mantenibilidad	Resistencia	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1	0,056	0,019	0,083	0,028	0,028	0,046	0,259	3
Alternativa 2	0,083	0,037	0,056	0,028	0,028	0,046	0,278	2
Alternativa 3	0,083	0,056	0,083	0,042	0,028	0,069	0,361	1

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.4. Diseño de materialización

En el proceso de diseño de materialización, se elabora el modelo tridimensional mediante la aplicación de un software de diseño asistido por computadora (CAD). El objetivo principal es alcanzar un diseño virtual que refleje de manera cercana la apariencia final de la máquina. Durante este proceso, se procederá a especificar con detalle los procedimientos de manufactura que serán aplicados a cada componente de la máquina. Esta fase no solo se centra en la representación visual del diseño, sino que también aborda minuciosamente los aspectos técnicos relacionados con la producción y fabricación de cada pieza, asegurando así la coherencia y viabilidad del diseño en términos de manufactura.

#### 3.4.1. Diseño 3D aplicación de software CAD

El modelado tridimensional fue ejecutado utilizando SolidWorks 2024, basándose en la alternativa seleccionada como la ganadora. El producto final se ilustra en la ilustración 3-5.



**Ilustración 3-2:** Modelado CAD

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

### **3.5. Diseño de detalle**

La mejor estructura y conformación del molino de martillos está definido por las tres alternativas ganadoras resultantes de cada módulo analizados con anterioridad, basados en los parámetros con mayor porcentaje de incidencia en el diseño en base a la casa de calidad, el molino constara con 24 martillos y 7 discos y se realizara en un acero inoxidable 304 como indica la norma NTE INEN-ISO 22000 para el sector alimenticio, buscando un aporte ingenieril para microempresas.

#### **3.5.1. Diseño y selección de componentes mecánicos**

En el proceso de diseño de componentes mecánicos, se aplicarán aportes científicos provenientes de textos especializados en diseño de elementos mecánicos, tal como se indicó en la sección previa, junto con los conocimientos adquiridos durante la formación académica en ingeniería mecánica, para el diseño geométrico de los componentes se utilizará el prontuario de máquinas de Larburo y Casillas, finalmente el proceso de selección de componentes normalizados, materiales y espesores se utilizará catálogos de empresas nacionales con mayor índice de reconocimiento.

Los principales elementos de un molino de martillos son:

- ✓ Disco porta martillos
- ✓ Martillos

- ✓ Eje principal
- ✓ Ejes roscados secundarios
- ✓ Rodamientos
- ✓ Criba
- ✓ Discos de seguridad
- ✓ Tolva
- ✓ Bancada
- ✓ Motor
- ✓ Bandas
- ✓ Poleas

### 3.5.2. Cálculo de la capacidad de molienda

Siguiendo los parámetros de la microempresa seleccionada, el principal paso implica en calcular la capacidad del molino de martillos, medida en kilogramos por hora (kg/h). Esta capacidad de molienda depende del producto deseado y se divide en tres categorías: harinas finas de granos secos, trituración gruesa tipo morochillos y hojas secas. La tabla 3-19, proporciona detalles sobre las capacidades específicas para cada tipo de molienda.

**Tabla 3-16:** Capacidad de molienda

Tipo de Molienda	Capacidad [Kg/h]
Harinas finas	140-150
Trituración gruesa tipo morochillo	250-300
Hojas secas	180-200

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.3. Cálculo de la potencia del motor

Se empleará la ley de Rittinger en el cálculo de la potencia del motor, ya que esta ley tiene en cuenta tanto el grano de entrada como el de salida, así como su capacidad de molienda. En base a la tabla 3-19, se seleccionará el parámetro más crítico, que en este caso es la molienda de harinas finas.

- El diámetro de grano después de ser triturado según el parámetro más crítico 2-3mm
- El diámetro de grano antes de ser triturado promedio es 8-9mm

$$W = K_r * \left( \frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right)$$

$$\frac{P}{C} = K_r * \left( \frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right)$$

$$P = 0.1653 * 1,2 * \left( \frac{1}{0.03} - \frac{1}{0.08} \right)$$

$$P = 4.133 \text{ Hp}$$

### 3.5.4. Selección del motor eléctrico

Para elegir el motor adecuado, multiplicamos la potencia calculada del proceso de molienda por un factor de consumo de 1,25 para evitar sobrecargar la cámara de molienda (Budynas).

$$P_m = 1.25 * P$$

$$P_m = 1.2 * 4.133$$

$$P_m = 5.166$$

Donde

$P_m$  = es la potencia requerida por la máquina para prevenir un sobrecargo.

Con el valor calculado de la potencia, se decide optar por un motor eléctrico monofásico de fabricantes reconocidos como es la marca WEG con características detalladas en el catálogo del fabricante "Anexo C".



#### W22 - Eficiencia Premium - 60 Hz

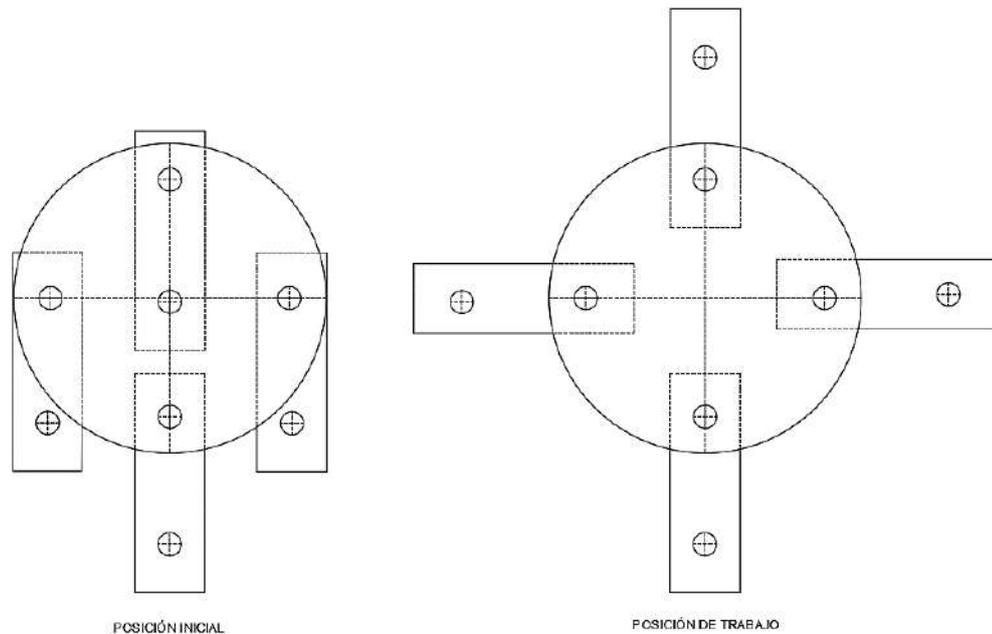
Potencia	Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I <sub>l</sub> /I <sub>n</sub>		Par de arranque T <sub>a</sub> /T <sub>n</sub>	Par máximo T <sub>m</sub> /T <sub>n</sub>	Inercia J (kg·m <sup>2</sup> )	Tiempo máx. con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	460 V								
			Letra	I <sub>a</sub> /I <sub>n</sub>				Caliente	Frio			RPM	% de la potencia nominal		Factor de potencia		Corriente nominal I <sub>n</sub> (A)			
													Rendimiento	Factor de potencia	50	75		100	50	75
1	0,75	143/5T	3,99	L	8,4	3,2	3,5	0,0049	18	40	18,5	51,0	1760	80,0	84,0	85,5	0,55	0,68	0,75	1,47
1,5	1,1	143/5T	6,00	L	8,4	2,5	3,4	0,0060	14	31	22,0	51,0	1755	82,5	85,5	86,5	0,60	0,70	0,79	2,02
2	1,5	143/5T	8,03	K	8,0	2,7	3,2	0,0066	11	24	23,0	51,0	1750	85,5	86,5	86,5	0,57	0,70	0,79	2,76
3	2,2	182/4T	12,0	K	8,1	2,3	3,4	0,0143	23	51	41,0	56,0	1760	87,5	88,5	89,5	0,61	0,73	0,79	3,91
5	3,7	182/4T	20,0	J	7,5	2,3	3,2	0,0169	15	33	43,0	56,0	1755	85,5	89,5	89,5	0,62	0,74	0,80	6,45
7,5	5,5	213/5T	29,9	H	7,1	2,2	3,1	0,0566	20	44	70,0	58,0	1765	89,5	91,0	91,7	0,66	0,76	0,82	9,18
10	7,5	213/5T	39,8	H	6,4	2,0	3,0	0,0637	17	37	78,0	58,0	1765	91,0	91,7	91,7	0,66	0,77	0,83	12,4
15	11	254/6T	59,7	G	6,4	2,3	2,7	0,1104	17	37	114	64,0	1765	91,0	91,7	92,4	0,68	0,78	0,83	18,0
20	15	254/6T	79,6	H	6,9	2,3	2,7	0,1305	15	33	132	64,0	1765	91,7	92,4	93,0	0,68	0,79	0,84	24,1
25	18,5	284/6T	99,5	G	6,2	2,4	2,7	0,2153	24	53	176	64,0	1765	92,4	93,0	93,6	0,70	0,80	0,84	29,5
30	22	284/6T	119	G	6,1	2,4	2,4	0,2467	20	44	198	64,0	1765	93,0	93,0	93,6	0,70	0,80	0,84	35,1
40	30	324/6T	158	G	6,1	2,2	2,4	0,3861	20	44	223	66,0	1775	93,6	94,1	94,1	0,72	0,80	0,85	47,1
50	37	324/6T	198	G	6,2	2,3	2,7	0,3881	15	33	243	66,0	1775	93,0	94,1	94,5	0,66	0,77	0,83	59,2
60	45	364/5T	237	G	6,6	2,4	2,6	0,9448	15	33	394	67,0	1775	94,1	94,5	95,0	0,75	0,83	0,87	68,3
75	55	364/5T	297	G	6,4	2,4	2,6	0,9798	14	31	417	67,0	1775	94,5	95,0	95,4	0,73	0,82	0,86	84,1

**Ilustración 3-3:** Catálogo de motores WEG

Fuente: (Bermeo, 2014)

### 3.5.5. Diseño de martillos

En el proceso de diseño de martillos se evaluará mediante dos posiciones distintas: una posición inicial y una posición final, tal como se ilustra en la figura 3-7. Estas posiciones proporcionarán la capacidad de rotación completa de 360° sin ninguna restricción. La libertad de movimiento angular sin limitaciones permitirá un desplazamiento fluido y versátil del martillo, optimizando su funcionalidad y adaptabilidad en diversas aplicaciones. Este diseño ofrece flexibilidad y eficiencia en el uso del martillo, asegurando un rendimiento óptimo en su posición de trabajo final.



**Ilustración 3-4:** Posiciones de trabajo cámara de trituración

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

### 3.5.5.1. Energía de ruptura

En el proceso de cálculo y dimensionamiento de los martillos, es imperativo determinar la energía de ruptura necesaria para aplastar completamente el grano de maíz. Mediante una prueba experimental se obtienen resultados detallados en los anexos adjuntos.

La prueba experimental consistió en realizar ensayos con diferentes pesos desde una altura específica, con el objetivo de determinar la masa crítica con la cual el grano de maíz se fragmenta completamente. En el diseño de los martillos, se optó por utilizar una masa de prueba de 0.5 kg y dejarla caer desde una altura de 0.15 m "Anexo D".

La ecuación (3), aplicada en este contexto, proporciona la información necesaria para calcular la energía asociada con este proceso experimental y poder dimensionar adecuadamente los martillos para cumplir los parámetros de ruptura del grano de maíz.

$$E_{ruptura} = m_{prueba} * g * h$$

$$E_{ruptura} = 0.7357 [J]$$

### 3.5.5.2. Velocidad tangencial

La velocidad tangencial de los martillos en un molino es un parámetro crucial que puede afectar significativamente el rendimiento del proceso de molienda. La velocidad tangencial se refiere a la velocidad con la que los extremos de los martillos se desplazan a lo largo de una trayectoria circular, mediante la ecuación (4) se calcula la velocidad tangencial.

$$E_c = \frac{1}{2} m_g * v_t^2$$

Para el cálculo de la velocidad tangencial de los martillos se emplea la metodología de calcular la energía cinética e igualar ambas ecuaciones, obteniendo la velocidad tangencial mostrado en la ecuación (5).

$$E_{ruptura} = E_c$$

Se obtendrá una masa promedio de un grano seco de maíz de forma experimental, en base a tesis y análisis experimental se considera una masa del maíz de 0.4g "Anexo E".

$$vt = \sqrt{\frac{m_{prueba} * g * h * 2}{m}}$$

$$vt = \sqrt{\frac{500 * 9.81 * 0,15 * 2}{0,4}}$$

$$vt = 60,65 \text{ m/s}$$

En el diseño de los martillos, se establece una velocidad inicial sin carga. Analizando la suposición que, al aumentar la carga con granos o hojas secas, la velocidad tiende a disminuirse. Para calcular la velocidad con carga, se emplea un factor de fluctuaciones basado en la tabla 3-20, en concordancia con la metodología propuesta por Lasluisa W. (2022), Este factor ajusta la velocidad para reflejar variaciones debidas al aumento de volumen, permitiendo un rendimiento óptimo en condiciones de carga variable.

**Tabla 3-17:** Coeficiente de fluctuaciones

Coeficiente de fluctuaciones	
Tipo de maquinaria	Cs
Máquina de machaqueo	0,200
Maquina eléctrica	0,003
Maquina eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,025
Transmisión rueda dentada	0,020
<b>Martillos</b>	<b>0,200</b>
Maquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030-0,050
Maquinaria de corte	0,030-0,050
Maquinaria hilanderas	0,01-0,02
Maquinaria textil	0,025

Fuente: (Bermeo C., 2014)

Realizado por: Loachamin L., 2023

Como se observa en la tabla 3-20, se tiene valores referenciales para maquinarias de martillos que es 0,020

En base a la ecuación 22 y realizando el despeje de la velocidad con carga se obtiene el siguiente resultado.

$$V_c = -vt - \frac{Cs - 2}{Cs + 2} \quad ( 22 )$$

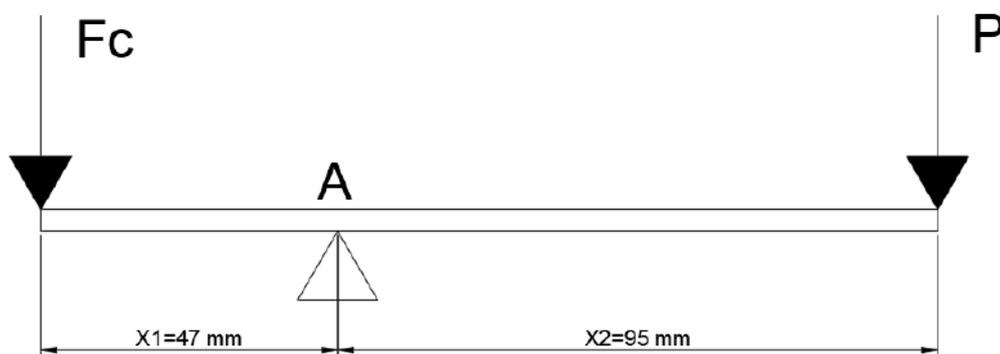
$$V_c = 59,4490 \text{ m/s}$$

### 3.5.5.3. Cálculo de la fuerza trituración de granos secos

Para determinar la fuerza de corte (Fc) en granos secos, considerados como el componente más crítico a triturar en nuestro molino de martillos, se llevó a cabo un experimento utilizando un playo, alicate y principios de estática. Debido a la falta de disponibilidad del laboratorio de materiales, se ideó un procedimiento práctico "Anexo F".

En este enfoque experimental, se coloca un alicate sobre el gancho de una pesa y procedemos a ejercer una fuerza (P), obteniendo la trituración del grano seco de prueba. Este análisis se repetirá con 10 tipos diferentes de granos. El proceso, basado en conceptos estáticos y herramientas simples como el playo y el alicate, proporcionará datos cruciales para calcular la fuerza de corte necesaria para triturar eficientemente los granos secos en el molino de martillos.

Terminado el proceso experimental, la fuerza obtenida no es considerada para la trituración de granos, La fuerza real de trituración se calcula mediante un diagrama de cuerpo libre del alicate, empleando la estática de fuerzas de máquinas simples como se observa en la figura 3-8.



**Ilustración 3-5:** Análisis estático fuerza de trituración

Realizado por: Loachamin L., 2023

Se realiza una sumatoria de momentos en el punto A del diagrama de cuerpo libre de la figura 3-8, obtenemos la siguiente ecuación

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ F_c * x_1 &= P * x_2 \\ F_c &= \frac{P * x_2}{x_1} \end{aligned}$$

Realizando el despeje respectivo y reemplazando la fuerza obtenida experimentalmente se adjunta en la tabla 3-21, se realiza un promedio entre los diez datos de granos diferentes, obteniendo un promedio de  $F_c = 30N$ .

**Tabla 3-18:**Fuerza de aplastamiento

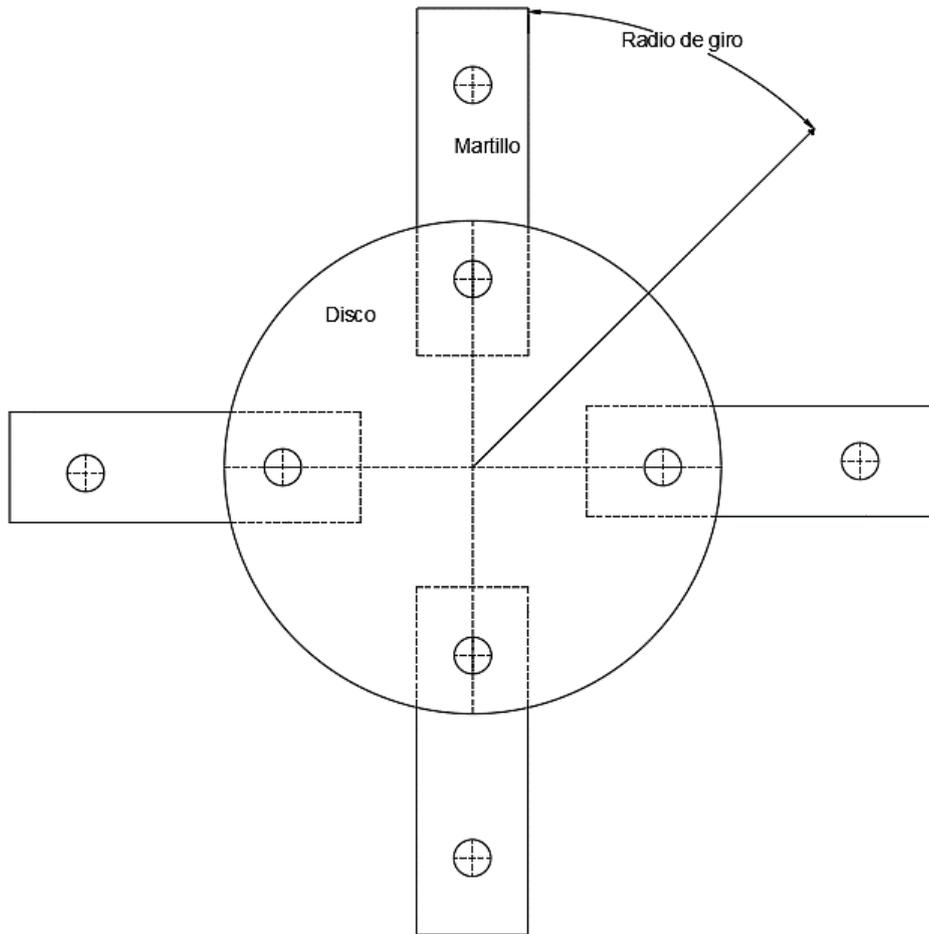
Tipo de producto	Fuerza P (N)	Fuerza trituración Fc (N)
Maíz	14,72	29,74
Morochillo	12,75	25,78
Garbanzo	11,77	23,79
Frejol	11,77	23,79
Hojas secas	1,96	3,97
Cebada	4,91	9,91
Alverja	12,75	25,78
Quinoa	8,83	17,85
Morocho	16,68	33,71
Café	27,47	27,76

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 3.5.5.4. Radio de giro del sistema

Al calcular el radio exterior del sistema, es fundamental determinar la velocidad de la fuente impulsora, que en este caso es el motor eléctrico. Como se mencionó anteriormente, el motor seleccionado tiene una potencia nominal de 1750 rpm. La ilustración 3-9 muestra el radio de giro

del sistema medido desde el centro del eje de la máquina hasta el borde del martillo, mediante la ecuación (23) se puede calcular el radio de giro requerido.



**Ilustración 3-6:** Radio de giro cámara de trituración

Realizado por: Loachamin L., 2023

$$rg = \frac{Vc}{\omega} \quad ( 23 )$$

$\omega$  = velocidad angular (183,2595 rad/s)

rg = Radio de giro

$$rg = 0,297m \approx 0,30m$$

El valor obtenido mediante la aplicación de la ecuación (23) se puede considerar un valor de referencia para el diseño de la cámara de trituración, en nuestro trabajo de integración curricular trabajaremos con un radio de giro de 158 mm, optimizando costos y garantizando efectividad de la máquina.

### 3.5.5.5. Cálculo de la aceleración angular del sistema

El cálculo de los martillos es fundamental adquirir el conocimiento de la aceleración angular y velocidad angular, este se logra mediante la aplicación de la fórmula (24) y (25), derivada del estudio del Movimiento Circular Uniformemente Variado (MCUV).

$$\omega_t^2 = \omega_c^2 + 2 * \alpha * \theta \quad ( 24 )$$

Previamente se calcula la velocidad angular de posición inicial y posición de funcionamiento

$$rg = \frac{V_t}{\omega_t}$$

$$\omega_t = 383.86 \text{ rad/s}$$

$$rg = \frac{V_c}{\omega_c}$$

$$\omega_c = 376.2601 \text{ rad/s}$$

Despejando la ecuación del MCUV se obtiene la aceleración angular del sistema

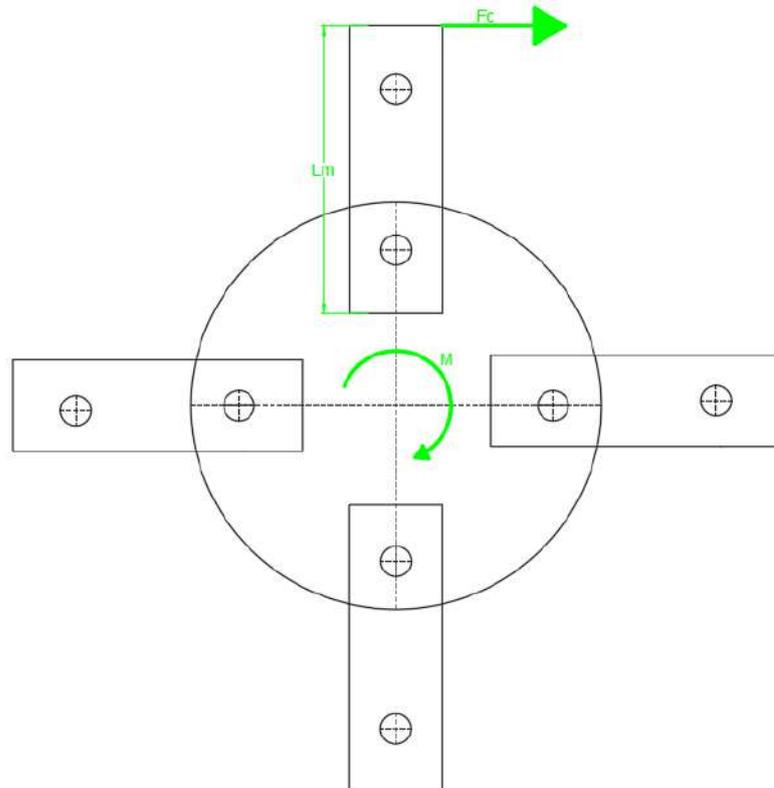
$$\alpha = \frac{\omega_t^2 - \omega_c^2}{2 * \theta} \quad ( 25 )$$

Para el cálculo de  $\theta$  se considera que existen 4 martillos, cada uno a 90 grados en posición de funcionamiento, por lo tanto  $\theta = 1,5708 \text{ (rad)}$

$$\alpha = 1838,82 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

#### 3.5.5.6. Masa del martillo

Cuando el martillo gira con respecto al centro de rotación con una velocidad angular recalculada, se genera un par cuando entra en contacto con las hojas secas como resultado de la fuerza que actúa sobre la hoja durante el impacto del martillo. Este fenómeno se describe en detalle en la ilustración 3-10.



**Ilustración 3-7:** Fuerzas actuantes cámara de trituración

Realizado por: Loachamin L., 2023

En la figura 3-10, observamos el momento y la fuerza por lo cual realizando sumatoria de momento en el eje principal obtenemos la ecuación (26).

$$M = F_c * L \quad ( 26 )$$

El momento de inercia del martillo esta dado mediante esta ecuación:

$$M = I * \alpha$$

La inercia del martillo (I) que gira con respecto a su extremo está representado por la siguiente ecuación (27):

$$I = \frac{1}{3} * m_m * L^2 \quad ( 27 )$$

Igualando las ecuaciones (26) y (27) se obtienen la ecuación (28).

$$F_c = \frac{I * \alpha}{Lm} \quad ( 28 )$$

Remplazando la ecuación (27) y (28) obtenemos la ecuación (29).

$$m_m = \frac{F_c * 3}{\alpha * L} \quad ( 29 )$$

Donde

$F_c$ = fuerza para provocar trituración del grano

$m_m$ = masa del martillo

L= longitud del martillo

$\alpha$ = aceleración angular del martillo

Al considerar el valor óptimo de radio de giro, se selecciona una longitud de 120 mm como la medida apropiada para el martillo. Con todos los parámetros calculados, procedemos a determinar la masa del martillo utilizando la ecuación (29).

$$m_m = 0,4078 [kg]$$

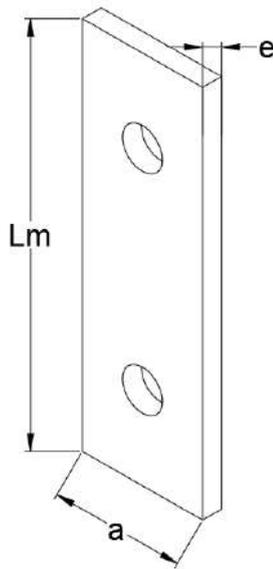
### 3.5.5.7. Dimensionamiento del martillo

Al realizar el dimensionamiento de los martillos trituradores, se procederá a la utilización de la densidad descrita en la ecuación (30).

$$\rho = \frac{m_m}{v} \quad ( 30 )$$

Al ser elementos en contacto con alimentos se utiliza un acero inoxidable 304 según la norma INEN, debido a su alta resistencia a la corrosión por agua, sales y ataques químicos ambientales y su densidad. de 8000[kg/ m<sup>3</sup>].

El volumen del martillo se determina mediante su longitud, anchura y espesor, como se muestra en la ilustración 3-11. remplazando estos valores en la ecuación (30) de densidad, se obtiene la ecuación (31) que posibilita el cálculo de la anchura del martillo.



**Ilustración 3-8:** Dimensionamiento del martillo

Realizado por: Loachamin L., 2023

$$a = \frac{m_m}{\rho * L * e} \quad ( 31 )$$

El espesor del martillo es importante para la trituración de los granos secos teniendo un ancho efectivo de 6mm en función al ancho de un grano seco promedio.

En la fabricación eficiente de los martillos, se sugiere utilizar platina de acero inoxidable 304. Es importante dimensionar en catálogos existentes en mercados nacionales. Se selecciona un espesor de 6 mm para asegurar la adecuada resistencia y funcionalidad del martillo durante su aplicación, estos valores serán verificado en cálculos posteriores.

Obtenidos y remplazando a la ecuación (31) se obtiene el ancho de la platina:

$$a = 0,0070 \text{ m}$$

Para la selección de la platina en acero inoxidable 304, se selecciona del catálogo de lata demanda de comercio nacional como se muestra en la figura 3-12.

DIMENSIONES			PROPIEDADES
	ANCHO (a)	ESPESOR (e)	PESO
Plg.	mm	mm	Kg/mts
1"	25.4	3	
1 1/2"	38.1	3	0.955
1 1/2"	38.1	4	1.195
1 1/2"	38.1	6	1.920
2"	50.8	3	1.1860
2"	50.8	4	1.560
2"	50.8	6	2.386

**Ilustración 3-9:** Catálogo Dipac

Fuente: Loachamin L., 2023

### Dimensiones del martillo

- Longitud del martillo= 120mm
- Ancho= 38,1 mm
- Espesor= 6mm
- Material= acero inoxidable 304
- Densidad= 0,01 g/mm<sup>3</sup>
- Resistencia a la fluencia (Sy)= 276 MPa

#### 3.5.5.8. Análisis de falla por tracción

En el análisis de falla por tracción en el martillo, es esencial examinar las fuerzas, especialmente las generadas por la fuerza centrífuga durante la operación de la máquina. Este proceso implica evaluar las fuerzas que actúan en el martillo para identificar posibles puntos de debilidad o fallo en el componente.

En nuestro análisis consideraremos el peso de martillo, debido que se obtendrá una mayor seguridad en el diseño del martillo, para un adecuado cálculo de esfuerzo de tracción se emplea la ecuación (32).

$$\sigma = \frac{Fy}{At} = \frac{Fcf + w}{At} \quad ( 32 )$$

Según autores la fuerza centrífuga es calculado mediante la ecuación (33):

$$Fcf = \omega_c^2 * m_m * rg \quad ( 33 )$$

Remplazando en la ecuación (33) se obtiene una fuerza centrífuga de:

$$Fcf = 8947,3290 [N]$$

Para el cálculo del área transversal se calcula el ancho multiplicado por el espesor del martillo triturador

$$A_t = 0,000286 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituimos los valores calculados en las ecuaciones (32) y (33), obteniendo un esfuerzo normal resultante con relación a los esfuerzos de tracción.

$$\sigma = 38,16 \text{ [MPa]}$$

El martillo puede fallar debido a esfuerzos de tracción, por lo que se debe calcular un factor de seguridad adecuado para demostrar que no está sobre dimensionado y garantizar que los elementos no fallen. En el análisis de tracción se observa un elevado factor de seguridad, pero en los cálculos por falla a corte comprobaremos si el martillo está o no sobredimensionado.

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Teniendo los valores del límite de fluencia del acero inoxidable AISI 304, se obtiene un factor de seguridad es:

$$n = 7,23$$

### 3.5.5.9. Análisis de falla por cizalladura en el martillo

Cuando la placa del martillo presenta agujeros para la fijación en los discos porta-martillos, exista la tendencia a tener un fallo por cizalladura en zonas críticas del martillo. Se procederá a analizar detenidamente uno de los extremos para evaluar la posible ocurrencia de dicho fallo.

Se emplea la ecuación (34) en el cálculo del área con tendencia a fallar, obteniendo un valor como se lo indica.

$$A_p = (a - d) * e \tag{ 34 }$$

$$A_p = 0,0001524 \text{ [m}^2\text{]}$$

La ecuación (35), permitirá calcular el esfuerzo cortante obteniendo un resultado de:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_p} \tag{ 35 }$$

$$\tau = 71,59 \text{ [MPa]}$$

Para determinar si las dimensiones del martillo son apropiadas, se realiza el cálculo de un factor de seguridad, el cual debe situarse por encima de uno para garantizar la resistencia adecuada. Sin embargo, es importante que este factor de seguridad no exceda límites evaluado en fuentes bibliográficas, debido que esto podría indicar un sobre dimensionamiento del componente diseñado. El análisis del factor de seguridad garantiza un diseño óptimo y eficiente en el martillo triturador al ser un componente importante requiere de un diseño adecuado.

$$n = \frac{S_y}{2 * \tau}$$

$$n = 1,92$$

Obteniendo un factor de seguridad tanto a falla por tracción y falla por cizalladura como se observa en la tabla 3-22, se puede decir que el diseño garantiza que el martillo tenga la resistencia adecuada para su funcionamiento.

**Tabla 3-19:** Factores de seguridad de los martillos

Tipo de falla	Factor de seguridad
Falla por tracción	7,23
Falla por cizalladura	1,92

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.6. Cálculo del número de martillos

Para realizar un adecuado calculo de numero de martillos es importante relacionarlos con las RPM del motor, capacidad y granos a triturar.

Para calcular el número de martillos se realizará de manera experimental considerando el número de granos que existe en una libra de un grano seco, para el respectivo calculo utilizaremos el maíz ver "Anexo E" considerando que existe un promedio de 1800-2100 granos en una libra, realizamos el respectivo calculo.

$$150 \frac{kg}{h} * \frac{100gramos}{1kg} * \frac{1h}{60min} = 2500 \frac{gramos}{min}$$

$$\frac{3granos}{1 gramo} * \frac{2500gramo}{min} = \frac{7500granos}{min}$$

$$\frac{\frac{7500granos}{min}}{1750revoluciones}{min} = 4,28$$

Mencionado con anterioridad el grado de trituración es importante, en base a varias fuentes bibliográficas se lo calcula con relación entre el grano de entrada y grano triturado como se observa en la ecuación (36).

$$i = \frac{D}{d} \tag{ 36 }$$

Realizando el respectivo cálculo se obtiene un grado de trituración de:

$$i = 6$$

$$\# \text{ martillos} = 4.28 * 6 \approx 24 \text{ martillos}$$

Para optimizar el rendimiento de nuestro molino de martillos, hemos decidido emplear un conjunto de veinte y cuatro martillos, distribuidos equitativamente con cuatro martillos en cada uno de los siete discos. Esta disposición no solo busca aumentar la rigidez en la cámara de trituración, sino también mejorar la eficiencia en el proceso de trituración de granos secos o hojas. Este enfoque está diseñado para asegurar una operación eficaz y cumplir con la capacidad especificada en los parámetros de diseño.

### 3.5.7. Selección de separadores de martillos

Los separadores utilizados en el molino son bocines de acero inoxidable 304, diseñados para mantener una distancia uniforme entre los martillos y prevenir fricciones o acumulación de material triturado. Según las recomendaciones de Bermeo C. (2014), se prefieren materiales livianos para minimizar la carga en los ejes secundarios.

Siguiendo estándares de la industria, la distancia entre separadores debe ser tres veces el espesor del martillo. Considerando un espesor de martillo de 6 mm, se necesitan separadores de 18 mm. La selección se realizará a partir del catálogo del mercado nacional, optando por separadores normalizados adecuados al diseño ver ilustración 3-13.

DIMENSIONES		PROPIEDADES		
DIÁMETRO Ø		ESPESOR (e)	PESO	ÁREA SECCIÓN
Plg.	mm	mm	Kg/mts	Plg <sup>2</sup>
1"	25.4	1.2	0.7235	0.1414
1"	25.4	1.5	0.8391	0.1745
1"	24.4	2	1.1659	0.2278
1 1/4"	31.75	1.2	0.9148	0.1785
1 1/4"	31.75	1.5	1.1323	0.2209
1 1/2"	38.1	1.5	1.3677	0.2673
1 1/2"	38.1	1.2	1.1031	0.2156
2"	50.8	1.2	1.4828	0.2898
2"	50.8	1.5	1.8423	0.3600
2"	50.8	2	2.4315	0.4752

**Ilustración 3-10:** Catálogo Dipac diámetro de ejes

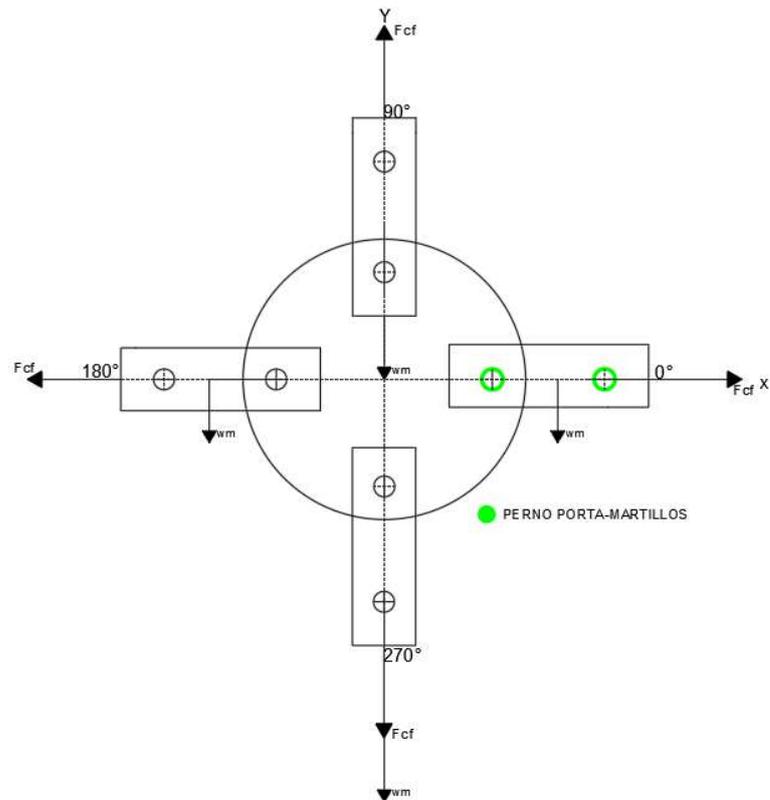
Fuente: Loachamin L., 2023

La selección adecuada en base a los criterios mencionados con anterioridad procedemos a la selección de una tubería redonda de acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio de diámetro una pulgada por dos milímetros de espesor.

### 3.5.8. Diseño del perno porta-martillos

En el análisis del diseño del eje porta martillos, se aborda la consideración de un eje sometido a carga estática, ya que permanece fijo y no experimenta rotación, eliminando así la posibilidad de fatiga. No obstante, se plantea la necesidad de evaluar el eje bajo cargas de flexión y corte. En este contexto, es esencial determinar la fuerza de corte y el momento máximo que actúan sobre el perno para garantizar un diseño adecuado.

El diseño del perno que estamos desarrollando tiene la capacidad de soportar seis martillos, cada uno respaldado por un disco para mejorar la rigidez, tal como se ilustra en la ilustración 3-14.



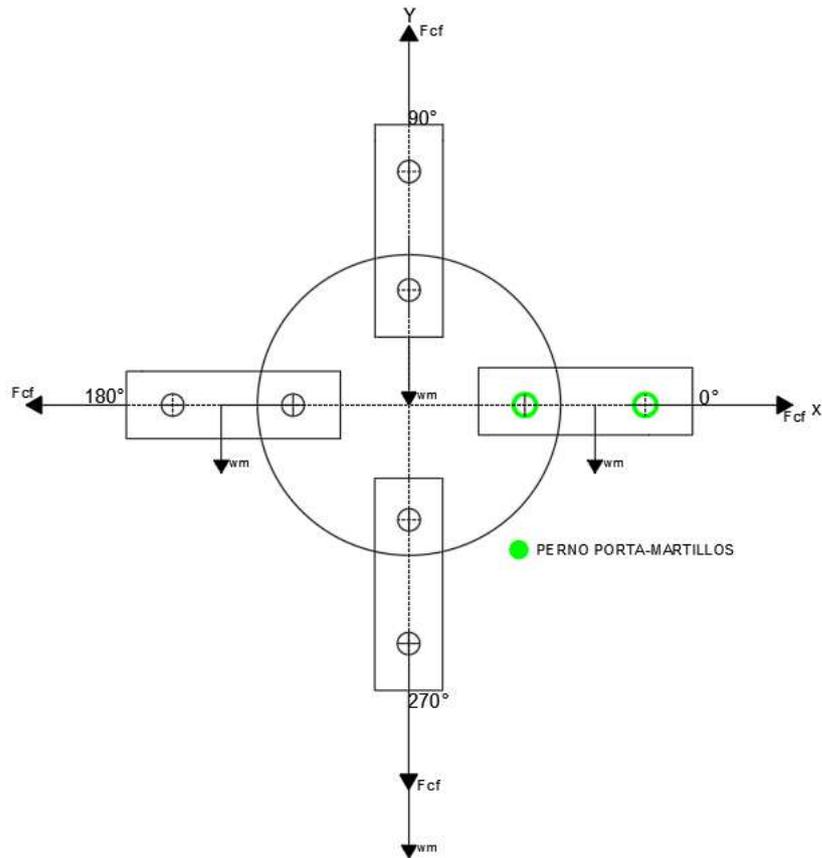
**Ilustración 3-11:** Martillos trituradores

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

Con el objetivo de evitar que el sistema sea hiperestático, llevamos a cabo un análisis en un tramo específico del eje en la suposición de que va actuar en cada tramo de los discos de igual forma por lo cual se considera cada disco como un punto de apoyo. Dada la configuración de nuestro diseño, realizamos dos análisis distintos: uno cuando el martillo está adyacente a un extremo del disco y otro cuando está vinculado al extremo opuesto del mismo.

Se llevará a cabo una selección basada en el momento más crítico obtenido de estos análisis. Este procedimiento se realiza en un solo tramo, ya que se anticipa que los resultados serán análogos en los demás tramos del perno.

La ilustración 3-15, muestra los martillos en acción y las fuerzas que actúan sobre el sistema triturador. La fuerza centrífuga surge de la dinámica inherente del sistema y tiene características similares a las de una bomba centrífuga, considerando el peso de cada martillo dirigido hacia el centro de la tierra.



**Ilustración 3-12:** Diseño del perno porta-martillos

Realizado por: Loachamin L., 2023

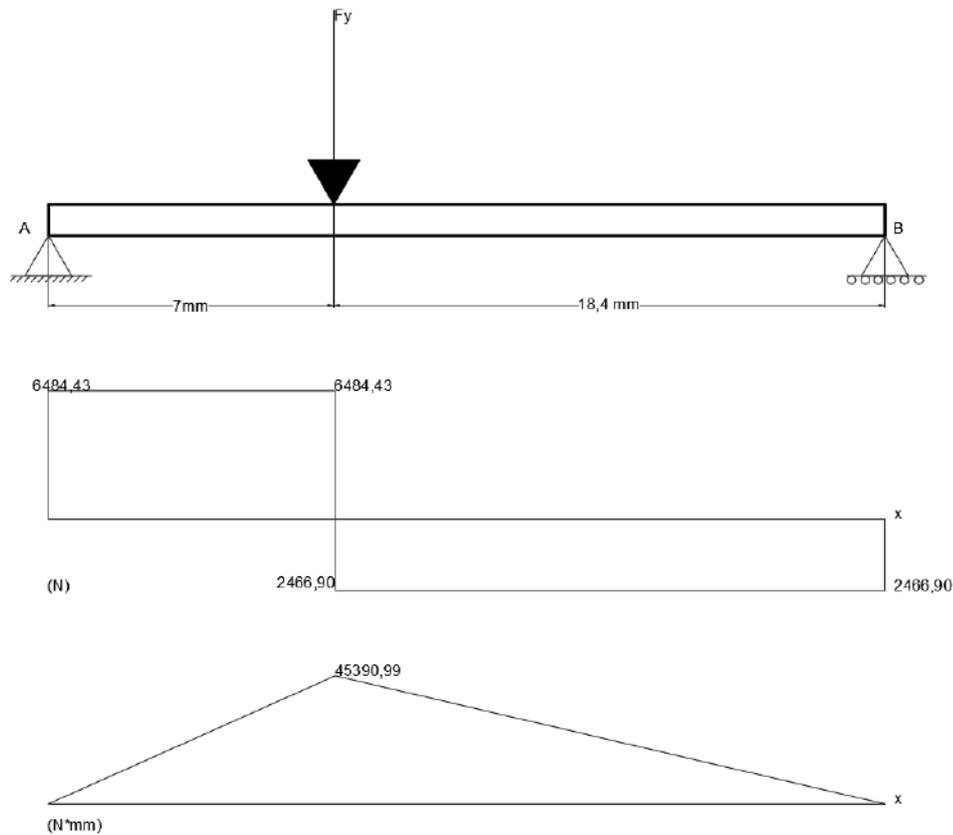
Al realizar una sumatoria de fuerzas, conforme se ilustra en la ilustración 3-15, se observa que la fuerza centrífuga y el peso del martillo actúan en la misma dirección, en dirección hacia el centro de la tierra ( $270^\circ$ ).

Mediante la consideración graficas se puede indicar que la fuerza más crítica es la resultante de la combinación de la fuerza centrífuga y el peso del martillo como indica la ilustración 3-15 en dirección hacia abajo, obteniendo una fuerza critica de:

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

$$F_{y270^\circ} = 8951,3295 [N]$$

Se observa en la ilustración 3-16, los respectivos diagramas realizados para el cálculo del diámetro de los pernos porta-martillos.



**Ilustración 3-13:** Diagrama de cortante y momento flector perno porta-martillos

Realizado por: Loachamin L., 2023

Realizados los diagramas de momento cortante y momento flector, se obtiene el momento flector máximo, para proceder al cálculo de los esfuerzos con el fin de determinar el diámetro necesario para nuestro perno.

### 3.5.8.1. Esfuerzo máximo de flexión

La ecuación (7), permite el cálculo de máximo esfuerzo de flexión, lo cual dejaremos en términos de la variable a calcular en nuestro caso el diámetro.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{32(45390,99)}{\pi * d^3}$$

### 3.5.8.2. Esfuerzo cortante

La ecuación (8), permite el cálculo del esfuerzo cortante, lo cual dejaremos en términos de la variable a calcular en nuestro caso el diámetro.

$$\tau = \frac{4(6484,43)}{\pi * d^2}$$

### 3.5.8.3. Cálculo del diámetro del perno

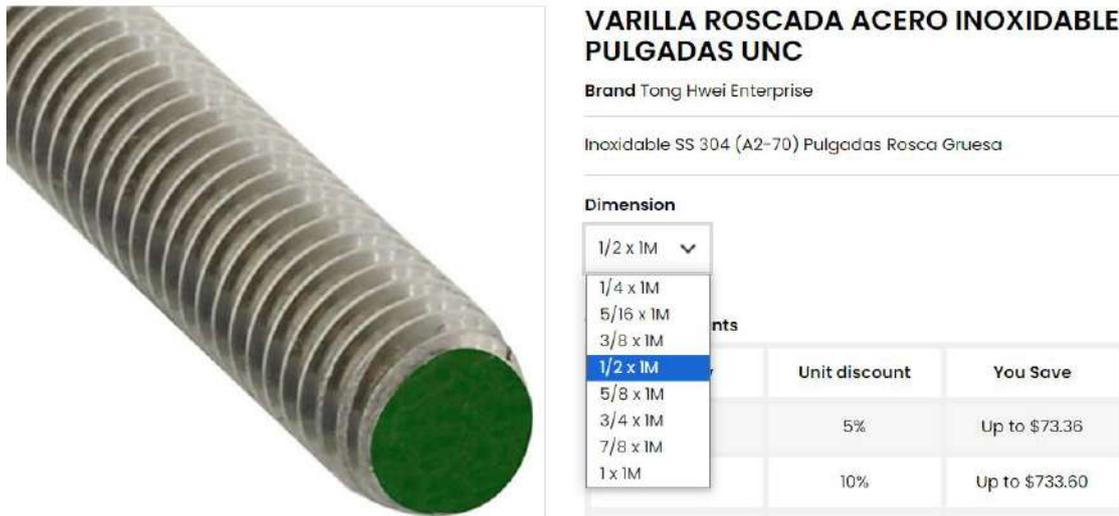
La ecuación (9), indica el método de la teoría de distorsión de Von Mises, que permite el cálculo del diámetro requerido, se considera un factor de seguridad de 1,5 garantizando obtener un perno porta-martillos que no fallara a carga estática y no se encuentre sobredimensionado

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{\left(\frac{32(45390,99)}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{4(6484,43)}{\pi * d^2}\right)^2} = \frac{276}{1,5}$$

$$d = 13,98 \text{ mm}$$

Obteniendo el valor de diámetro de 13,98 mm, nos dirigimos a un catálogo de varillas roscadas estandarizadas para seleccionar un diámetro adecuado y proceder a recalcular el factor de seguridad.



**Ilustración 3-14:** Catálogo casa del perno

Fuente: Loachamin L., 2023

De acuerdo con el catálogo de la casa del perno existe la disponibilidad de eje roscado de 12,7 mm, como se observa en la ilustración 3-17, lo cual es muy próximo a nuestro diámetro calculado.

#### 3.5.8.4. Cálculo del factor de seguridad

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{(225,7140)^2 + 3(51,188)^2} = \frac{276}{n}$$

$$n = 1,13$$

Finalmente recalculando el factor de seguridad se obtiene un factor de seguridad de 2,08, garantizando que el eje roscado secundario porta-martillos no fallara.

#### Dimensiones del eje roscado porta-martillos

- Longitud: 200 mm.
- Diámetro: 12,7 mm.
- Material: Acero inoxidable 304.
- Fabricación según la norma DIN 931.

### 3.5.9. Cálculo de poleas y correas

En el proceso de elegir la correa más adecuada, es imperativo tener claramente establecidos tanto la potencia de diseño como las revoluciones necesarias como se observa en la tabla 3-23. En nuestro proyecto hemos optado por utilizar bandas trapezoidales, con el objetivo de contar con una banda que esté fácilmente disponible en el mercado nacional, llevaremos a cabo la selección en base a los parámetros que se proporciona en el catálogo OPTIBELT (GmbH, 2019).

#### 1.- Parámetros de selección

**Tabla 3-20:** Parámetros para selección de bandas y poleas

Datos de diseño	
Potencia requerida	5Hp
Velocidad del motor	1750 RPM
Velocidad requerida	1750 RPM

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 2.- Potencia de diseño

En la ilustración 3-18, del manual de OPTIBELT, se selecciona un factor de servicio de 1.5, en base que la maquina funcionara con un motor monofásico en un tiempo de 10 a 16 horas, destinado para la industria de trituración.

Examples for work machines	Examples for drive machines					
	Load factor $\epsilon_1$ for daily operating time (hours)			Load factor $\epsilon_2$ for daily operating time (hours)		
	up to 10	over 10 to 16	over 16	up to 10	over 10 to 16	over 16
<b>Light drives</b> Centrifugal pumps and compressors, belt conveyors (light weight materials), fans and pumps up to 7.5 kW	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
<b>Medium drives</b> Plate cutters, presses, chain and belt conveyors (heavy materials), vibrating screens, generators and exciters, bakery machinery, machine tools (lathes and grinders), laundry machines, printing machinery, fans and pumps over 7.5 kW	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
<b>Heavy drives</b> Crushing plants, piston compressors, heavy-duty conveyors, directional throw conveyors, push conveyors (screw, plate belts, bucket and shovel conveyors), lifts, briquette presses, textile machinery, paper machinery, piston pumps, excavator pumps, log frame saws, hammer mills	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
<b>Very heavy drives</b> Heavy-duty mills, stone crushers, calenders, mixers, winches, cranes, excavators, heavy-duty wood working machinery	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

**Ilustración 3-15:** Factor de desarrollo

Fuente: (GmbH, 2019)

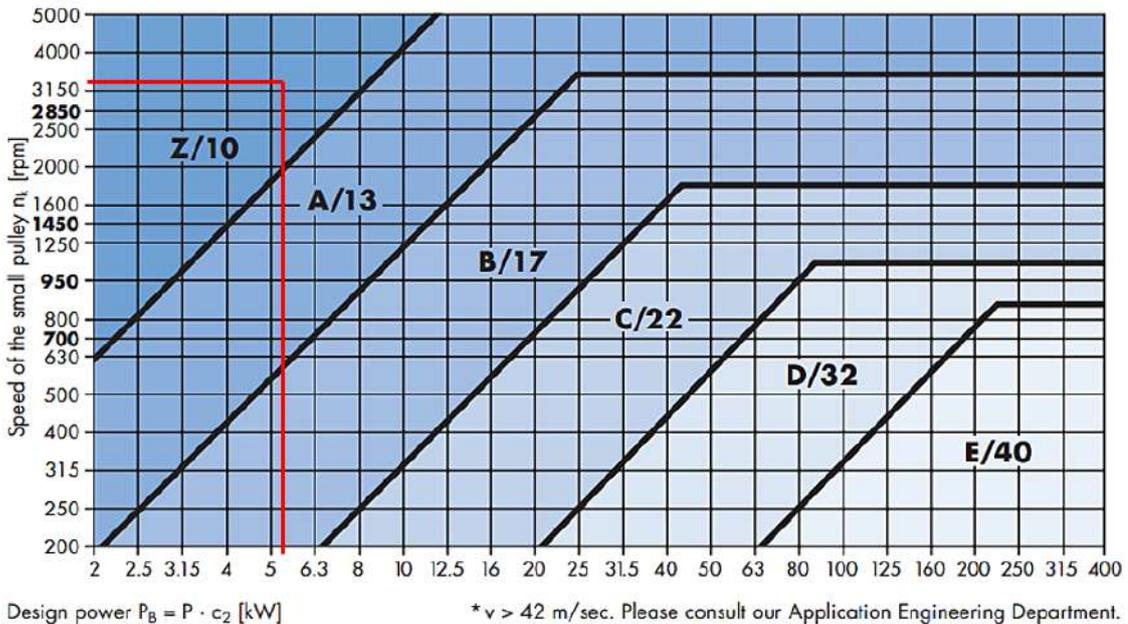
$$Pd = HP * fs$$

$$Pd = 5 * 1,5$$

$$Pd = 7,5 Hp = 5,59 KW$$

### 3.- Selección del tipo de sección

Diagram 1: optibelt VB classic V-belts DIN 2215



### Ilustración 3-16: Secciones de bandas

Fuente: (GmbH, 2019)

En base a la ilustración 3-19, el tipo de correa se selecciona en función de la potencia de diseño calculada y de la velocidad del eje más rápido, seleccionando un tipo de banda “A/13” clásica.

### 4.- Relación de transmisión

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1750}{1750} = 1$$

### 5.- Diámetro de la polea conductora y conducida

$$i = \frac{D_{p_e}}{D_{p_m}}$$

Para acortar espacios de poder cumplir la relación de transmisión calculada el manual recomienda escoger la polea conductora, para posteriormente calcular el diámetro de la polea conducida.

$$D_{p_m} = 150 \text{ mm (segun manual)}$$

$$i = 1 = \frac{D_{p_e}}{80 \text{ mm}}$$

$$D_{p_e} = 150 \text{ mm}$$

Estandarizando el diámetro del eje al catálogo tenemos un diámetro de 150 mm

Recalculando la relación de transmisión y las revoluciones por minuto requeridas obtenemos una relación de transmisión de dos y 1750 RPM.

### 6.- Distancia entre centros

$$CC_{p_{\min}} = 0,7(D_{p_e} + D_{p_m})$$

$$CC_{p_{\min}} = 0,7(150 + 150)$$

$$CC_{p_{\min}} = 210 \text{ mm}$$

$$CCp_{m\acute{a}x} = 2(Dp_e + Dp_m)$$

$$CCp_{m\acute{a}x} = 2(300)$$

$$CCp_{m\acute{a}x} = 600 \text{ mm}$$

De acuerdo con el fabricante la distancia entre centros de las poleas tenga un rango máximo y mínimo, en nuestro proyecto escogeremos la distancia entre centros de 600 mm.

#### 7.- Longitud de la correa

$$Lr = 2 * CC + (1.57 * (Dp_m + Dp_e)) + \frac{(Dp_e - Dp_m)}{4 * CCp}$$

$$Lr = 2 * 606 + (1.57 * (150 + 150)) + \frac{(150 - 150)}{4 * 600}$$

$$Lr = 1671 \text{ mm}$$

$$Ln = 1690,53 \text{ mm}$$

#### 8.- Corrección de la distancia entre centros

$$CC = \frac{a + \sqrt{a^2 - 8(Dp_m - Dp_e)^2}}{8}$$

$$a = 2Ln - \pi(Dp_e + Dp_m)$$

$$a = 2357,522$$

$$CC = 589,38 \text{ mm}$$

#### 9.- Angulo de contacto

$$\theta = 180^\circ - 2\alpha$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{D - d}{2 * CC}$$

$$\theta = 180^\circ - 0$$

$$\theta = 180^\circ$$

#### 10.- Numero de correas

$$z = \frac{P}{C1 * C3 * Pd}$$

Donde

C1 = Factor de ángulo de carga

C3 = Factor de desarrollo

$P_N$  = Potencia máxima de la banda

- Factor de ángulo de carga

$$\frac{Dp_e - Dp_m}{CC} = 0$$

$$\theta = 180^\circ$$

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	$c_1$
0	180°	1.00
0.05	177°	1.00
0.10	174°	1.00
0.15	171°	1.00
0.20	168°	0.99
0.25	165°	0.99
0.30	162°	0.99
0.35	160°	0.99

**Ilustración 3-17:** Factor de ángulo de carga

Fuente: (GmbH, 2019)

En la tabla, si no existe el valor exacto calculado, se debe interpolar entre los valores aproximados externos, por lo tanto,  $C_1 = 1$  para un ángulo de 180°

- Factor de desarrollo

En base a la ilustración 3-21, observamos que para una longitud de correa de 1650 mm se obtiene un factor  $C_3 = 1$

Profile 5*		Profile Y/6*		Profile 8		Profile Z/10, ZX/X10		Profile A/13, AX/X13		Profile B/17, BX/X17		Profile 20	
Datum length [mm]	$c_3$	Datum length [mm]	$c_3$	Datum length [mm]	$c_3$	Datum length [mm]	$c_3$	Datum length [mm]	$c_3$	Datum length [mm]	$c_3$	Datum length [mm]	$c_3$
172	0.87	280	0.97	299*	0.86	422*	0.86	660	0.80	900	0.81	948	0.75
202	0.91	295	0.99	334*	0.88	447*	0.87	740	0.82	990	0.83	998	0.76
248	0.95	315	1.00	374*	0.91	472*	0.88	780	0.83	1040	0.84	1048	0.77
277	0.97	330	1.01	419*	0.93	497*	0.89	830	0.85	1100	0.85	1168	0.79
292	0.99	350	1.02	444*	0.94	522*	0.90	880	0.86	1140	0.85	1228	0.80
312	1.00	370	1.04	469*	0.95	552*	0.92	930	0.87	1220	0.87	1298	0.81
327	1.01	390	1.05	494*	0.97	582*	0.93	980	0.88	1290	0.88	1368	0.82
334	1.01	415	1.06	549*	0.99	622	0.94	1030	0.89	1360	0.89	1448	0.83
347	1.02	440	1.07	579*	1.00	652	0.95	1090	0.90	1440	0.90	1548	0.85
364	1.03	465	1.09	594*	1.01	692	0.96	1150	0.91	1540	0.92	1648	0.86
387	1.05	490	1.10	619*	1.01	732	0.98	1210	0.92	1640	0.93	1848	0.88
418	1.06	515	1.11	649*	1.02	822	1.00	1280	0.94	1740	0.94	2048	0.91
437	1.07	555	1.13	689*	1.04	847	1.01	1350	0.95	1840	0.95	2168	0.92
487	1.10	615	1.15	729*	1.05	887	1.02	1430	0.96	1940	0.97	2298	0.93
512	1.11	725	1.19	769*	1.06	922	1.02	1530	0.97	2040	0.98	2408	0.94
524	1.11	765	1.20	819*	1.08	947	1.03	1630	0.99	2160	0.99	2548	0.95
542	1.12	865	1.23	869	1.09	997	1.04	1730	1.00	2280	1.00	2698	0.96
566	1.13			894	1.10	1022	1.05	1830	1.01	2400	1.01	2848	0.98
612	1.15			919	1.10	1082	1.06	1930	1.02	2590	1.03	3048	0.99
				969	1.11	1142	1.07	2030	1.03	2690	1.04	3198	1.00
				1019	1.13	1172	1.08	2150	1.05	2840	1.05	3398	1.01
				1139	1.15	1202	1.08	2270	1.06	3040	1.06	3598	1.03
				1269	1.18	1272	1.10	2390	1.07	3190	1.07	3798	1.04
				1339	1.19	1342	1.11	2530	1.08	3390	1.09	4048	1.05
				1419	1.20	1422	1.12	2680	1.10	3590	1.10	4298	1.06
				1519	1.22	1522	1.14	2830	1.11	3790	1.11	4548	1.08
						1622	1.15	3030	1.12	4040	1.13	4798	1.09
								3180	1.14	4290	1.14	5048	1.10
								3380	1.15	4540	1.15	5348	1.11
								3780	1.17	4790	1.17	5648	1.13
								4030	1.19	5040	1.18	6048	1.14
								4530	1.22	5340	1.19	6348	1.15
								5030	1.24	5640	1.20	7148	1.18
										6040	1.22	8048	1.21
										6340	1.23		

**Ilustración 3-18:** Factor de desarrollo

Fuente: (GmbH, 2019)

- Potencia máxima de la banda según optibeltVB

Pulley v [m/s]	n <sub>k</sub> [min <sup>-1</sup> ]	Datum diameter of small pulley d <sub>sk</sub> [mm]									Additional power [kW] per belt for speed ratio			
		45	50	56	63	71	80	90	100	112	1.01 to 1.05	1.06 to 1.26	1.27 to 1.57	> 1.57
Statically balanced	700	0.18	0.22	0.28	0.34	0.42	0.50	0.59	0.67	0.77	0.00	0.02	0.03	0.03
	950	0.22	0.28	0.35	0.44	0.53	0.64	0.75	0.86	1.00	0.00	0.02	0.04	0.04
	1450	0.29	0.38	0.48	0.60	0.74	0.89	1.06	1.22	1.40	0.01	0.03	0.06	0.06
	2850	0.42	0.58	0.77	0.98	1.22	1.47	1.75	2.02	2.33	0.01	0.07	0.11	0.12
	100	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	200	0.07	0.08	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.27	0.00	0.00	0.01	0.01
	300	0.09	0.12	0.14	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.00	0.01	0.01	0.01
	400	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.42	0.48	0.00	0.01	0.02	0.02
	500	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.38	0.44	0.51	0.58	0.00	0.01	0.02	0.02
	600	0.16	0.20	0.25	0.30	0.37	0.44	0.51	0.59	0.68	0.00	0.01	0.02	0.03
	700	0.18	0.22	0.28	0.34	0.42	0.50	0.59	0.67	0.77	0.00	0.02	0.03	0.03
	800	0.19	0.25	0.31	0.38	0.46	0.55	0.65	0.75	0.87	0.00	0.02	0.03	0.03
	900	0.21	0.27	0.34	0.42	0.51	0.61	0.72	0.83	0.95	0.00	0.02	0.03	0.04
	1000	0.23	0.29	0.37	0.45	0.55	0.66	0.78	0.90	1.04	0.00	0.02	0.04	0.04
	1100	0.24	0.31	0.39	0.49	0.60	0.72	0.85	0.97	1.12	0.01	0.03	0.04	0.05
	1200	0.25	0.33	0.42	0.52	0.64	0.77	0.91	1.05	1.21	0.01	0.03	0.05	0.05
	1300	0.27	0.35	0.45	0.56	0.68	0.82	0.97	1.11	1.29	0.01	0.03	0.05	0.06
	1400	0.28	0.37	0.47	0.59	0.72	0.87	1.03	1.18	1.37	0.01	0.03	0.05	0.06
	1500	0.29	0.39	0.49	0.62	0.76	0.91	1.08	1.25	1.44	0.01	0.04	0.06	0.06
	1600	0.31	0.40	0.52	0.65	0.80	0.96	1.14	1.31	1.52	0.01	0.04	0.06	0.07
	1700	0.32	0.42	0.54	0.68	0.84	1.01	1.19	1.38	1.59	0.01	0.04	0.07	0.07
	1800	0.33	0.44	0.56	0.71	0.87	1.05	1.25	1.44	1.66	0.01	0.04	0.07	0.08
	1900	0.34	0.45	0.59	0.74	0.91	1.10	1.30	1.50	1.73	0.01	0.05	0.07	0.08
	2000	0.35	0.47	0.61	0.77	0.94	1.14	1.35	1.56	1.80	0.01	0.05	0.08	0.09
	2100	0.36	0.48	0.63	0.79	0.98	1.18	1.40	1.62	1.87	0.01	0.05	0.08	0.09
	2200	0.37	0.50	0.65	0.82	1.01	1.22	1.45	1.68	1.94	0.01	0.05	0.08	0.10
	2300	0.38	0.51	0.67	0.85	1.05	1.26	1.50	1.73	2.00	0.01	0.06	0.09	0.10
	2400	0.39	0.52	0.69	0.87	1.08	1.30	1.55	1.79	2.06	0.01	0.06	0.09	0.10
	2500	0.39	0.54	0.70	0.90	1.11	1.34	1.60	1.84	2.12	0.01	0.06	0.10	0.11
	2600	0.40	0.55	0.72	0.92	1.14	1.38	1.64	1.89	2.18	0.01	0.06	0.10	0.11
2700	0.41	0.56	0.74	0.94	1.17	1.42	1.69	1.94	2.24	0.01	0.06	0.10	0.12	
2800	0.42	0.57	0.76	0.97	1.20	1.46	1.73	1.99	2.30	0.01	0.07	0.11	0.12	
2900	0.42	0.59	0.77	0.99	1.23	1.49	1.77	2.04	2.35	0.01	0.07	0.11	0.13	
3000	0.43	0.60	0.79	1.01	1.26	1.53	1.81	2.09	2.41	0.01	0.07	0.12	0.13	
3100	0.44	0.61	0.81	1.03	1.29	1.56	1.85	2.14	2.46	0.01	0.07	0.12	0.13	
3200	0.44	0.62	0.82	1.06	1.31	1.59	1.89	2.18	2.51	0.02	0.08	0.12	0.14	
3300	0.45	0.63	0.84	1.08	1.34	1.63	1.93	2.22	2.56	0.02	0.08	0.13	0.14	
3400	0.46	0.64	0.85	1.10	1.37	1.66	1.97	2.27	2.60	0.02	0.08	0.13	0.15	
3500	0.46	0.65	0.87	1.12	1.39	1.69	2.01	2.31	2.65	0.02	0.08	0.13	0.15	
3600	0.47	0.66	0.88	1.14	1.42	1.72	2.04	2.35	2.69	0.02	0.09	0.14	0.16	
3700	0.47	0.67	0.90	1.15	1.44	1.75	2.08	2.39	2.74	0.02	0.09	0.14	0.16	
3800	0.48	0.68	0.91	1.17	1.46	1.78	2.11	2.42	2.78	0.02	0.09	0.15	0.16	
3900	0.48	0.68	0.92	1.19	1.49	1.81	2.14	2.46	2.81	0.02	0.09	0.15	0.17	

Ilustración 3-22: Potencia máxima optibeltVB  
Fuente: (GmbH, 2019)

$$P_N = 4,81 + 0,04$$

$$P_N = 4.85$$

Se procede al calculo de numero de correas para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema de transmisión.

$$z = \frac{Pd}{C1 * C3 * P_N}$$

$$z = \frac{5,59}{1 * 1 * 4,85} = 1,1525$$

Calculado el número de correas se obtiene una cantidad de dos correas para cumplir con el sistema de transmisión del sistema.

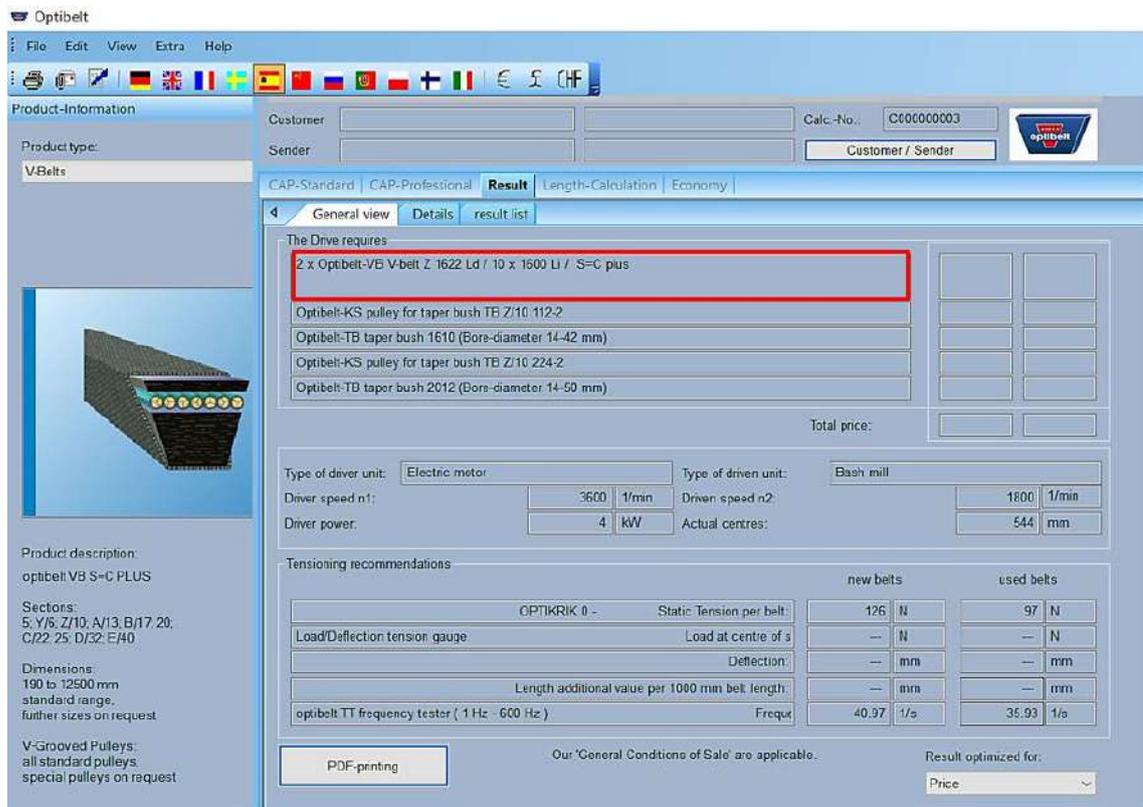
11.- Factor de seguridad

$$n = \frac{C1 * C3 * P_N * Z}{Pd}$$

$$n = \frac{1 * 1 * 4,85 * 2}{5,59}$$

$$n = 1,7352$$

Finalmente, mediante la aplicación de Optibelt CAD, se selecciona las bandas trapezoidales, de la denominación que se observa en la ilustración 3-23.



**Ilustración 3-19:** Especificaciones software Optibelt

Fuente: (GmbH, 2019)

### 12.- Velocidad

$$v = \frac{Dp_m * n1}{19100}$$

$$v = \frac{112mm * 1750}{19100} = 10,26 \frac{m}{s}$$

### 13.- Tensión por fuerza centrífuga

$$Tc = \rho_b * V^2$$

Donde

$Tc$  = Tensión por fuerza centrífuga

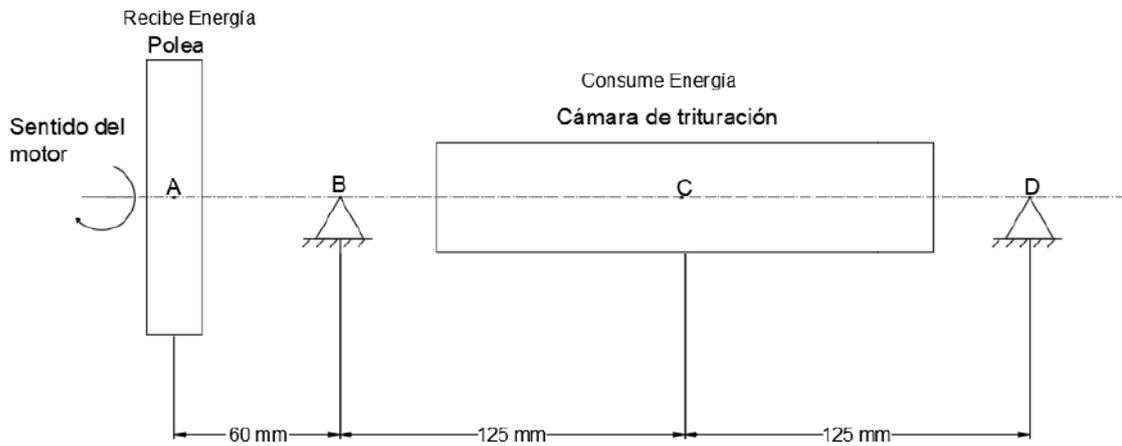
$\rho_b$  = densidad de la banda (Tipo A 0,115 kg/m)

$$Tc = 0,115 \text{ kg/m} * (10,26)^2$$

$$Tc = 12,10 \text{ [N]}$$

#### 3.5.10. Diseño del eje principal

Para un adecuado diseño del eje principal del molino de martillos, es esencial comprender la dirección de rotación y el componente que recibe y absorbe la energía generada. Se requiere realizar el diagrama de cuerpo libre donde se observará los elementos actuantes en el eje principal, como se observa en la ilustración 3-24.

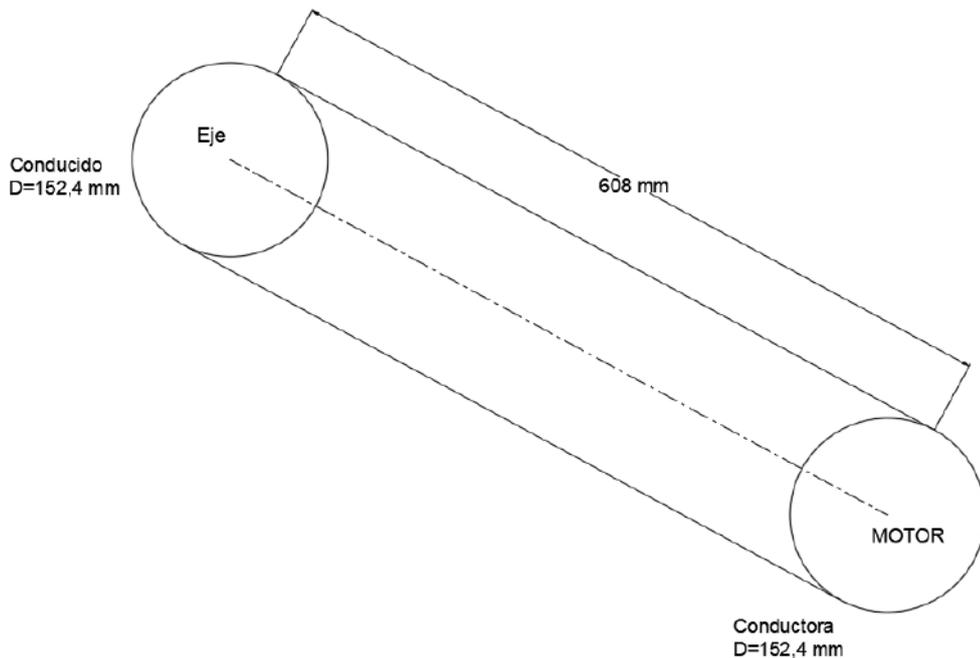


**Ilustración 3-20:** Componentes eje principal

Realizado por: Loachamin L., 2023

Identificando cada elemento y los componentes que reciben y consumen, es necesario conocer el sentido de torque de los puntos de interés.

En la ilustración 3-25, se observa la posición de nuestro sistema de transmisión con los parámetros de selección de bandas y poleas.



**Ilustración 3-21:** Transmisión de potencia

Fuente: Loachamin L., 2023

Con los parámetros que se observa en la ilustración 3-25, procedemos al cálculo de la relación de transmisión.

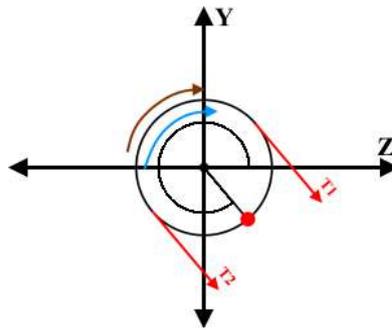
$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_2}{D_1} = \frac{150}{150} = 1$$

$$N_1 = 1750RPM$$

$$N_2 = N_1 * i = 1750(1) = 1750 RPM$$

Calculando la velocidad de funcionamiento requerido en el eje de nuestro molino de martillos, procedemos con el análisis en cada punto de interés de nuestro eje.

### Análisis en el punto A



**Ilustración 3-22:** Fuerzas de la polea

Fuente: Loachamin L., 2023

Se calcula varios parámetros necesarios para obtener las fuerzas para el análisis de nuestro eje principal.

#### 1.- Torque

$$TA = \frac{1000 \times Pot}{n}$$

$$TA = \frac{1000 \times 3,35}{376,991}$$

$$TA = 8,886 [N \cdot m]$$

#### 2.- Relación de tensiones

Mediante la ecuación de Euler se calcula la relación de tensiones planteado en la ecuación (58).

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta}$$

Donde

$\mu$  = coeficiente de fricción

$\theta$  = ángulo de contacto (rad)

Se selecciona un coeficiente de fricción en base a la ilustración 3-27, teniendo un coeficiente de fricción de 0,30 y un ángulo de contacto de 2,93 rad.

Material de la correa	Material de la Polea						
	Hierro fundido, Acero			Madera	Papel prensado	Cora de cuero	Cora de caucho
	Seco	Mojado	Engrasado				
1. Cuero curtido	0.25	0.2	0.15	0.3	0.33	0.38	0.40
2. Cuero curtido cromado	0.35	0.32	0.22	0.4	0.45	0.48	0.50
3. Convass cosida	0.20	0.15	0.12	0.23	0.25	0.27	0.30
4. Tejido de algodón	0.22	0.15	0.12	0.25	0.28	0.27	0.30
5. Caucho	0.30	0.18	—	0.32	0.35	0.40	0.42
6. Balata	0.32	0.20	—	0.35	0.38	0.40	0.42

**Ilustración 3-23:** Coeficiente de fricción

Fuente: Loachamin L., 2023

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0,30 \times 2,93}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 2,40$$

3.- Relación de tensiones:

$$i = \frac{T_1}{T_2}$$

$$T_1 = i \times T_2$$

4.- Tensión lado tenso:

$$T_1 = Tor \times \frac{i}{[0.5 d \times (i - 1)]}$$

$$T_1 = 8,886 \times \frac{2,4}{[0.5(0,150) \times (2,4 - 1)]}$$

$$T_1 = 203,04 \text{ [N]}$$

5.- Tensión lado flojo:

$$T_2 = \frac{Tor}{[0.5 d \times (i - 1)]}$$

$$T_2 = \frac{8,886}{[0.5(0,150) \times (2,4 - 1)]}$$

$$T_2 = 84,628 \text{ [N]}$$

6.- Tensión:

$$F_A = T_1 + T_2$$

$$F_A = 203,04 + 84,628$$

$$F_A = 287,668 \text{ [N]}$$

7.- Descomposición de la tensión en sus componentes rectangulares:

$$F_{Ay} = F_A \times \text{Sen}(\theta)$$

$$F_{Ay} = 287,668 \times \text{Sen}(310^\circ)$$

$$F_{Ay} = -220,367 \text{ [N]}$$

$$F_{Az} = F_A \times \text{Cos}(\theta)$$

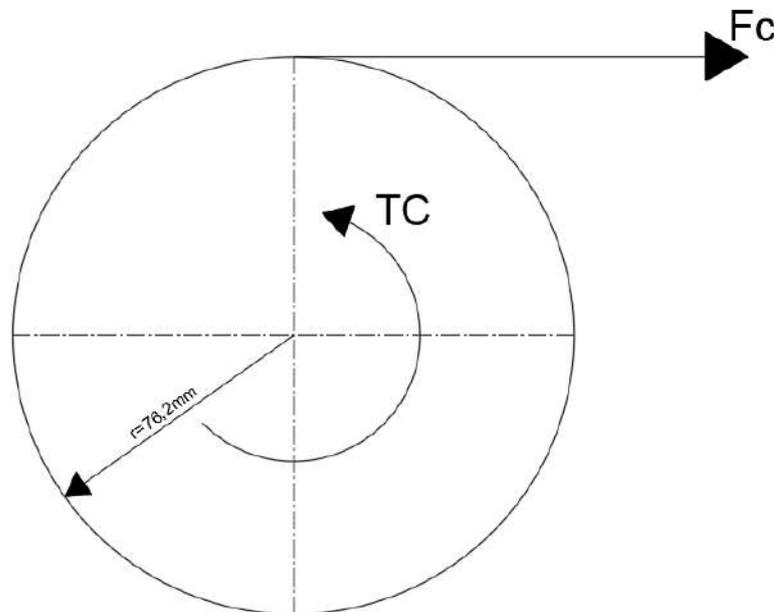
$$F_{Az} = 287,668 \times \text{Cos}(310^\circ)$$

$$F_{Az} = 184,90 \text{ [N]}$$

### Análisis en el punto C

Realizando un análisis del punto C donde es la parte más crítica del diseño del eje donde se encuentra la cámara de trituración constituido por los martillos y los discos, para lo cual se empleará el peso de todos los elementos mencionados, la fuerza de trituración que será transportada de los martillos al eje principal y un momento que se genera al transportar la fuerza de trituración, estas fuerzas interactuarán como una fuerza puntual en el centro de gravedad del eje.

En la ilustración 3-28, se observa la fuerza y el momento generado por la fuerza de trituración.



**Ilustración 3-24:** Análisis de la fuerza cortante

Fuente: Loachamin L., 2023

Nuestro eje principal consta de dos elementos uno que recibe la energía y otro que consume que en nuestro caso sería la cámara de trituración que actuaría como tipo turbina por lo cual el torque es el mismo calculado para la polea, es importante el cálculo de fuerza de trituración real que actúa en el punto c, para lo cual se calcula con la aplicación de la fórmula de torque.

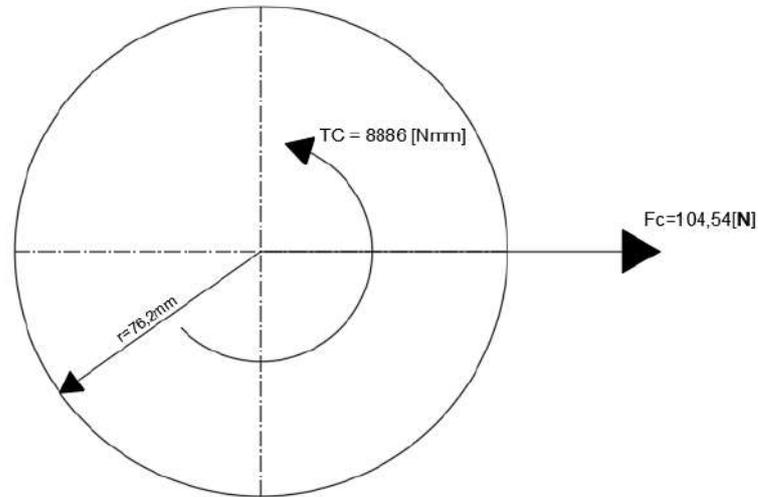
$$T_A = T_C = 8,886 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$T_C = F_c * (r_g)$$

$$F_c = \frac{T_A}{r_g} = \frac{8,886}{0,085}$$

$$F_c = 104,54 \text{ [N]}$$

Finalmente, en la ilustración 3-29, se observa que la fuerza de trituración queda en el punto c de análisis del eje principal, es importante considerar que esta fuerza de trituración es para un martillo, y para el cálculo se considera una fuerza de trituración total de 2496 [N], debido a que cada martillo triturara un grano.

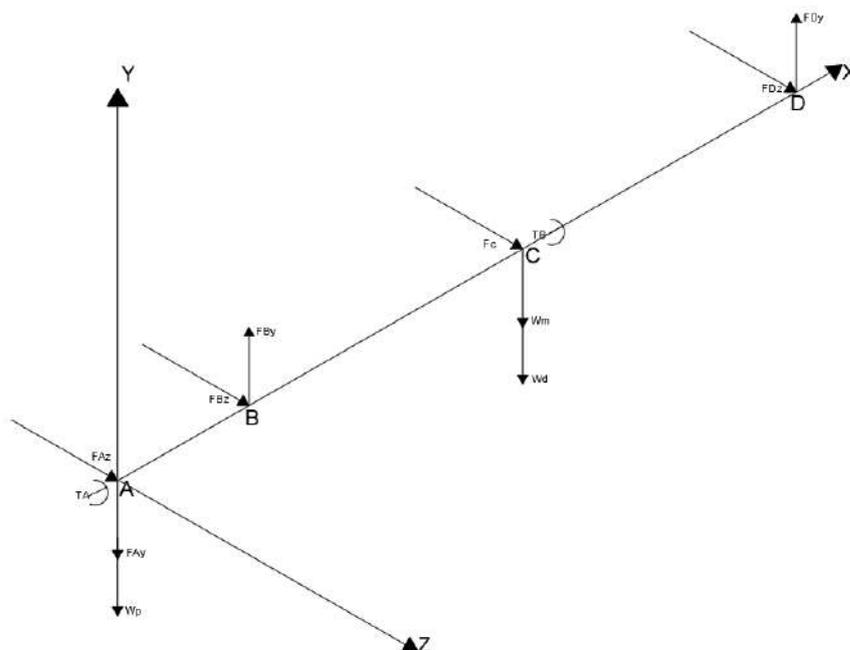


**Ilustración 3-25:** Fuerza cortante en el eje principal

Fuente: Loachamin L., 2023

*Diagrama de fuerzas actuantes en el eje principal*

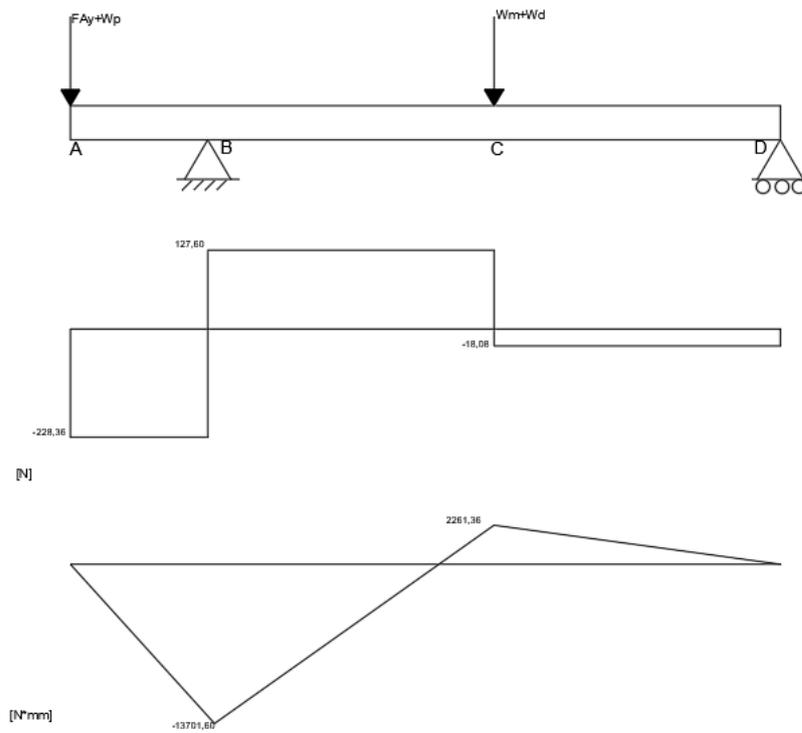
Analizado cada punto importante del eje con anterioridad, obtenemos en la ilustración 3-30, las fuerzas actuantes en cada sentido de los ejes principales x, y, z.



**Ilustración 3-26:** Diagrama de las fuerzas actuante plano x, y, z

Fuente: Loachamin L., 2023

### Análisis de fuerzas plano XY:



**Ilustración 3-27:** Momento cortante y flector del eje principal, plano XY

Fuente: Loachamin L., 2023

Mediante el diagrama de fuerzas en el plano xy, se calcula las reacciones del sistema.

#### Momentos planos XY

$$\sum M_B = 0$$

$$-145,678(125,1) + D_y(250,2) - 228,36(-60) = 0$$

$$D_y = 18,0764 [N]$$

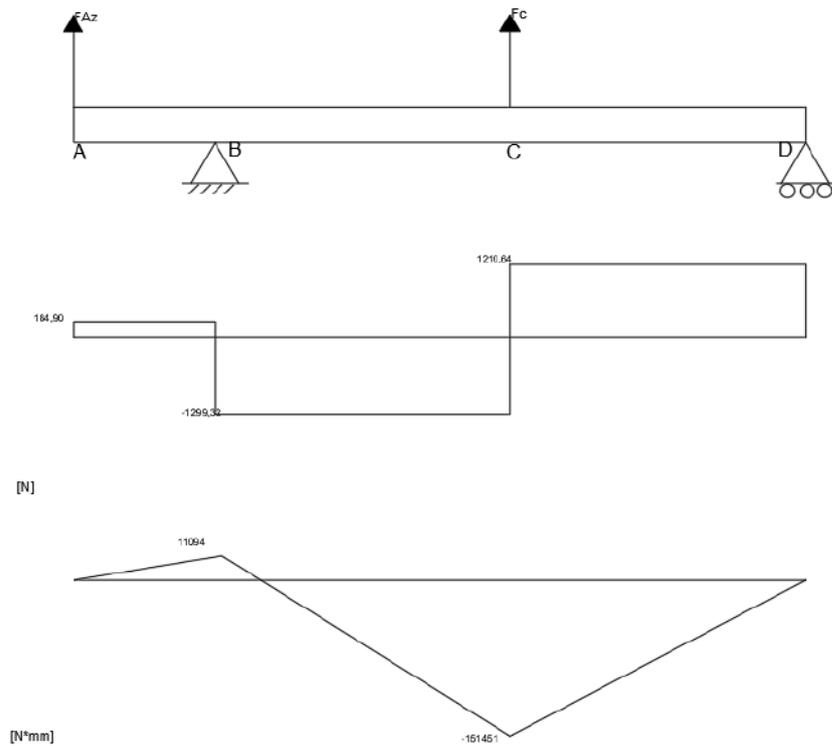
#### Sumatoria de fuerza plano XY

$$\sum F_y = 0$$

$$-145,678 + 18,0764 + B_y - 228,36 = 0$$

$$B_y = 355,9616 [N]$$

### Análisis de fuerzas plano XZ:



**Ilustración 3-28: Momento cortante y flector del eje principal, plano XZ**

Fuente: Loachamin L., 2023

Mediante el diagrama de fuerzas en el plano xy, se calcula las reacciones del sistema.

### Momentos planos XZ

$$\sum M_B = 0$$

$$2496(125,1) + Dz(250,2) + 184,90(-60) = 0$$

$$Dz = -1210,1394 [N]$$

### Sumatoria de fuerza plano XZ

$$\sum F_y = 0$$

$$184,90 + Bz + 2508,96 - 1210,1394 = 0$$

$$Bz = 1483,7206 [N]$$

Las reacciones obtenidas en los puntos B y D se detallan mediante la tabla 3-24.

**Tabla 3-24: Reacciones de los apoyos del eje principal**

Punto	Ry [N]	Rz [N]
B	355,9616	1489,7206
D	18,0764	-1210,1394

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Análisis del punto crítico**

## - Análisis estático

La norma NTE INEN-ISO 22000 para la industria alimentaria recomienda el uso del acero inoxidable AISI 304 debido a sus propiedades mecánicas y resistencia en el proceso de trituración de granos secos o hojas de té. En la tabla 3-25, se detalla las propiedades específicas de este material, en base al catálogo del proveedor Importa ceros.

**Tabla 3-21: Propiedades del acero AISI 304**

Dureza	212-275 HB
Esfuerzo a fluencia	276
Esfuerzo a tracción	570

Realizado por: Loachamin L., 2023

La ecuación (9), indica el método de la teoría de distorsión de Von Mises, para el cálculo del diámetro requerido, se considera un factor de seguridad de 3,5 para asegurar que el eje principal no fallara a la interacción de carga estática y no se encuentre sobredimensionado.

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{\left(\frac{32(M_{fm})}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{4(T)}{\pi * d^2}\right)^2} = \frac{276}{1,5}$$

$$\sqrt{\left(\frac{32(151467,88)}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{4(16517,32)}{\pi * d^2}\right)^2} = \frac{276}{3,5}$$

$$d = 28,69 \text{ mm}$$

## - Análisis dinámico

Evaluando el comportamiento del eje de transmisión, los resultados de momento flector y torsor se puede interpretar mediante la tabla 3-26.

**Tabla 3-26: Momentos máximos del eje principal**

Momento	Medio [N-mm]	Amplitud [N-mm]
Flector	0	151467,88
Torsor	8880	0

Realizado por: Loachamin L., 2023

Aplicando la ecuación del ASME B106.1 M (19), que permite determinar el diámetro del eje en el punto más crítico.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Para realizar una primera iteración nos asumimos valores de:

$$K_f = 1,6$$

$$K_{fs} = 1,4$$

Material acero AISI 304

$$S_y = 276 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 586 \text{ Mpa}$$

$$S_e' = 0,5S_{ut} = 0,5(586) = 284 \text{ Mpa}$$

Se asume un coeficiente de Marín de  $K = 0,6$  en la primera iteración

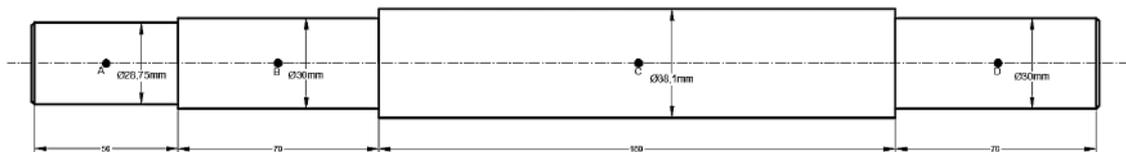
$$S_e = K S_e' = 0,6(284) = 170,4$$

$$d = \left\{ \frac{16(3,5)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,6 * (151467,88)}{170,4} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,6 * (8880)}{276} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 37,01 \text{ mm}$$

### Dimensionamiento del eje de transmisión primera iteración

Al obtener los valores de la primera iteración, se procede al dimensionamiento del eje, siguiendo la ilustración 3-33, en la cual se asignan diámetros normalizados. Es crucial realizar este diseño en el punto crítico, estableciendo diámetros múltiples para los tramos subsiguientes con el objetivo de estandarizar todas las dimensiones. La longitud total del eje principal de transmisión es de 370 mm, con un diámetro en el punto crítico de 1.5 pulgadas y un diámetro menor de 1 1/8 pulgadas. Este enfoque técnico garantiza la optimización y estandarización de los diámetros a lo largo del eje, considerando aspectos críticos para el rendimiento y la eficiencia del sistema.



### Ilustración 3-29: Dimensionamiento del eje principal

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 3.5.10.1. Diseño por resistencia mecánica

A fin de asegurar un diseño apropiado con el diámetro determinado en la primera iteración, resulta fundamental calcular un factor de seguridad sin realizar ninguna suposición de valores.

#### - Coeficiente de Marín

Utilizando la ecuación (11), calculamos el coeficiente de Marín.

$$S_e = 0.5S_{ut} * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f$$

Para el cálculo de cada factor del coeficiente de Marín se realizará en base al libro de elementos de máquinas de Richard Budynas y J. Keith Nisbett.

**Factor Ka aplicación de la ecuación (37).**

$$K_a = aS_{ut}^b \quad ( 37 )$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S <sub>ut</sub> kpsi	S <sub>ut</sub> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado 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

**Ilustración 3-34: Cálculo factor Ka**

Fuente: (Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, 2008)

Seleccionamos cada coeficiente de acuerdo a la ilustración 3-34, para un maquinado o estirado en frío, obteniendo un ka=0,88

**Factor Kb aplicación de la ecuación 3-10**

Para el cálculo de factor kb se realiza en base a la flexión giratoria con un d=1.5in.

$$k_b = 0,879d^{-0,107} \quad ( 38 )$$

$$k_b = 0,879(1.5)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,8416$$

**Factor Kc**

Para nuestro diseño consideramos un factor de carga axial, obteniendo un Kc=1

**Factor Kd**

Se considera un temperatura máxima de operación permisible de 50 °C, observamos en la ilustración 3-89, obtenido un kd=1,010

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		

**Ilustración 3-30:** Calculo factor Kd

Fuente: (Richard G. Budynas y J. Keith nisbett, 2008)

### Factor Ke

Se requiere una confiabilidad de 99,99%, observando en la ilustración 3-36 obtenemos un  $k_e=0,702$

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_o$	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

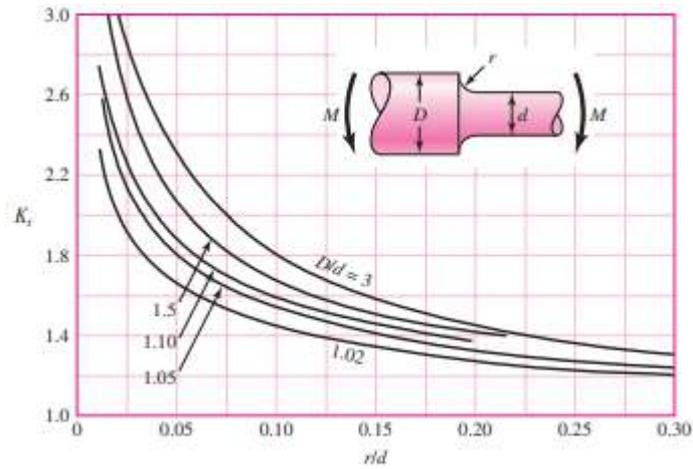
**Ilustración 3-31:** Calculo factor Kc

Fuente: (Richard G. Budynas y J. Keith nisbett, 2008)

### Factor Kf y Kfs se aplica la ecuación (39)

Para el cálculo del factor kf es importante asumir un radio de muestra de 0,118 in y aplicar la fórmula (39).

$$K_f = q * (K_t - 1) + 1 \quad ( 39 )$$



**Ilustración 3-32:** Cálculo factor  $K_f$

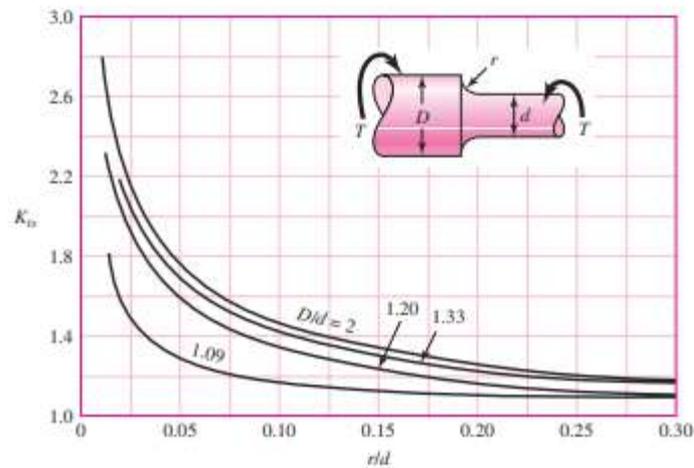
Fuente: (Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, 2008)

$$\frac{r}{d} = \frac{0,118}{1,25} = 0,094$$

$$\frac{D}{d} = \frac{1,5}{1,25} = 1,2$$

$$K_t = 1,65$$

$$K_f = 0,9 * (1,65 - 1) + 1 = 1,585$$



**Ilustración 3-33:** Cálculo factor  $K_{fs}$

Fuente: (Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, 2008)

$$K_{fs} = 0,9 * (1,38 - 1) + 1 = 1,342$$

### Cálculo del factor K

Para el cálculo del factor K se utiliza en coeficiente de Marín, aplicando la ecuación 3-96.

$$K = 0,8416 * 1,010 * 1 * 0,702$$

$$K = 0,5967$$

$$S_e = 0,5967 * 0,5 * 586 = 174,8331 \text{ [Mpa]}$$

Aplicando la ecuación del ASME (19), calculamos el factor de seguridad (n).

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi * d^3} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi * d^3} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi * (38,1)^3} \left[ 4 \left( \frac{1,585 * (151467,88)}{174,8331} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,342 * (8880)}{276} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$n = 3,45$$

La tener un coeficiente mayor al asumido inicialmente consideramos que obtenemos un coeficiente de seguridad adecuado en el análisis por resistencia mecánica.

### 3.5.11. Selección de chumaceras

En el proceso de seleccionar y colocar chumaceras, es esencial tener en cuenta las fuerzas aplicadas y la disponibilidad en el mercado nacional. En este contexto, optaremos por utilizar rodamientos NTN debido a su calidad reconocida y la garantía que respalda su rendimiento. Se considerará meticulosamente el desempeño y la condición operativa al tomar esta decisión.

- Datos iniciales

$$L_{10} = 8000 \text{ horas}$$

$$n = 1750 \text{ RPM}$$

$$F_e = 1483,1394 \text{ [N]}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

Donde

$$L_{10} = \text{vida nominal básica } 10^6 \text{ rev}$$

$$F_r = \text{carga radial aplicada}$$

$$d = \text{diámetro}$$

#### 3.5.11.1. Carga dinámica equivalente

Para el respectivo cálculo se considera un factor fw según las recomendaciones del catálogo NTN. Este factor aborda las implicaciones de impactos y vibraciones en la vida útil del componente. De acuerdo con la ilustración 3-39, se optó por seleccionar un factor de choque pesado, estableciendo un valor de dos para reflejar adecuadamente las condiciones operativas y maximizar la precisión en el análisis de la carga dinámica equivalente.

Magnitud de choque	$f_w$	Aplicación
Muy poco o nada de choque	1.0~1.2	Máquinas eléctricas, maquinas herramientas, instrumentos de medición.
Choque ligero	1.2~1.5	Vehículos ferroviarios, automóviles, molinos de rodillos, máquinas para trabajar metales, maquinas para fabricar papel, máquinas impresoras, aeronaves, máquinas para textiles, máquinas eléctricas, máquinas de oficina.
Choque pesado	1.5~3.0	Trituradores, equipo agrícola, equipo de construcción, grúas.

**Ilustración 3-34:** Factor de choque ( $f_w$ )

Fuente: (SNR industry, 2009)

$$P = F_e * f_w$$

$$P = 1483,1394 * 2$$

$$P = 2966,27 [N]$$

### 3.5.11.2. Rodamientos de rodillos

La vida nominal básica se deriva de un modelo con un nivel de confianza del 90%. Este parámetro se define como el número total de revoluciones alcanzadas o superadas por el 90% de los rodamientos del grupo antes del desgaste por fatiga del metal en condiciones de funcionamiento similares. La vida útil de diseño básica (con un 90 % de confiabilidad) de un rodamiento de velocidad constante se expresa en horas de funcionamiento totales (NTN CORPORATION, 2023).

Clasificación	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Vida nominal básica $L_{10h}$ h	$\frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500 f_h^3$	$\frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = 500 f_h^{10/3}$
Factor de vida $f_h$	$f_h \frac{C}{P}$	$f_h \frac{C}{P}$
Factor de velocidad $f_n$	$\left(\frac{33.3}{n}\right)^{1/3}$	$\left(\frac{33.3}{n}\right)^{3/10}$

**Ilustración 3-35:** Parámetros de selección de rodamientos

Fuente: (SNR industry, 2009)

- Factor de vida

El factor de vida hace referencia a la vida útil del rodamiento, teniendo en cuenta las condiciones de operación, en base los datos iniciales calcularemos el factor de vida.

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{1/3}$$

$$fh = \left(\frac{8000}{500}\right)^{1/3}$$

$$fh = 2,519$$

- Factor de velocidad

Para el cálculo de este factor se influyen la velocidad de rotación del rodamiento, su influencia en la vida útil y el rendimiento.

$$fn = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{3/10}$$

$$fn = \left(\frac{33,3}{1750}\right)^{3/10}$$

$$fn = 1,456$$

- Capacidad básica de carga dinámica

La capacidad básica de carga dinámica es importante para la selección de una adecuada chumacera donde se garantice la capacidad básica de carga dinámica.

$$C = \frac{fh}{fn} * P$$

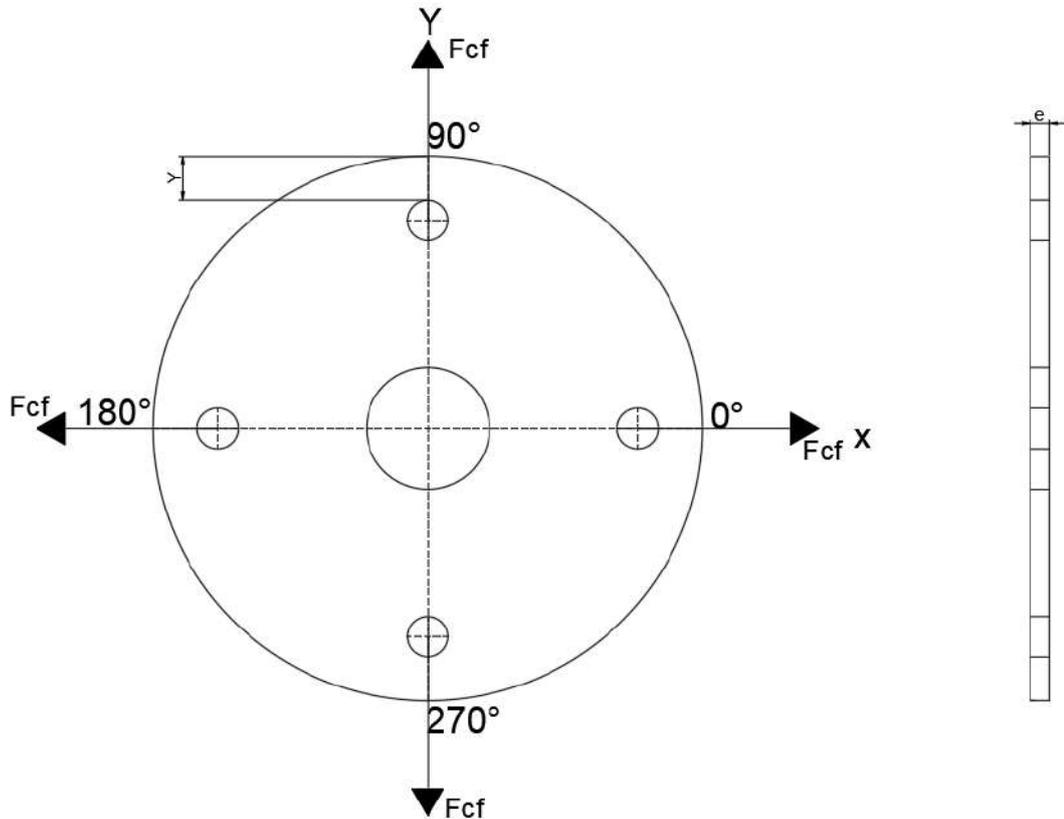
$$C = \frac{2,519}{1,456} * 2,966$$

$$C = 5,1314 [KN]$$

Con los datos calculados realizamos la selección de la chumacera en el catálogo SKF, que sea equivalente a la de un catálogo NTN, que cumpla la capacidad básica de carga dinámica “Ver Anexo G”

### **3.5.12. Diseño del disco porta-martillos**

Es importante la selección de una geometría apropiada. En nuestro enfoque, hemos optado por una forma circular debido a su mayor estabilidad dinámica y la ausencia de excentricidades como se observa en la ilustración 3-41 previniendo posibles fallas en el diseño (Lasluisa L., 2022).



**Ilustración 3-36:** Fuerzas actuantes disco porta-martillos

Fuente: Loachamin L., 2023

**Consideraciones para el diseño**

- Diámetro del disco = 170mm
- Cuatro agujeros uno cada 90°
- Diámetro del eje principal = 38,10 mm
- Diámetro ejes roscados = 12,7 mm
- Material de fabricación = AISI 304

En el proceso de determinar el espesor adecuado del disco porta-martillos, se recurre al cálculo de la falla por cizalladura, considerando una fuerza centrífuga de los martillos a 90° , se aplica la ecuación (40) donde se procede al cálculo del espesor del disco porta-martillos.

$$e = \frac{2 * F_{cf} * n}{Y * S_y} \tag{ 40 }$$

Donde

$Y$  = distancia del borde del disco al borde del agujero [mm]

$e$  = espesor del disco porta-martillos

Para garantizar que no exista falla por tracción y no esté sobredimensionado se ha optado un factor de seguridad de 1.5, obteniendo un espesor de disco porta-martillos

$$e = 5,93 \text{ mm}$$

Para la selección de la plancha en acero inoxidable 304, se selecciona del catálogo de Importaceros de 4 mm de espesor como se observa en la ilustración 3-42, es recomendable tener un conocimiento del tipo de acabado requerido por el usuario.

**Norma: AISI 304**

**Especificaciones Generales del acero inoxidable 304:**

<b>ESPEORES</b>	desde 0.40 – 15mm	
<b>ACABADOS</b>	2B – N4 – N1	
<b>DIMENSIONES</b>	1220 x 2440 mm (estándar)	
	1220 x otros (largos especial)	
<b>DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A LA NORMA</b>	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301



**Ilustración 3-37:** Selección de plancha de acero inoxidable 304

Fuente: Loachamin L., 2023

**3.5.13. Selección de separadores de disco porta-martillos**

La incorporación de separadores en los discos se vuelve crucial para prevenir posibles desalineamientos en la cámara de trituración y amortiguar vibraciones en los martillos, que cumplen la función de herramientas de percusión. Como se explicó anteriormente, se sugiere que el espesor del separador sea tres veces el espesor del martillo. En este sentido, se optó por utilizar un separador de 18 mm para lograr esta proporción, y para optimizar los costos, se eligió la tubería de acero inoxidable 304 disponible en el catálogo de Importaceros, de acuerdo con la ilustración 3-43.

## Especificaciones Generales:

Descripción: tubo redondo inoxidable 304 acabado N4 pulido. Largo 6 mts

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPESOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
3/8"	9,52	1	0,21	1,27
3/8"	9,52	1,2	0,25	1,49
3/8"	9,52	1,5	0,30	1,8
3/8"	9,52	2	0,38	2,25
1/2"	12,7	1	0,29	1,75
1/2"	12,7	1,2	0,34	2,06
1/2"	12,7	1,5	0,42	2,51
1/2"	12,7	2	0,53	3,2
5/8"	15,9	1	0,37	2,23
5/8"	15,9	1,2	0,44	2,64
5/8"	15,9	1,5	0,54	3,23
5/8"	15,9	2	0,69	4,15
3/4"	19,1	1	0,45	2,71
3/4"	19,1	1,2	0,54	3,21
3/4"	19,1	1,5	0,66	3,95

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPESOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
1"	25,4	1,5	0,89	5,36
1"	25,4	2	1,17	6,99
1 1/4"	31,8	1	0,77	4,6
1 1/4"	31,8	1,2	0,92	5,49
1 1/4"	31,8	1,5	1,13	6,79
1 1/4"	31,8	2	1,49	8,91
1 1/2"	38,1	1	0,92	5,54
1 1/2"	38,1	1,2	1,10	6,62
1 1/2"	38,1	1,5	1,37	8,2
1 1/2"	38,1	2	1,80	10,79
1 3/4"	44,5	1	1,61	9,64
1 3/4"	44,5	1,2	1,30	7,77
1 3/4"	44,5	1,5	1,61	9,64
1 3/4"	44,5	2	2,12	12,7

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPESOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
2 1/2"	63,5	1,2	1,86	11,17
2 1/2"	63,5	1,5	2,32	13,9
2 1/2"	63,5	2	3,06	18,38
3"	76,2	2	3,70	22,18
4"	101,6	2	4,96	29,77
5"	127	2	6,23	37,36
6"	152,4	2	7,49	44,95

**Ilustración 3-38:** Espaciadores disco porta-martillos

Fuente: Loachamin L., 2023

### 3.5.14. Diseño de la tuerca de sujeción

La tuerca de sujeción es un componente mecánico exento de cargas, desempeña el papel fundamental de posicionar y sujetar de manera mínima la cámara de trituración. Su función principal evitar desalineamientos y garantizar una ubicación precisa de los elementos, sin estar sujeto a ninguna carga significativa, por lo cual no se requiere un diseño como elemento de máquinas.

Dimensiones del bocín de sujeción

- Diámetro exterior = 66 mm
- Espesor = 12 mm
- Diámetro interior = 30 mm
- Material de fabricación = Acero inoxidable 304



está diseñada para fallar y actúa como un punto débil para mantener la integridad del sistema y proteger componentes críticos como el eje.

- Falla debido al corte de la cuña

$$\frac{2T}{dwl} = \frac{S_{sy}}{n_p}$$

Donde

$$S_{sy} = 0,5S_y$$

$$\frac{2T}{dwl} = \frac{0,5 * S_y}{n_p}$$

$$n_p = \frac{0,5 * S_y * d * w * l}{2T}$$

$$n_p = \frac{0,5 * 276 * 9/8 * 10 * 45}{2 * (8880)}$$

$$n_p = 3,93$$

- Falla debido a compresión de la cuña

$$\frac{4T}{dlh} = \frac{S_y}{n_p}$$

$$n_p = \frac{S_y * d * l * h}{4T}$$

$$n_p = \frac{276 * 9/8 * 45 * 8}{4 * (8880)}$$

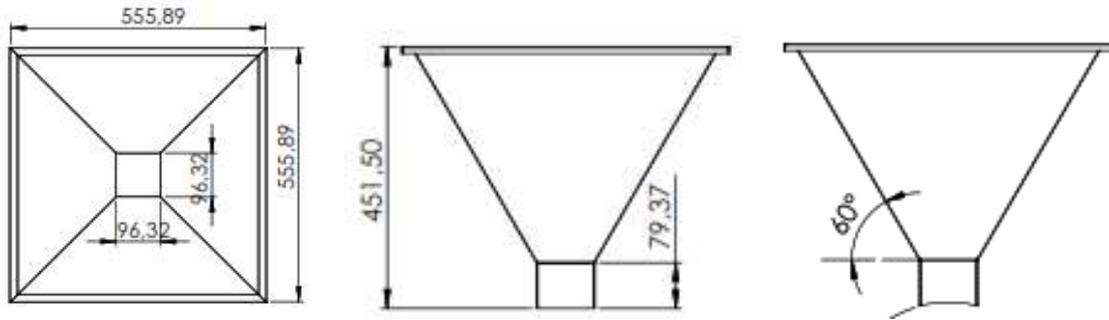
$$n_p = 3,14$$

Según las especificaciones del catálogo en base a la norma DIN 6885-1, se elige una cuña con dimensiones de 10\*8 mm, con el objetivo de lograr factores de seguridad óptimos que prevengan posibles fallas por corte y compresión.

### **3.5.16. Diseño de la tolva de alimentación**

Para la fabricación de la tolva de alimentación, se optará por el uso de AISI 304, ya que este material ha ganado popularidad en la industria alimentaria. Sus propiedades anticorrosivas permiten que pueda desempeñarse eficazmente en diversos entornos, asegurando un funcionamiento fiable.

La alimentación de la tolva consiste en materia prima con diversas dimensiones. Para calcular la capacidad, se seleccionará el tamaño de grano más crítico, que posee un volumen de 0,30 cm<sup>3</sup>. En el diseño de la tolva para nuestra máquina, se ha propuesto una configuración y dimensiones específicas, conforme se observa en la ilustración 3-45. Estas dimensiones se basan en la referencia de tolvas previamente utilizadas en aplicaciones similares.



**Ilustración 3-40:** Dimensionamiento de la tolva reguladora

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Dimensiones generales**

Altura ( $h$ ) = 117 mm

Altura ( $h'$ ) = 413 mm

Ancho superior ( $a$ ) = 500 mm

Ancho inferior ( $a'$ ) = 215,5 mm

Mediante la ecuación (89) se realiza el cálculo del volumen total de la tolva.

$$v = \frac{h}{6} [(2a + a')h + (2a' + a)h']$$

$$v = \frac{11,7}{6} [(2(50) + 21,55)41,3 + (2(21,55) + 50)11,7]$$

$$v = 11913,1057 \text{ cm}^3$$

- **Capacidad de la tolva en kg**

$$m = \frac{1 \text{ grano}}{0,30 \text{ cm}^3} * 11913,10575 \text{ cm}^3 * \frac{0,302 \text{ gr}}{1 \text{ grano}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}$$

$$m = 12 \text{ kg}$$

- **Peso que soporta la tolva**

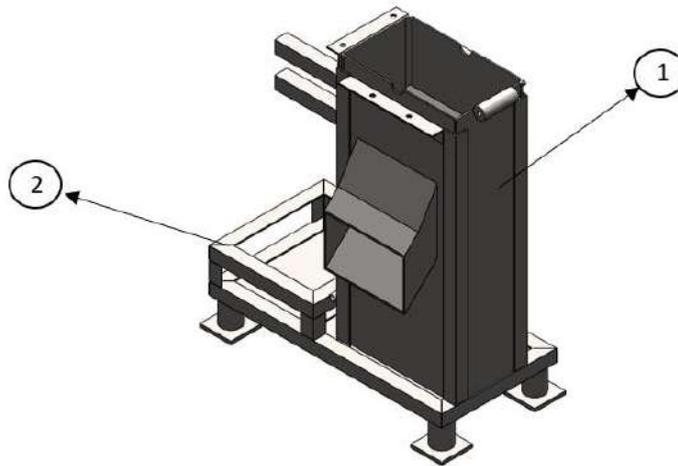
$$w = m * g$$

$$w = 12 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w = 117,72 \text{ [N]}$$

**3.5.17. Diseño estructural del bastidor**

El diseño del bastidor se considerada tres simulaciones para comprobar que la estructura no tendrá deformaciones o un factor de seguridad inadecuado, se realizara varias simulaciones con la finalidad de comprobar mayor resistencia y durabilidad a las cargas a soportar, mediante la ilustración 3-46, se observara las dos secciones de las simulaciones respectivas a realizar.



**Ilustración 3-41:** Diseño CAE del bastidor y Base del molino de martillos

Realizado por: Loachamin L., 2023

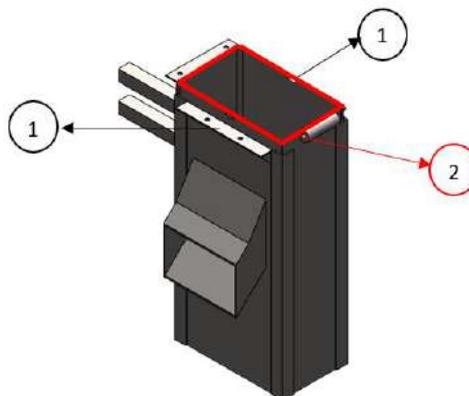
1.- Bastidor

2.- Base soporte del bastidor

3.5.17.1. *Diseño estructural del bastidor*

Para el diseño estructural del bastidor se realiza mediante el software de ANSYS, en donde se realizará la combinación de planchas de acero inoxidable AISI 304 considerado en la simulación como elemento Shell, y perfilaría estructural AISI 304 considerado como elemento beam, para lo cual realizaremos esta simulación en dicho software debido a su facilidad de realizar combinaciones de elementos Shell y elementos Beam.

Es importante la selección optima de un perfil y un espesor de plancha considerable para la resistencia antes las cargas que se someterán cada componente del bastidor, en la ilustración 3-47 se observa las secciones donde el bastidor será sometido a las cargas.



**Ilustración 3-42:** Zonas de fuerzas aplicadas en el bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

La tabla 3-27, describe perfiles, dimensiones y espesor empelados en la simulación en el software ANSYS.

**Tabla 3-22:** Perfiles de análisis del bastidor

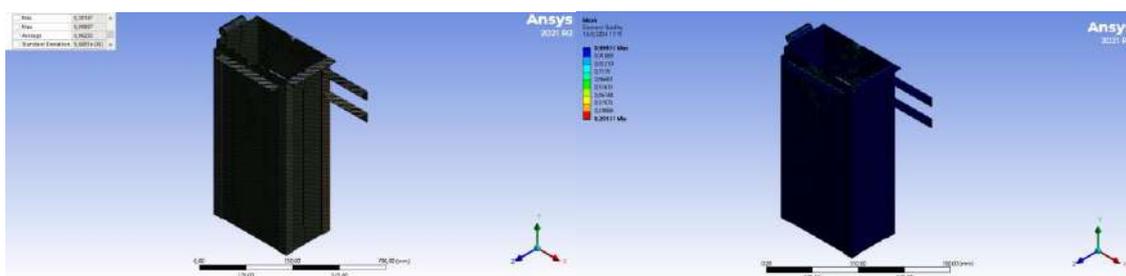
Descripción	Cantidad
INOX AL 40X4	7
PLANCHA INOX 4mm	1

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.17.1.1. Mallado bastidor

El proceso de mallado sigue una metodología iterativa, basada en la experiencia y la aplicación de técnicas y herramientas específicas. El objetivo es lograr una calidad de malla óptima, como se observa en la ilustración 3-49.

Este proceso no es sencillo, ya que implica varias iteraciones para obtener valores adecuados en la simulación. La selección cuidadosa de parámetros y la ajustada manipulación de la geometría son fundamentales en este procedimiento.



**Ilustración 3-43:** Métricas de mallado bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

Para cumplir con las métricas de mallado de la ilustración 3-4, se aplica el método de un Body Sizing en todas las caras de los elementos del bastidor obteniendo una calidad de malla de buena calidad como se observa en la tabla 3-28.

**Tabla 3-28:** Métricas de malla del bastidor

Métricas	Valor promedio
Nodos	124006
Elementos	48064
Element Quality	0,96255

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.17.2. Condiciones de frontera Eje de transmisión

Para una simulación adecuada es importante asignar condiciones de frontera, donde los pesos de los elementos de la cámara de trituración y la tolva actuaran como fuerzas de cargas vivas en el bastidor, en la tabla 3-29, se describirá la masa y el peso de cada elemento actuante en el bastidor para asignar correctamente las condiciones de frontera.

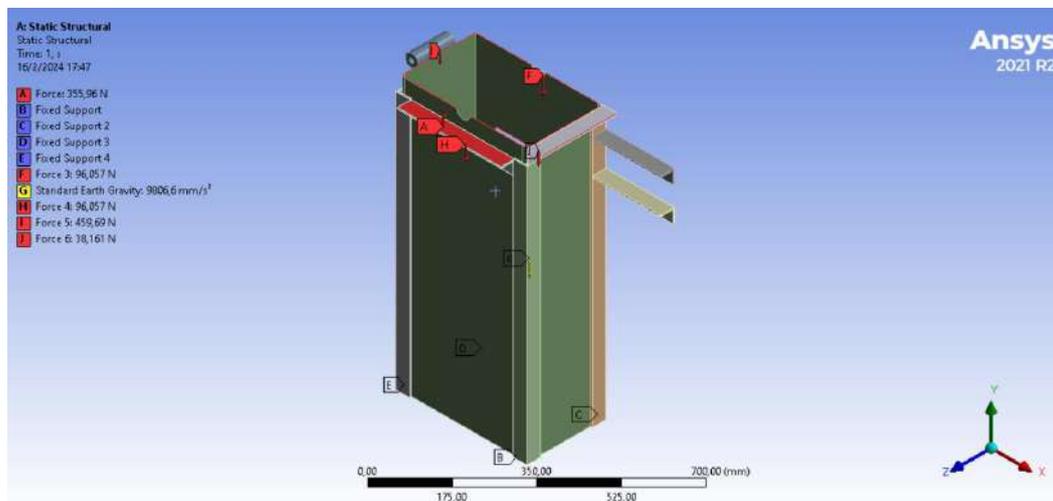
**Tabla 3-23:** Fuerzas actuantes en el bastidor

Elemento	Cantidad	Masa (Kg)	Peso (N)	Peso Total (N)
Discos porta-martillos	7	0,67	4,69	46,00
Martillos	24	0,21	5,04	49,44
Eje roscado	8	0,18	1,44	14,12
Eje principal	1	2,66	2,66	26,09
Separadores de discos	6	0,0013	0,0078	0,07
Separadores de martillos	20	0,005	0,1	0,981
Tuercas sujetadoras	2	0,15	0,30	2,943
Chumacera	2	2,27	4,54	44,53
Polea	1	0,81	0,81	7,94
Tolva capacidad 100%	1	46,86	46,86	459,69
Tolva de salida	1	3,89	3,89	38,16
<b>Total</b>				<b>689,96</b>

Realizado por: Loachamin L., 2023

Para el cálculo de la masa de la maquina y de cada elemento se realizó mediante SolidWorks, con la aplicación de las propiedades y densidades del material, como se muestra en el anexo a, obteniendo una masa de 651,804 N.

Obtenido esta carga se aplica en las condiciones de frontera de la simulación visualizado en la ilustración 3-50.



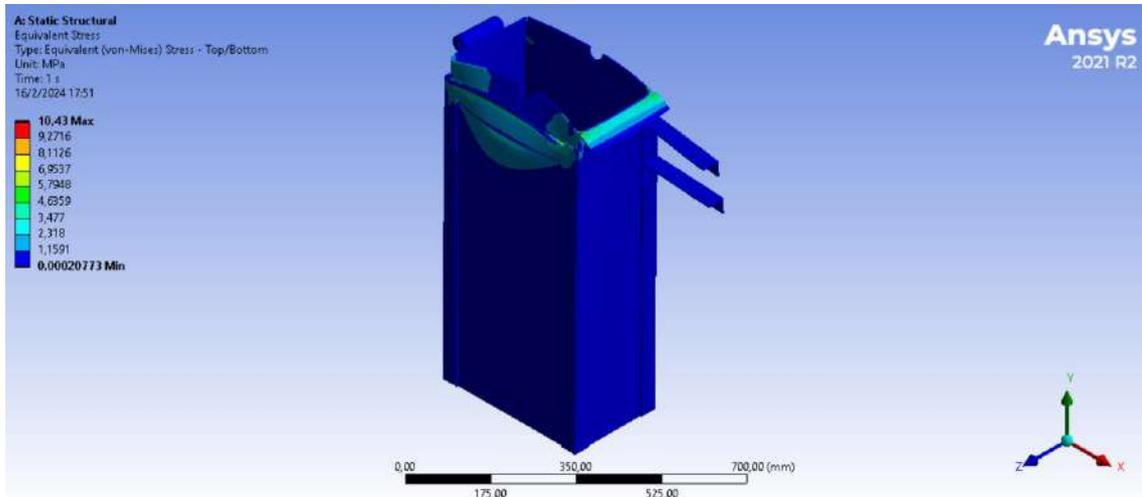
**Ilustración 3-44:** Condiciones de frontera bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.17.3. Resultados simulación eje

#### - Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del eje

Evaluando la simulación se obtiene un esfuerzo equivalente de (von-Misses) de 10,43 MPa, teniendo un valor inferior al límite de fluencia del AISI 304 de 276 MPa, por lo que se concluye que no existirá fallas en su fase de ductilidad.

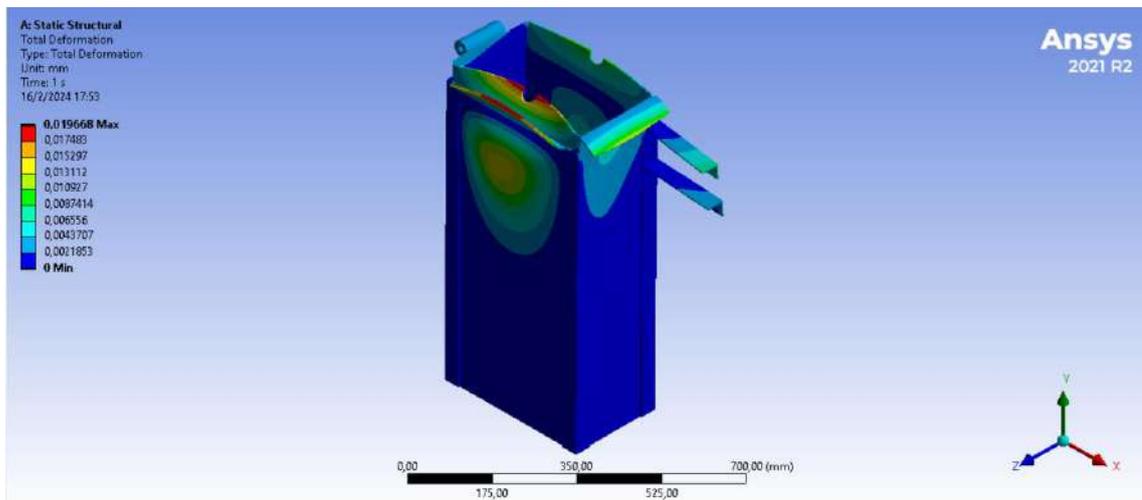


**Ilustración 3-45:** Esfuerzo equivalente de (von-Misses) bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### - Deformación total del eje

Para la verificación de la deformación del bastidor los valores referenciales de la ilustración 4-2, obteniendo una deformación máxima de 0,019 mm, siendo un valor adecuado para garantizar que no existan fallos por cizalladura u otro factor de análisis ingenieril.

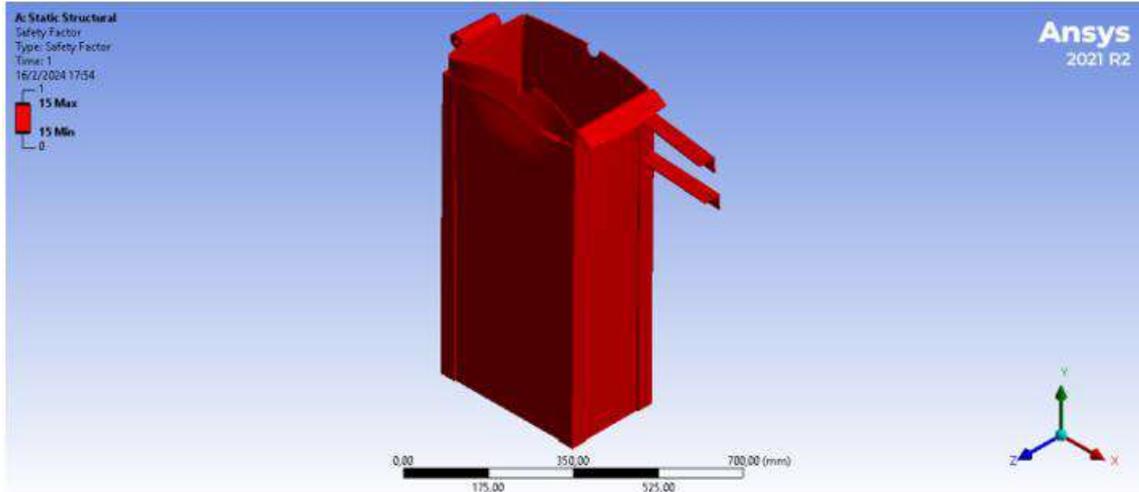


**Ilustración 3-46:** Deformación total del bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

### - **Resultado del análisis del factor de seguridad carga estática**

Mediante la simulación se concluye que la estructura no tendrá falla o aplastamientos en su funcionamiento, obteniendo un factor de seguridad de vida infinita, garantizando el parámetro de durabilidad.

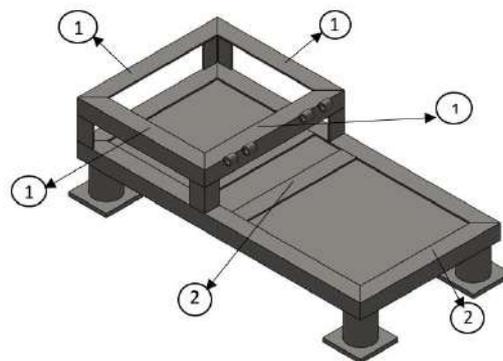


**Ilustración 3-52:** Factor de seguridad del bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 3.5.17.4. *Diseño estructural base soporte del bastidor*

Para el diseño estructural de la base soporte del bastidor se realizará un análisis transitorio analizando como actúan las vibraciones en la estructura se realizara la trasformación de elemento beam a elemento Shell para tener una adecuada calidad de malla, en la ilustración 3-54, se indicará las secciones donde se aplicarán las cargas de análisis.



**Ilustración 3-47:** Zonas de fuerzas aplicadas en la base bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

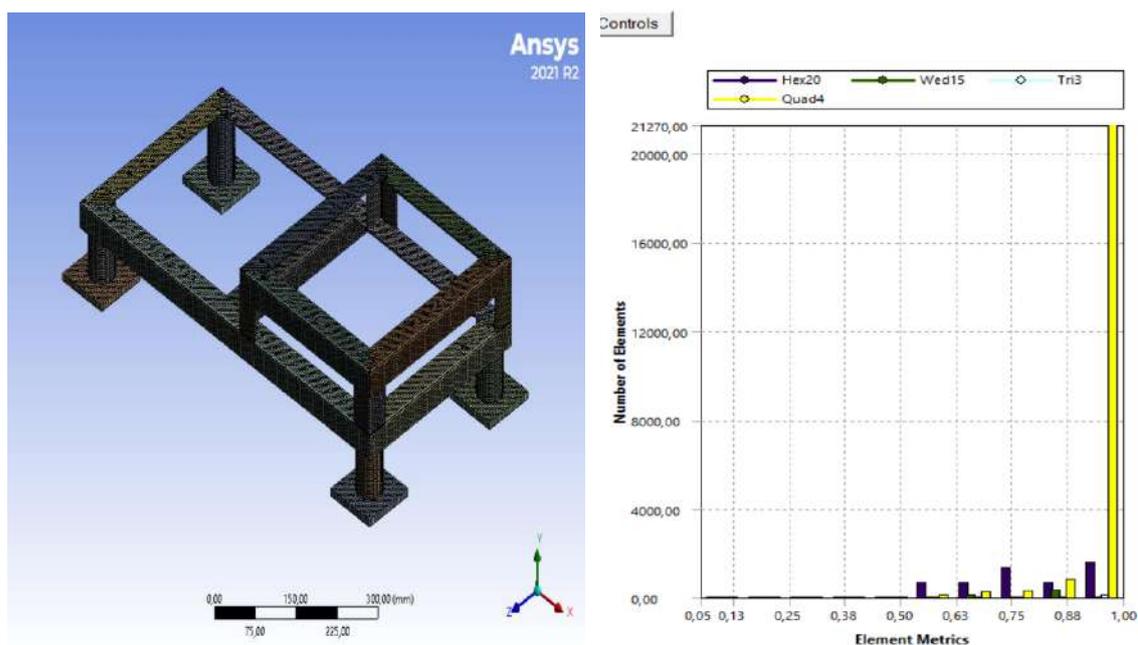
La tabla 3-27, describe perfiles, dimensiones y espesor empelados en la simulación en el software ANSYS.

**Tabla 3-24:** Perfiles de análisis de la base del bastidor

Descripción	Cantidad
INOX AL 40X4	6
PLANCHA INOX 12mm	4
EJE INOX 2" HUECO	4

Realizado por: Loachamin L., 2023

Para el mallado de la base soporte del bastidor en los elementos Shell y elemento Beam no se requiere aplicar técnicas de mallado, al caracterizarse por tener mallas de alta calidad cumpliendo con los parámetros como se observa en la ilustración 3-55, en los elementos solidos es importante la aplicación de un método para evitar que afecte al promedio de la calidad de malla.



**Ilustración 3-48:** Métricas de mallado base bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

Para el cumplimiento de las métricas de mallado se empleó la herramienta SpaceClaim, transformando los elementos beam a elementos Shell, obteniendo las siguientes métricas de mallado como muestra en la tabla 3-31.

**Tabla 3-25:** Métricas de mallado del soporte del bastidor

Métricas	Valor promedio
Nodos	58036
Elementos	28187
Element Quality	0,9997

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.17.5. Condiciones de frontera base soporte del bastidor

Para una simulación adecuada es importante asignar condiciones de frontera, donde el peso de los elementos constituyentes de la cámara de trituración, la tolva, bastidor y el motor del molino de

martillos actuarán como fuerzas de cargas vivas a la base soporte del bastidor, en la tabla 3-32, se describirá la masa y el peso de cada elemento actuante para asignar correctamente las condiciones de frontera.

**Tabla 3-26: Fuerzas actuantes en el molino de martillos**

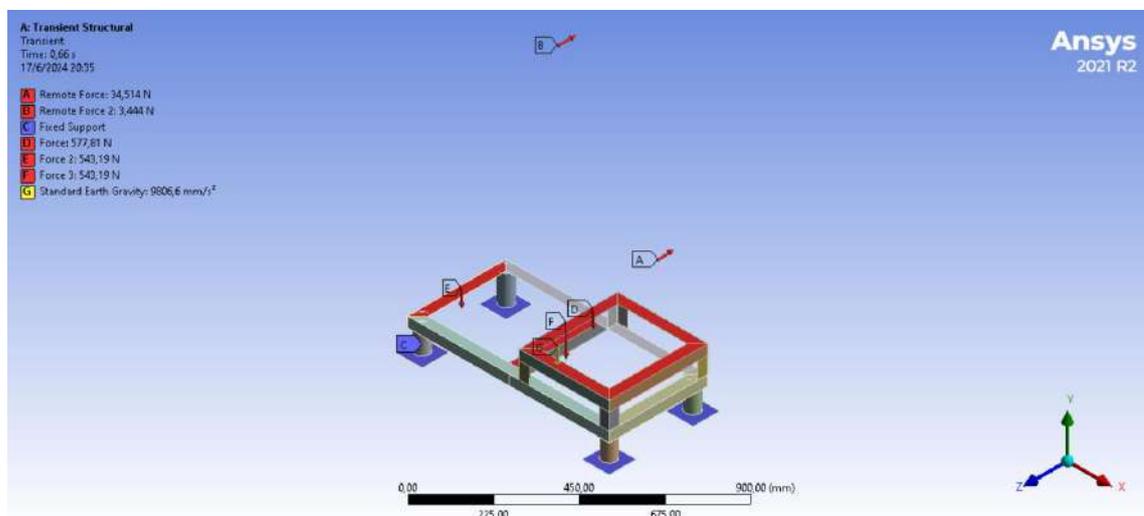
Elemento	Cantidad	Masa (Kg)	Peso (N)	Peso Total (N)
Bastidor	1	40,41	396,42	396,42
Motor	1	53	519,93	519,93
Componentes del bastidor	1	19,58	192,11	192,11
Tolva capacidad 100%	1	46,86	46,86	459,69
Tolva de salida	1	3,89	3,89	38,16
Base motor	1	5,90	5,90	57,879
<b>Total</b>				1664,189

Realizado por: Loachamin L., 2023

Para el cálculo se realizó con el mismo proceso anterior obteniendo una masa total de 1664,189 N.

Obtenido esta carga se aplica en las condiciones de frontera de la simulación visualizados en la ilustración 3-56.

Para el análisis transitorio se emplea dos cargas remotas donde existen elementos rotatorios que producen vibración en nuestra maquina se produce en el eje del motor y en el eje de la cámara de trituración como se observa en la ilustración 3-56, estas cargas remotas se calculan mediante el software ADAMS obteniendo las fuerzas y el torque necesario para la rotación de la cámara de trituración.



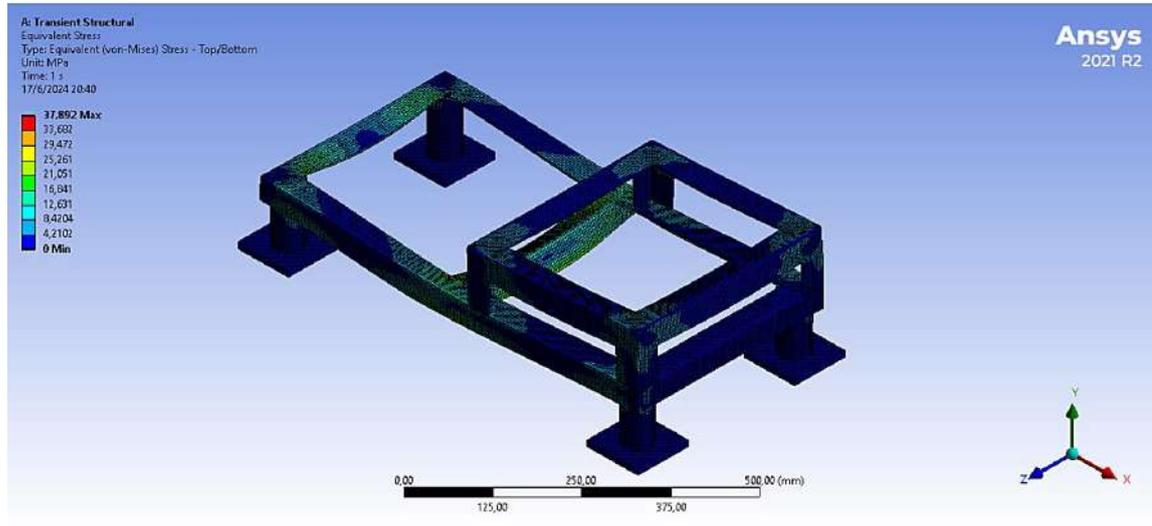
**Ilustración 3-49: Condiciones de frontera base bastidor**

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.5.17.6. Resultados simulación de la base soporte del bastidor

#### - Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del eje

Evaluando la simulación se obtiene un esfuerzo equivalente de (von-Misses) de 37,892 MPa, teniendo un valor inferior al límite de fluencia del AISI 304 de 276 MPa, por lo que se concluye que no existirá fallas en su fase de ductilidad.

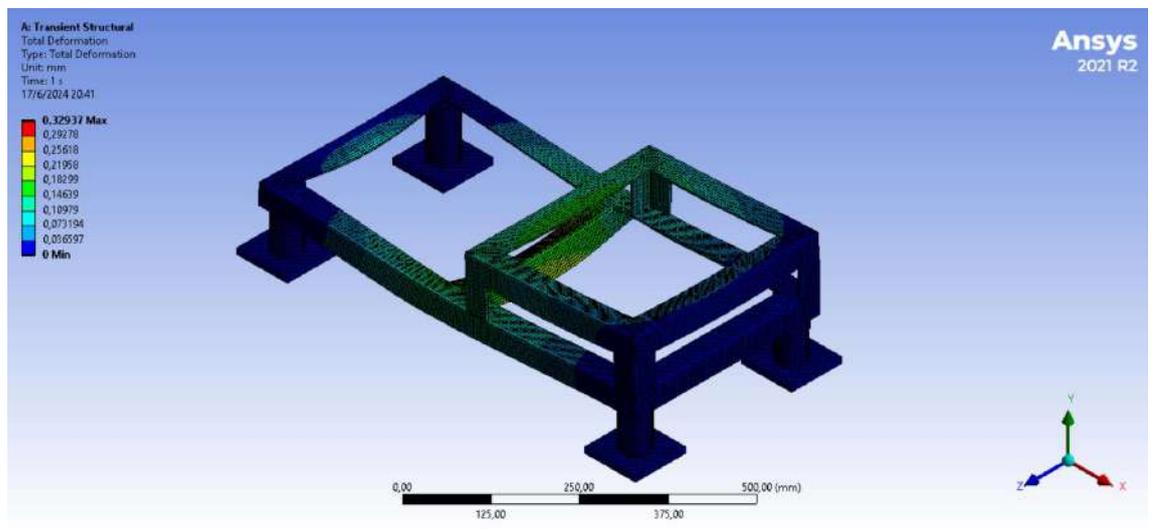


**Ilustración 3-50:** Esfuerzo equivalente de (von-Misses) base bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### - Deformación total de la base soporte del bastidor

Para la verificación de la deformación del bastidor los valores referenciales de la ilustración 4-2, obteniendo una deformación máxima de 0,32937 mm, siendo un valor adecuado para garantizar que no existan fallos por cizalladura u otro factor de análisis ingenieril.

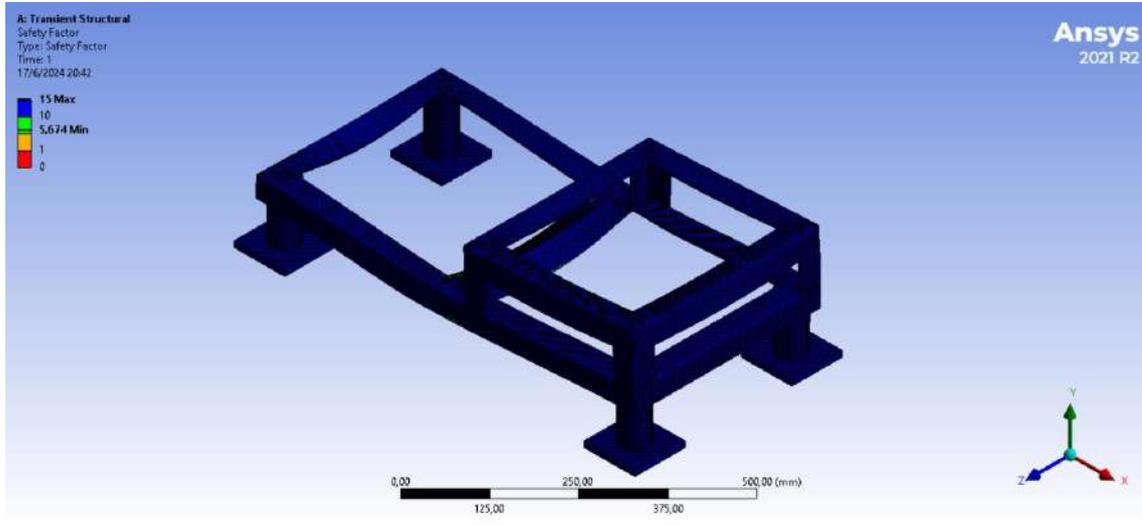


**Ilustración 3-51:** Deformación total base bastidor

Realizado por: Loachamin L., 2023

### - **Resultado del análisis del factor de seguridad**

Garantizando que la estructura no tendrá falla o aplastamientos en su funcionamiento en base a la simulación se obtiene un factor de seguridad 5,67 en las zonas críticas donde se aplican las cargas y fuerzas remotas del molino de martillos, esto garantiza la durabilidad y reducir costos de fabricación al no estar sobredimensionado.



**Ilustración 3-52:** Factor de seguridad base bastidor

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

### - **Análisis modal**

#### **3.6. Construcción y ensamblaje del molino de martillos**

Para los procesos de construcción se ha planificado en base a etapas desde la primera etapa que es la implementación de planos de construcción y manufactura de cada pieza diseñada en el diseño a detalle, detallando el material utilizado en cada pieza, dimensiones, tolerancias geométricas y tipos de acabados superficiales, comprendiendo el grado de complejidad que tiene la construcción del molino de martillos y teniendo un panorama claro de los procesos que se requiere, procedemos a una segunda etapa de la cotización y disponibilidad de los materiales, componentes y equipos en el mercado nacional para el proceso de construcción, la información de la cotización se adjunta en el Anexo C, los datos del motor seleccionado en base al principio de la ley de Rittinger se evidencia en la ilustración 3-6, el detalle de los perfiles, espesor y dimensiones de la plancha se evidencia en el "Anexo H", cumpliendo la etapa dos comenzamos con la etapa de construcción que sería una tercera etapa.

En la tercera etapa se realizó una división en seis procesos para una adecuada manufactura y construcción del molino de martillos en los tiempos y cronogramas planificados en el anteproyecto, los procesos de manufactura a emplear son: corte, doblado, rolado, gratado, torneado y fresado, estos procesos se emplean a las piezas diseñadas en el diseño a detalle en base a los planos de construcción y manufactura, finalizada la tercera etapa, para complementar la



#### *3.6.1.2. Proceso de doblado*

Este proceso es realizado a varias piezas del molino de martillos en donde se aplico el conocimiento de chapa metálica en la parte del bastidor, en la tolva, etc.

Este proceso ha facilitado reducir costos de los consumibles de soldadura y obteniendo una adecuada precisión en cada parte formado mediante la aplicación de chapa metálica.

Para formar el bastidor se ha realizado el dimensionamiento de una sola pieza, con los respectivos cortes necesarios, para proceder al doblado de la caja del bastidor a un ángulo de 90°, obteniendo dimensiones de 215mm\*225mm a una altura de 800mm, para este proceso se utilizó la maquina universal dobladora con sus respectivas cuchillas, terminado el doblado se realiza puntos de soldadura en las esquinas superior e inferior de la caja para evitar descuadres en la trasportación de la pieza.

La tolva tiene dos componentes realizados mediante chapa metálica el un doblado es la parte frontal de la tolva realizando un doblado de una ceja a un ángulo de 90° y la parte de la base inferior de la tolva realizando el respetivo corte a laser con sus configuración y dimensiones adecuadas para proceder al doblado a un ángulo de 30° y obtener la caída necesario de la tolva.

#### *3.6.1.3. Proceso de rolado*

El proceso de laminado de chapa es un proceso de conformado mecánico en el que se utilizan rodillos para lograr la forma deseada. El proceso consiste en colocar la placa del tamaño correcto sobre los rodillos y ajustar gradualmente hasta lograr la forma deseada. Para este proceso se opta por el trabajo en frío porque no es un montaje muy complicado.

Para la fabricación de la carcasa del molino de martillo en un espesor de 4 milímetros se sometió al proceso de rolado para darle forma de un semicírculo la parte superior de la carcasa, utilizando rodillos especiales debido que tiene un espesor con un grado de complejidad al rolar. Finalizado el proceso de rolar se realiza la unión de las tapas de la carcasa mediante puntos de suelda con el objetivo de evitar descuadres de la pieza por factores de trasporte de las piezas o rematado final de la carcasa.

#### *3.6.1.4. Proceso de gratado*

Con la finalidad de evitar gastos innecesarios se realiza el proceso del gratado después de realizar los respectivos cortes, este proceso de gratado consta en varios procesos para obtener un acabado N4 desde un acabado 2B tipo mate en la ilustración 3-62, se observa la diferencia del tipo de acabados mencionado. Con la aplicación de discos de grata multilijas como se observa en la ilustración 4-89 y la amoladora se procede a pasar por las superficies de las piezas cortadas de forma uniforme para evitar rayones o dañar el acabado N4.



**Ilustración 3-55:** Discos de grata multilijas 7"

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

Terminado el proceso de aplicación del disco de grata multilijas, se procede a realizar una aplicación de una esponja tipo estropajo (lavaplatos) para perder rayas visibles obteniendo una superficie más uniforme y brillante, finalmente en la etapa seis se complementa el gratado con la limpieza con químicos adecuados para la obtención de un acabado tipo N4 con una superficie sin rugosidad, este proceso es realizado al frío.

#### *3.6.1.5. Proceso de torneado*

El proceso de torneado de ejes o elementos rotativos en acero inoxidable es un proceso de mecanizado con un grado de dificultad, donde la experiencia del uso del torno facilitara el proceso del mecanizado el eje principal, existen dos secciones importante en el eje donde se requiere tener precisión debido que son las secciones donde van colocado los rodamientos con su respectiva chumacera, el eje principal tiene una longitud total de 370mm, tiene dos secciones roscadas y redondeos para evitar arista cortantes en el eje, para el mecanizado del eje es importante la utilización de insertos de vidia para el mecanizado del eje a velocidades de corte lento debido a la dureza del acero AISI 304 y para las roscas se utilizara cuchilla de acero rápido (HSS).

Realizado los diferentes desbastes del eje principal donde se asentarán las chumaceras, la polea, se realiza el acabado final que se realiza dejando una sobredimensión de al menos dos décimas, para dejar un acabado tipo espejo, evitando tener rugosidad o impurezas y mejorar la precisión dimensional, finalizado el mecanizado del eje principal obtenemos un eje con precisión de ajuste de rodamientos y roscas precisas acorde a las tuercas a colocar siendo un eje duradero para someterse a cargas dinámicas y trabajos exigentes industriales, como se observa en la figura 3-63.



**Ilustración 3-56:** Torneado del eje principal

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

#### *3.6.1.6. Proceso de manufactura mediante fresadora*

Para el proceso de manufactura mediante fresadora es similar al proceso de torneado, debido a ser máquinas herramientas teniendo la diferencia que la fresadora son para piezas no rotativas, el proceso de fresado en nuestro eje principal se utiliza en el mecanizado de la chaveta para la transmisión de potencia entre la polea y el eje principal, se realiza mediante un cabezal universal divisor y una fresa de cuatro cortes, realizando a velocidades de corte reducidas para evitar daños o roturas de los filos de la fresa.

#### *3.6.2. Etapa de montaje del molino de martillos (Etapa cuatro)*

##### *3.6.2.1. Montaje del bastidor y tolva de entrada*

Para el montaje del bastidor y la tolva del molino de martillos es importante realizar mediante la unión por cordones de soldadura mediante el proceso GTAW o también conocido como soldadura TIG, es un proceso que, mediante la formación de un arco eléctrico entre el electrodo de tungsteno no consumible y el punto de soldadura, esta soldadura no es necesario tener aporte de un material adicional pero en el caso de requerirlo se puede complementar con una varilla de aporte ER308L existente en diferentes diámetros, esta información se detalla en el capítulo dos del marco teórico, es muy importante la experiencia del soldador para realizar un buen acabado y ensamblando de la mejor manera, se ha utilizado este proceso al ser una soldadura limpia sin salpicaduras u otras impurezas esto sucede debido al gas protector que se utiliza en el proceso GTAW, en nuestro proyecto se utilizó el argón como gas protector, este tipo de soldadura se diferencia con el proceso GMAW o SMAW debido que las salpicaduras es un problema en esos tipos de procesos.



**Ilustración 3-57:** Montaje de la soldadura proceso GTAW

Realizado por: Loachamin L., 2023

El acero inoxidable es utilizado en varios sectores uno de más demanda es el sector alimenticio en base a la norma NTE INEN-ISO 22000 que requiere que todo el sector alimenticio sea realizado con acero inoxidable AISI 304, es importante mantener precauciones adecuadas para la reducción de la contaminación, la oxidación y deformación del metal base, por lo cual la experiencia del soldador es muy fundamental para la calibración de la máquina y el gas, obteniendo un acabado de calidad tipo N2.



**Ilustración 3-58:** Soldadura con aporte proceso GTAW

Realizado por: Loachamin L., 2023

Finalmente concluido el ensamblaje mediante juntas y cordones de soldadura es importante la limpieza de cada cordón de soldadura mediante la aplicación de químicos y varios procedimientos que con la práctica se adquiere esos conocimientos para tener el acabado deseado tipo N2 en toda la maquina y observar si no existe porosidad u otros factores externos que con el tiempo pueden afectar a la soldadura en acero inoxidable.

### 3.6.2.2. Montaje de la cámara de trituración

Para el montaje de la cámara de trituración es importante la obtención de los ejes roscados secundario y las tuercas y contratuercas para garantizar seguridad al operario, de ser posible adquirir tuercas de acero inoxidable 304 de seguridad.

En el eje principal se coloca los siete discos porta-martillos con sus respectivos separadores para tener mayor precisión es importante estos separadores dejar la medida precisa mediante la aplicación de la máquina herramienta de un torno convencional, estos discos y separadores serán ajustados con los bocines sujetadores de la cámara de trituración, posterior se realiza el ensamblaje en las chumaceras para montarlos en el bastidor que se visualiza en la ilustración 3-66.



**Ilustración 3-59:** Montaje de los discos porta-martillos

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

Realizado el montaje de los discos y los separadores como se observa en la ilustración 3-66, se procedes con el montaje de los veinte y cuatro martillos trituradores con sus respectivos ejes roscado, tuercas y separadores garantizando una separación precisa entre martillos, es importante realizar el montaje de los martillos de manera alternada para evitar choques o rozamientos entre ellos que se visualiza en la ilustración 3-67.



**Ilustración 3-60:** Montaje de la cámara de trituración en el bastidor

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

### *3.6.2.3. Montaje del sistema de transmisión*

Para el montaje del sistema de transmisión es importante el cálculo realizado en el diseño al detalle para tener valores de referencia en la distancia entre centros de las poleas, es importante la construcción de una base soporte del motor, se debe realizar su respectivo templador para evitar cristalizaciones de la banda o deslizamientos de las poleas, garantizando el parámetro de la durabilidad del sistema de transmisión en la ilustración 3-68, se observa la base del motor con su respectivo templador obteniendo un sistema de transmisión adecuado al calculado en el diseño al detalle.



**Ilustración 3-61:** Montaje del sistema de transmisión

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

Finalmente, para garantizar el parámetro de máquina segura, se construye y se realiza el montaje de un protector de banda en chapa metálica de 2mm de espesor, cubriendo la zona del sistema de transmisión que se visualiza en la figura 3-68.



**Ilustración 3-62:** Ensamblaje total del molino de martillos

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

### **3.7. Análisis de costos**

En esta sección se detallarán los valores de costos de construcción del molino de martillos, al no disponer de máquinas herramientas para el proceso de torneado, fresado, rolado y soldadura se considerarán costos de alquiler de las diferentes maquinas herramientas y la mano de obra necesaria para la construcción del molino de martillos.

#### **3.7.1. Costos directos**

Estos costos tienen relación con materiales y componentes empleados en la construcción del molino de martillos, en este análisis de costos directos se incluyen los costos de mano de obra para el mecanizado y montaje del molino, en las siguientes tablas presentadas a continuación se describirá cada uno de los costos mencionados.

**Tabla 3-27:** Análisis de costos de materiales

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Sub total [USD]
1	Angulo acero inoxidable inox 40x4mm (20,882Kg)	kg	2	77,76	109,7024
2	AC INOX 304 RED Ø1½” (375mm)	kg	1	16,80	16,80
3	AC INOX 304 RED Ø1¼” (375mm)	kg	1	7,85	7,85
4	AC INOX 304 RED Ø½” (375mm)	kg	1	1,232	1,232
5	AC INOX 304 RED Ø¾” (145mm)	kg	1	1,736	1,736
6	AC INOX 304 RED Ø½” (145mm)	kg	1	1,497	1,497
7	AC INOX 304 ROSCADA Ø½” (1000mm)	kg	2	15,63	15,63
8	TUB PUL INOX 304 RED Ø5/8”X1,5MM (1000mm)	kg	1	4,0096	4,0096
9	TUB PUL INOX 304 RED Ø1 3/4”X1,5MM (800mm)	kg	1	6,18	6,18
10	Plancha de acero inoxidable AISI 304 mate espesor 4mm	kg	1	318,50	318,50
11	Retazo de plancha de acero inoxidable AISI 304 mate espesor 6mm	kg	1	70,00	70,00
12	Retazo de plancha de acero inoxidable AISI 304 mate de 12mm	kg	1	22,00	22,00
13	CHUMAC SKF PARED 30MM	u	2	62,98	62,98
14	POLEA ALUMINIO 2X6”	u	2	24,83	24,83
15	DISCO CORTE GERMANI 41/2X3/64X7/8	u	5	6,95	6,95

16	PERFORADA INOX REDONDA (0,58X0,215)	kg	1	37,35	37,35
17	Motor WEG monofásico de 5Hp, carcasa cubierta de 1750RPM	u	1	720,00	720,00
18	Guarda motor Schneider	u	1	75,00	75,00
19	Tanque de Argón	u	1	81,00	81,00
20	Discos de grata multilijas	u	2	45,80	45,80
21	Discos de desbaste 4"	u	3	4,00	4,00
22	Bandas de transmisión A-66	u	2	18,00	18,00
23	Tuercas de acero inoxidable 304 de ½"	u	32	10,00	10,00
24	Pernos de acero inoxidable 304 1/2x2"	u	4	5,00	5,00
25	Retazos de platina de acero inoxidable AISI 304 espesor 3mm (2000mm)	kg	1	12,5,00	12,5,00
26	Señalética de seguridad	u	2	8,00	8,00
27	Protector de banda	u	1	30,00	30,00
28	Cable solido N° 8 (3 líneas)	m	5	25,00	25,00
29	Tungsteno azul	u	6	50,00	50,00
30	Aporte de varilla ER308L	lb	2	18,00	18,00
31	AC INOX 304 RED Ø66mm (25mm)	kg	1	12,64	12,64
<b>Sub Total</b>					1822,187

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-28:** Análisis de costos de mano de obra

Ítem	Descripción	Horas-Hombre	Costo x hora	Sub Total [USD]
1	Cortadora laser			200,00
2	Técnico de taller	24	3,25	78,00
3	Soldador proceso GTAW	36	12,5	450,00
<b>Sub Total</b>				728,00

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-29:** Análisis de costos de equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Horas-Equipo	Costo x hora	Sub Total [USD]
1	Torno	20	10,00	200,00
2	Fresadora	2	10,00	20,00
3	Amoladora	6	4,00	24,00
4	Roladora	1	6,00	6,00
5	Dobladora	2	12,00	24,00
6	Talado	1	4,00	4,00
6	Otras herramientas	4	6,00	24,00
<b>Sub Total</b>				302,00

Realizado por: Loachamin L., 2023

**Tabla 3-30:** Análisis de costos de movilización

Descripción	Costo [USD]
Movilización	40,00
<b>Sub Total</b>	40,00

Realizado por: Loachamin L., 2023

Realizado el desglose de los costos directos en las tablas anteriores se procede a las sumar los totales parciales que se puede visualizar en tabla 3-37.

**Tabla 3-31:** Análisis de costos directos totales

Descripción	Costo [USD]
Costo de materiales y componentes	1822,12
Costo de mano de obra	728,00
Costo de equipos y maquinas herramientas	302,00
Costo de movilización	40,00
<b>Total</b>	2892,127

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.7.2. Costos indirectos

En esta sección de los costos indirectos se base en el diseño y construcción del molino de granos, mediante el aporte de conocimiento ingenieril, y se aumenta un porcentaje del valor total en caso que se generen gastos imprevistos no cotizados, en tabla 3-38 se describen estos gastos.

**Tabla 3-32:** Análisis de costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
Costo ingenieril (5-10%)	289,00
Imprevistos	150,00
Utilidad	0,00
<b>Total</b>	<b>439,00</b>

Realizado por: Loachamin L., 2023

### 3.7.3. *Costos totales*

En esta sección, se suman los costos directos e indirectos para obtener el costo total de inversión del molino de martillos, como se muestra en la tabla 3-39.

**Tabla 3-33:** Costos totales del molino de martillos

<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
Costos directos	2892,127
Costos indirectos	439,00
<b>Total, de inversión</b>	<b>3332,127</b>

Realizado por: Loachamin L., 2023

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados y validación CAE

La validación de los resultados obtenidos en el diseño detallado del molino de martillos se lleva a cabo mediante el uso de softwares de ingeniería asistida por computadora (CAE), que permiten realizar simulaciones detalladas y precisas. Este proceso es crítico en el desarrollo de maquinaria, especialmente en ingeniería mecánica, donde se aplican conocimientos adquiridos durante la carrera. Se focaliza en la simulación de componentes expuestos a cargas críticas, empleando técnicas como el análisis de elementos finitos (FEA) para comprender el comportamiento estructural y mecánico. Estas simulaciones, parte integral de un trabajo de integración curricular, no solo validan el diseño, sino que también fortalecen las habilidades de interpretación y toma de decisiones del ingeniero, identificando áreas de mejora y previniendo posibles fallos antes de la fabricación del producto final.

La aplicación de simulaciones CAE en el diseño del molino de martillos no solo garantiza la eficacia y confiabilidad del producto final, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades avanzadas en ingeniería mecánica, preparándose para abordar desafíos complejos en la industria de maquinaria, en la ilustración 3-5, se muestra el ensamble general del molino de martillos y cada componente perteneciente al ensamble global.

#### 4.2. Validación del diseño mediante software (CAE)

La validación mediante software CAE sigue una metodología establecida en la práctica, donde la calidad de la malla juega un papel crucial para obtener resultados realistas. En nuestro proyecto, utilizamos ANSYS como herramienta de análisis estructural, importando la geometría desde SolidWorks en formato nativo. step. Posteriormente, simplificamos, corregimos y reparamos la geometría en SpaceClaim, una herramienta integrada del paquete del software ANSYS.

Obtenida la geometría, la vinculamos el caso de estudio en el framework de Workbench. Definimos el material, para nuestra simulación es el acero inoxidable AISI 304, y procedemos a trabajar en la malla de cada elemento a simular. En este proceso, aplicamos técnicas de mallado como el Sizing, entre otras, para obtener valores de acuerdo a las métricas de malla (Mesh metrics), como se muestra en la ilustración 4-3.



**Ilustración 4-1:** Framework ANSYS

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Deformaciones admisibles**

En el molino de martillos se realizará la simulación de elementos de ejes de transmisión y componentes diseñados en el capítulo de diseño a detalle, por lo cual se debe obtener valores de deflexiones y deformaciones admisibles según el tipo de aplicación, tipo de maquinaria y el sector industrial aplicado y varios factores que puedes influenciar, en la ilustración 4-2, se observa valores permisibles establecidos por estándares de la industria y guías de diseño.

Deformación	Aplicación	Deformación permisible*	
Deflexión (debida a flexión)	y	Deflexión máxima en árboles que soportan ruedas dentadas	$[y] = (0.0002...0.0003)L$ , donde $L$ es la distancia entre apoyos
		En el sitio de asiento de ruedas dentadas cilíndricas	$[y] = (0.01...0.03)m$ , donde $m$ es el módulo de la transmisión
		En el sitio de asiento de ruedas dentadas cónicas e hipoidales	$[y] = (0.005...0.007)m$ , donde $m$ es el módulo de la transmisión
		Deflexión máxima en los árboles de los motores asíncronos	$[y] = 0.1h$ , donde $h$ es la holgura entre el rotor y el estator
		Deflexión máxima en árboles de ventiladores	$[y] = (0.0003...0.0005)D$ , donde $D$ es el diámetro del rotor
Deflexión angular (debida a flexión)	$\varphi$	En el sitio de asiento de ruedas dentadas	$[\varphi] = 0.001$ rad
		En un cojinete	$[\varphi] = 0.001$ rad
		En el asiento de rodamientos de bolas	$[\varphi] = 0.01$ rad
		En el asiento de rodamientos de rodillos cilíndricos	$[\varphi] = 0.0025$ rad
		En el asiento de rodamientos cónicos	$[\varphi] = 0.0016$ rad
En el asiento de rodamientos esféricos	$[\varphi] = 0.05$ rad		
Ángulo de torsión (por unidad de longitud)	$\theta/L$	Grúas desplazables y portátiles	$[\theta/L] = 0.0045...0.006$ rad/m
		Husillos de tornos y taladros	$[\theta/L] = 0.00175$ rad/m
		Árboles medios de destinación general	$[\theta/L] = 0.009$ rad/m
		Árboles de cardanes de vehículos ( $d = 30...50$ mm)	$[\theta/L] = 0.005...0.007$ rad/m

**Ilustración 4-2:** Deformaciones admisibles

Fuente: Loachamin L., 2023

- **Esfuerzos admisibles**

El principio de diseño basado en la resistencia establece que, al diseñar estructuras y componentes mecánicos, los esfuerzos o cargas permisibles a los que están sometido el material no deberá supera el esfuerzo admisible o la resistencia última del material ( $S_y$ ).

## - **Factor de seguridad**

Se aplica un factor de seguridad para la validación de un diseño, donde la resistencia del material del componente se divide por el factor de diseño para obtener la tensión de diseño, de modo que la tensión real sobre el componente debe ser menor que la tensión de diseño.

La selección del factor de seguridad dependerá de la interpretación del diseñador y se define en códigos y estándares ASME (Asociación Estadounidense de Ingenieros Mecánicos) y varios códigos existentes, estos factores de seguridad variará depende el tipo de aplicación de la maquinaria evitando el sobredimensionamiento y prediciendo el tipo de falla que se puede presentar.

### **4.2.1. Eje de transmisión**

#### **4.2.1.1. Mallado del eje de transmisión**

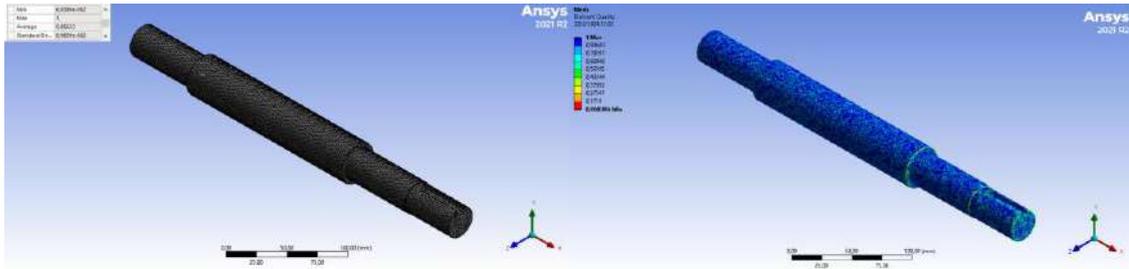
El proceso de mallado sigue una metodología iterativa, basada en la experiencia y la aplicación de técnicas y herramientas específicas. El objetivo es lograr una calidad de malla óptima, evaluada según los parámetros de la ilustración 4-3. En nuestro enfoque de mallado, implementamos un Sizing en todo el cuerpo sólido, reduciendo su valor predeterminado, y aplicamos otro Sizing en los chaflanes del eje para garantizar una calidad de malla adecuada, como se visualiza en la ilustración 4-4.

	MINIMU M	MAXIMU M	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	CORRECT
Element Quality	-4.58E-4	0.999	0.7570	0.2025	1
Aspect Ratio	1	94.942	2.3903	2.1655	1
Jacobian Ratio	1	38.141	1.0829	0.3531	1
Warping Factor	0	0.42	1.1475	0.01389	0
Parallel Deviation	0	135.56	2.4901	7.66	0
Maximum Corner Angle	62.228°	178.71°	94.101°	9.4292°	90-cuadrilateral
Skewness	1.30E-10	0.999	4.82E-2	0.11	0 - 0.25

**Ilustración 4-3:** Evaluación de calidad de mallado

**Fuente:** (Aquino M., 2023)

Este proceso no es sencillo, ya que implica varias iteraciones para obtener valores adecuados en la simulación. La selección cuidadosa de parámetros y la ajustada manipulación de la geometría son fundamentales en este procedimiento.



**Ilustración 4-4:** Métricas de mallado eje principal

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

Para evitar calidades de mallas inadecuados hemos suprimido las roscas de los extremos del eje, debido que causaba mallas de mala calidad y no se podía realizar mejoras, obteniendo las siguientes métricas de mallado en la tabla 4-1.

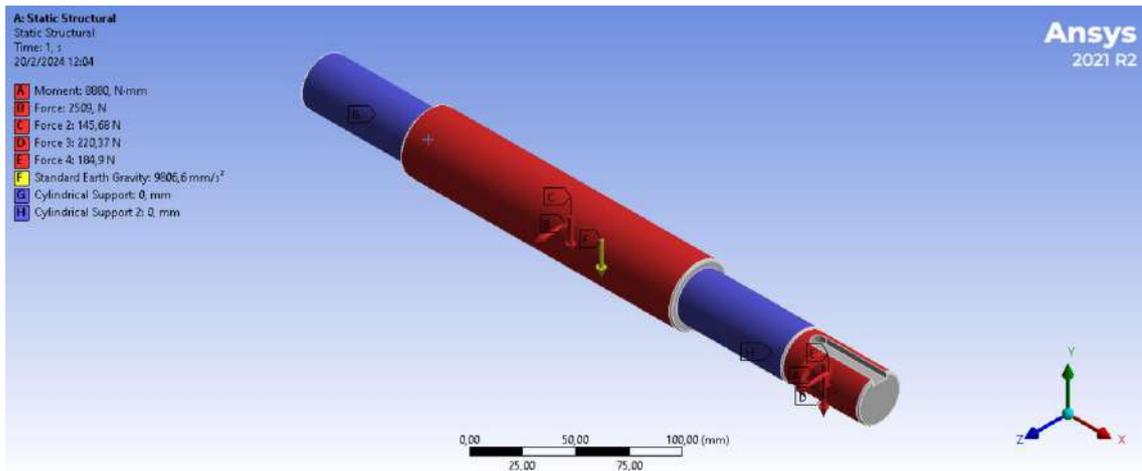
**Tabla 4-1:** Métricas de mallado eje de transmisión

Métricas	Valor promedio
Nodos	502268
Elementos	357575
Element Quality	0,8563

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

#### 4.2.1.2. Condiciones de frontera del eje de transmisión

Para realizar una simulación precisa, se establecen condiciones de frontera que incluyen los apoyos, como los rodamientos, y las fuerzas aplicadas en cada sección del eje principal. El momento torsional que actúa en el segmento de la polea, donde se transmite la potencia al eje de transmisión, se determina a partir del diagrama de momentos torsionales, con un valor específico de 8880 Nmm en nuestro caso. A continuación, se colocan las reacciones de las fuerzas en el segmento de las poleas. Finalmente, se incorporan las condiciones de frontera para el eje de transmisión, considerando la fuerza cortante de los martillos y los pesos paralelos a la gravedad, con el objetivo de lograr una simulación que se alinee estrechamente con los cálculos realizados en el diseño al detalle.



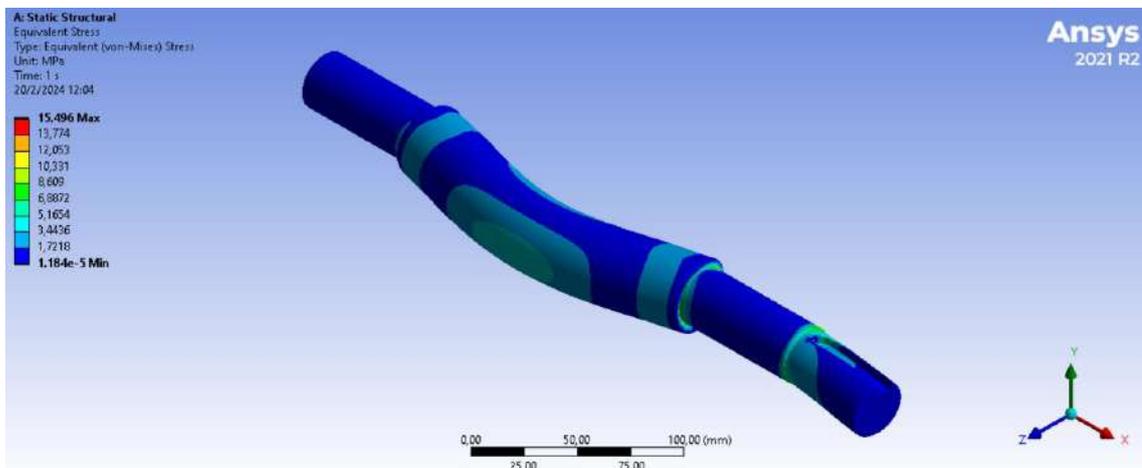
**Ilustración 4-5:** Condiciones de frontera eje

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.1.3. Resultados simulación del eje de transmisión

##### - Esfuerzo equivalente de (von-Mises) del eje de transmisión

Evaluando la simulación se obtiene un esfuerzo equivalente de (von-Mises) de 15,496 MPa, teniendo un valor inferior al límite de fluencia del AISI 304 de 276 MPa, por lo que se concluye que no existirá fallas en su fase de ductilidad.

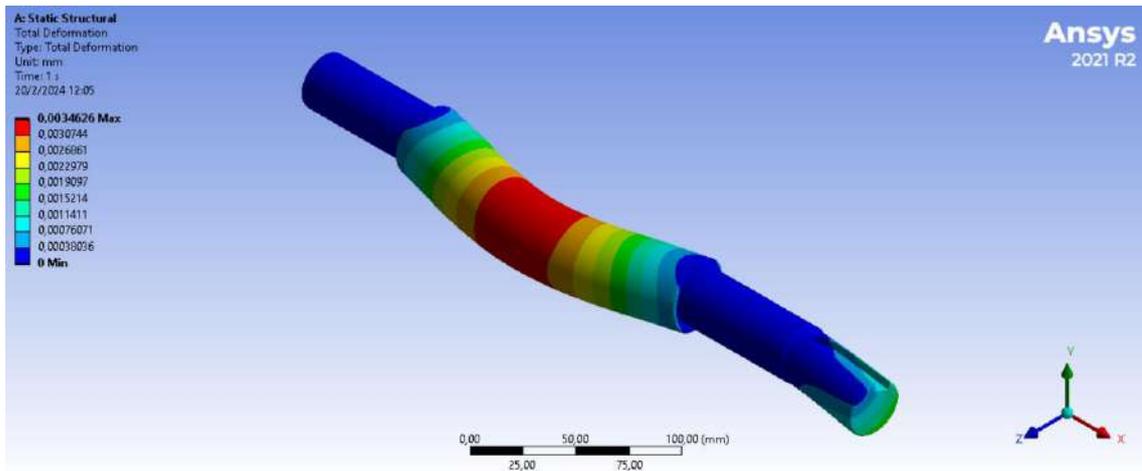


**Ilustración 4-6:** Esfuerzo equivalente de (von-Mises) del eje

Realizado por: Loachamin L., 2023

##### - Deformación total del eje de transmisión

Para la verificación de la deformación del eje de transmisión utilizaremos los valores referenciales de la ilustración 4-2, obteniendo una deformación máxima de 0,0034 mm, siendo un valor adecuado para garantizar que no existan fallos por cizalladura u otro factor de análisis ingenieril.

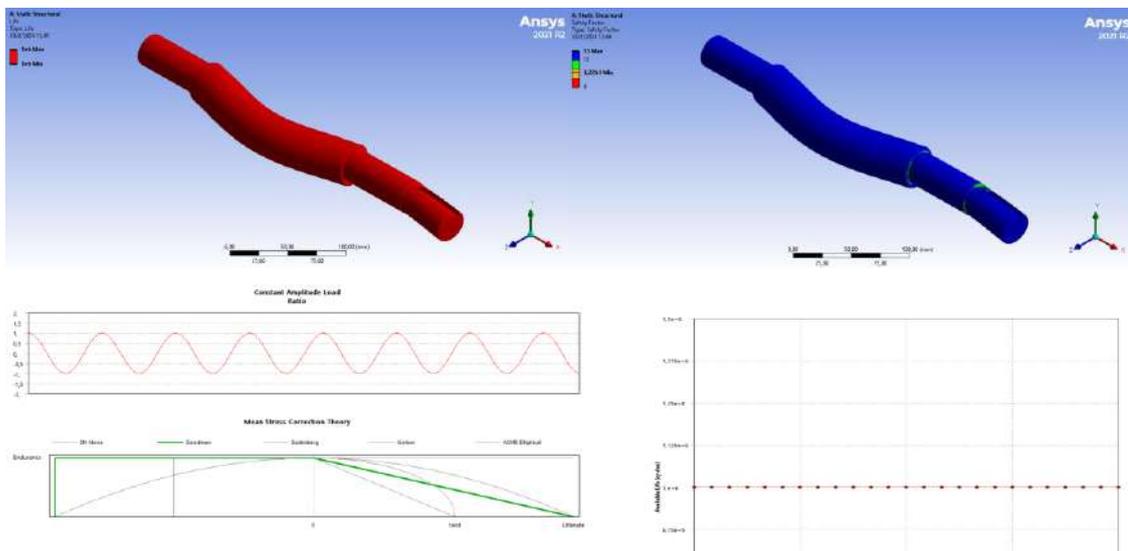


**Ilustración 4-7:** Deformación total del eje

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Resultado del análisis de fatiga del eje de transmisión**

El análisis de fatiga considera ciclos de carga, que son de naturaleza cíclica porque el componente gira constantemente durante su vida útil. Aplicando el criterio de Goodman y el factor de fatiga ( $k=0,6$ ), obtenemos el factor de seguridad correspondiente al valor calculado y la curva de fatiga lineal del eje motor.



**Ilustración 4-8:** Análisis de fatiga del eje de transmisión

Realizado por: Loachamin L., 2023

**4.2.2. Martillo triturador**

**4.2.2.1. Geometría del martillo triturador**



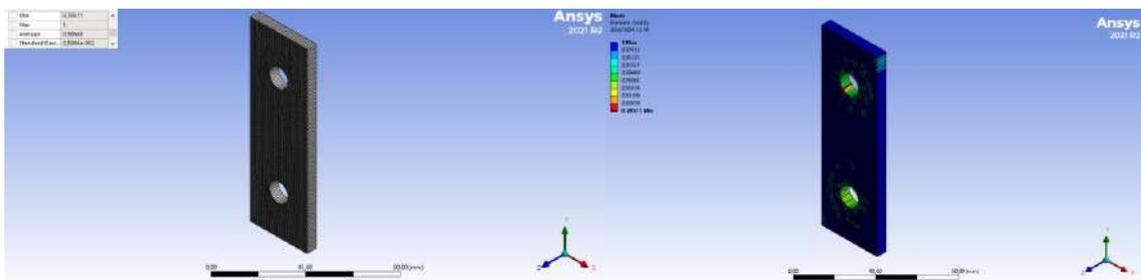
#### **Ilustración 4-9:** Geometría martillo triturador

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

En la configuración geométrica del martillo triturador, se procedió a importar la geometría desde SolidWorks, tal como se mencionó previamente. Posteriormente, en el entorno de SpaceClean, se utilizó la herramienta de Midsurface para convertir los componentes en elementos tipo Shell, considerando la naturaleza de chapa delgada del material. Este proceso se llevó a cabo con el objetivo de obtener una malla de alta calidad, lo cual es crucial para una simulación precisa, ya que los componentes en cuestión son fundamentales dentro de la cámara de trituración y deben evitar posibles fallos o desgastes del martillo.

##### *4.2.2.2. Mallado del martillo triturador*

En el mallado del martillo triturador para obtener una malla de alta calidad no es necesario la aplicación de métodos o estrategias debido que al ser un elemento tipo Shell se caracterizan por obtener mallas de muy buena calidad, sin embargo, aplicaremos un Sizing y Face Meshing para obtener un afinamiento de malla adecuada para el análisis como se visualiza en la ilustración 3-50.



#### **Ilustración 4-10:** Métricas de mallado martillo triturador

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

En la tabla 4-2, observamos las métricas de mallado del martillo triturador, garantizando las métricas propuestas por la ilustración 4-3.

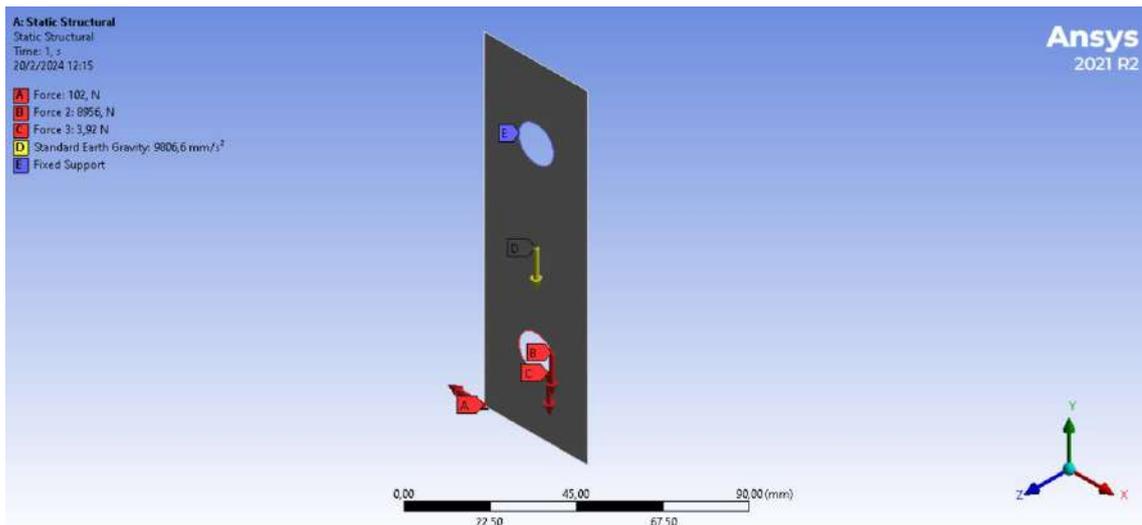
**Tabla 4-2:** Métricas de mallado del martillo triturador

Métricas	Valor promedio
Nodos	12221
Elementos	3960
Element Quality	0,9868

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.2.3. Condiciones de frontera martillo triturador

Como se analizó en el diseño al detalle, el martillo más crítico es cuando se encuentra a 270° en posición de trabajo, por lo cual las condiciones de frontera son: la fuerza centrífuga, el peso del martillo y la fuerza de trituración y un fixed support en el agujero debido que en la posición de trabajo el eje principal transmite el movimiento, como se observa en la ilustración 4-11.



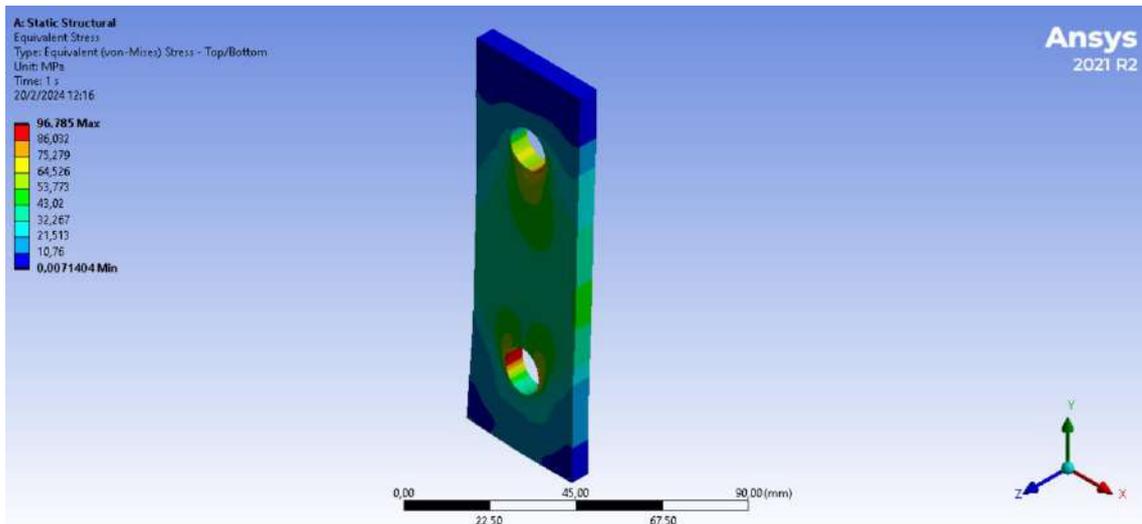
**Ilustración 4-11:** Condiciones de frontera martillo triturador

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.2.4. Resultado simulación martillo triturador

##### - Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del martillo triturador

Evaluando la simulación se obtiene un esfuerzo equivalente de (von-Misses) de 96,785 MPa, teniendo un valor inferior al límite de fluencia del AISI 304 de 276 MPa, por lo que se concluye que no existirá fallas en su fase de ductilidad.

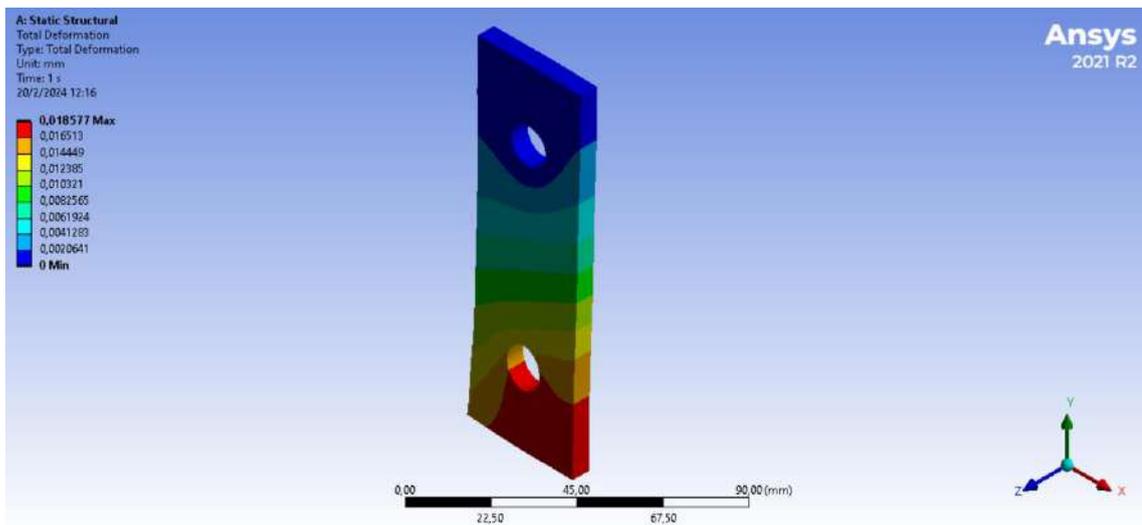


**Ilustración 4-12:** Esfuerzo equivalente de (von-Mises) del eje

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Deformación total del martillo triturador**

Para la verificación de la deformación del martillo triturador observamos que la zona crítica donde se produce mayor deformación es la esquina donde se encuentra la fuerza de corte, obteniendo una deformación máxima de 0,018 mm, siendo un valor adecuado para garantizar que no existan fallos en los martillos.

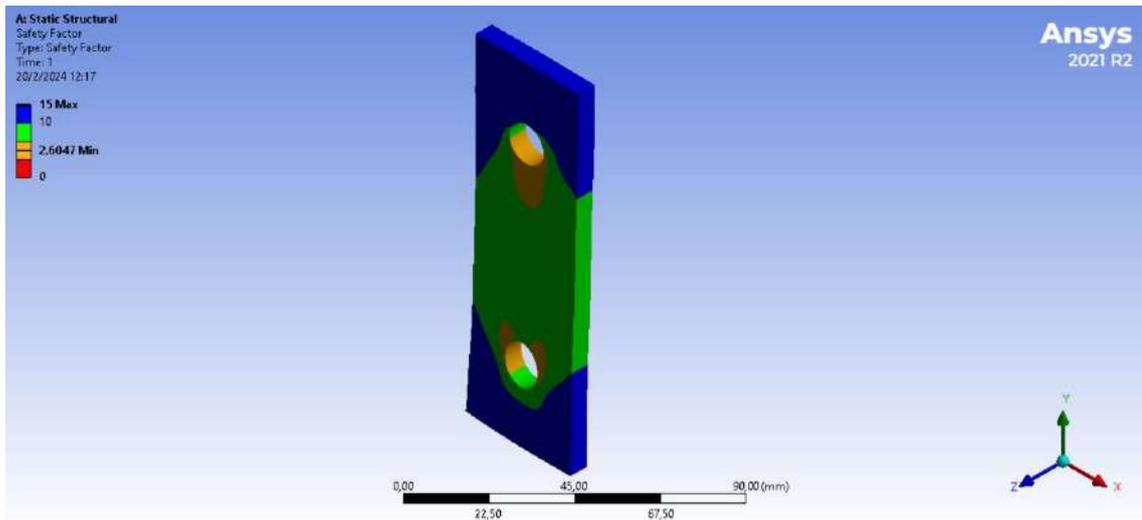


**Ilustración 4-13:** Deformación total del martillo triturador

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Resultado del análisis del factor de seguridad**

Para garantizar un diseño adecuado y no sobredimensionado, para optimizar recursos de fabricación, apoyado de conocimientos de ingeniería obtenemos un factor de seguridad de 2,60, siendo un valor muy cercano al calculado.



**Ilustración 4-14:** Factor de seguridad martillo triturador

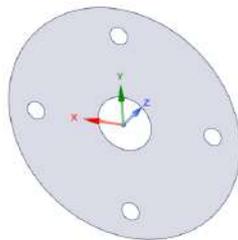
Realizado por: Loachamin L., 2023

### 4.2.3. Disco porta-martillos

#### 4.2.3.1. Geometría del disco porta-martillos

Click an object. Double-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.

Ansys  
2021 R2



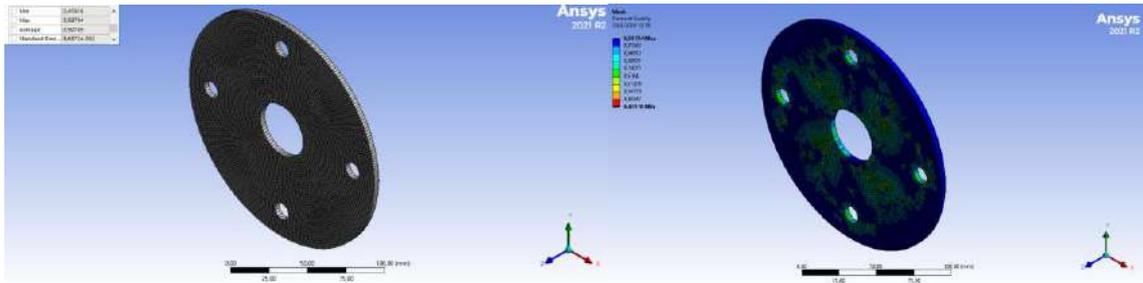
**Ilustración 4-15:** Geometría disco porta-martillos

Realizado por: Loachamin L., 2023

En la configuración del disco porta-martillos, se empleó la técnica aplicado a la simulación de los martillos trituradores, la transformación de elemento solido a elemento Shell para garantizar una buena calidad de malla.

#### 4.2.3.2. Mallado del disco porta-martillos

En el mallado del disco porta-martillos, para obtener una malla de alta calidad no es necesario la aplicación de métodos o estrategias debido que al ser un elemento tipo Shell se caracterizan por obtener mallas de muy buena calidad, sin embargo, aplicaremos un Face Sizing para obtener un afinamiento de malla adecuada para el análisis como se muestra en la ilustración 4-16.



**Ilustración 4-16:** Métricas de mallado disco porta-martillos

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

En la tabla 4-3, observamos las métricas de mallado del martillo triturador, garantizando las métricas propuestas por la ilustración 4-5.

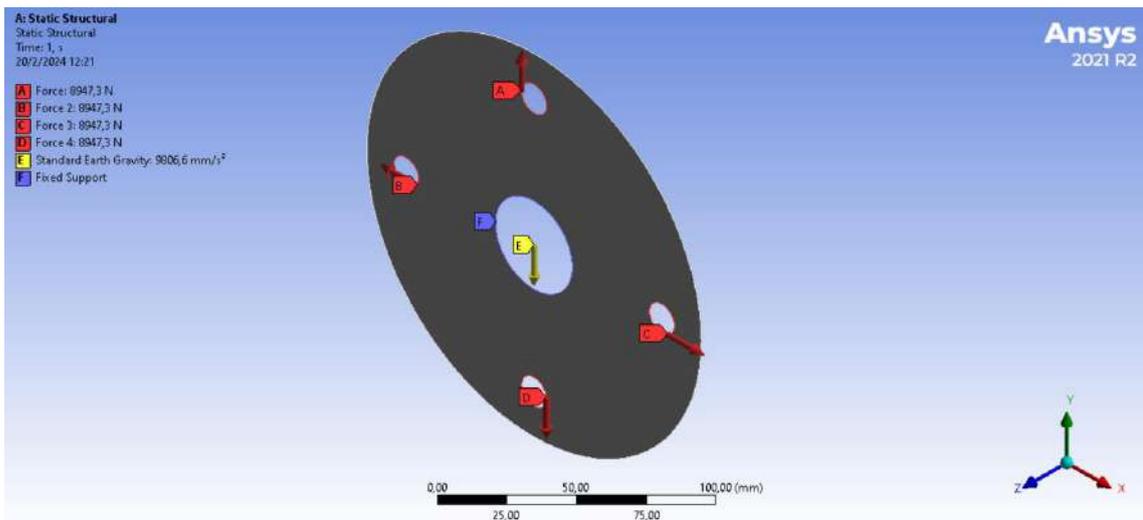
**Tabla 4-3:** Métricas de mallado del disco porta-martillos

Métricas	Valor promedio
Nodos	6341
Elementos	6158
Element Quality	0,9074

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

#### 4.2.3.3. Condiciones de frontera del disco porta-martillos

Para realizar una simulación cercana a la realidad se implementa las condiciones de frontera con criterios de simulación, en nuestro caso se utiliza la fuerza centrífuga en diferentes direcciones en función a cada eje principal y un fixed support en el agujero central del disco porta-martillos como se muestra en la ilustración 4-17.



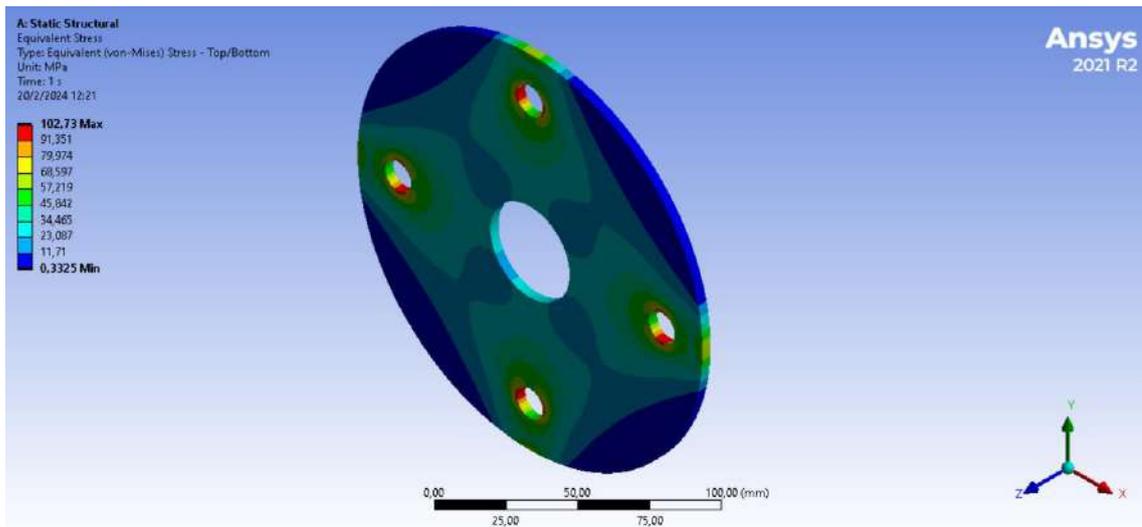
**Ilustración 4-17:** Condiciones de frontera disco porta-martillos

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

#### 4.2.3.4. Resultado simulación martillo triturador

- **Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del disco porta-martillos**

Evaluando la simulación se obtiene un esfuerzo equivalente de (von-Misses) de 102,73 MPa, teniendo un valor inferior al límite de fluencia del AISI 304 de 276 MPa, por lo que se concluye que no existirá fallas en su fase de ductilidad.

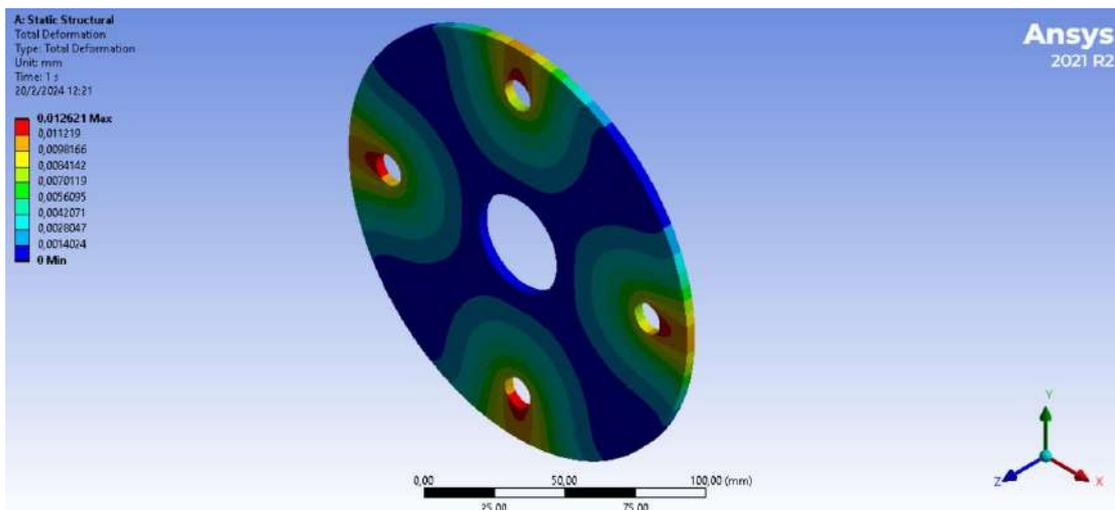


**Ilustración 4-18:** Esfuerzo equivalente de (von-Misses) del eje

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Deformación total del disco porta-martillos**

Para la verificación de la deformación disco porta martillos observamos que la zona crítica donde se produce mayor deformación es debido a la fuerza centrífuga aplicada en cada agujero de los pernos secundario, obteniendo una deformación máxima de 0,012 mm, siendo un valor adecuado para garantizar que no existan fallos por cizalladura.

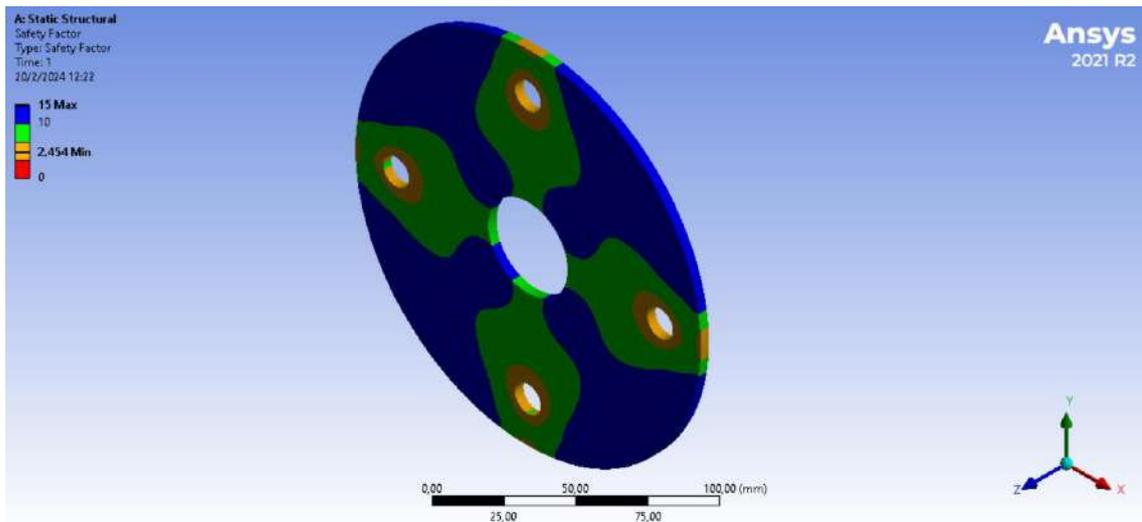


**Ilustración 4-19:** Deformación total del disco porta-martillos

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Resultado del análisis del factor de seguridad**

Para garantizar un diseño adecuado y no sobredimensionado, para optimizar recursos de fabricación, apoyado de conocimientos de ingeniería obtenemos un factor de seguridad estático de 2,45, teniendo valores cercanos am los calculados.

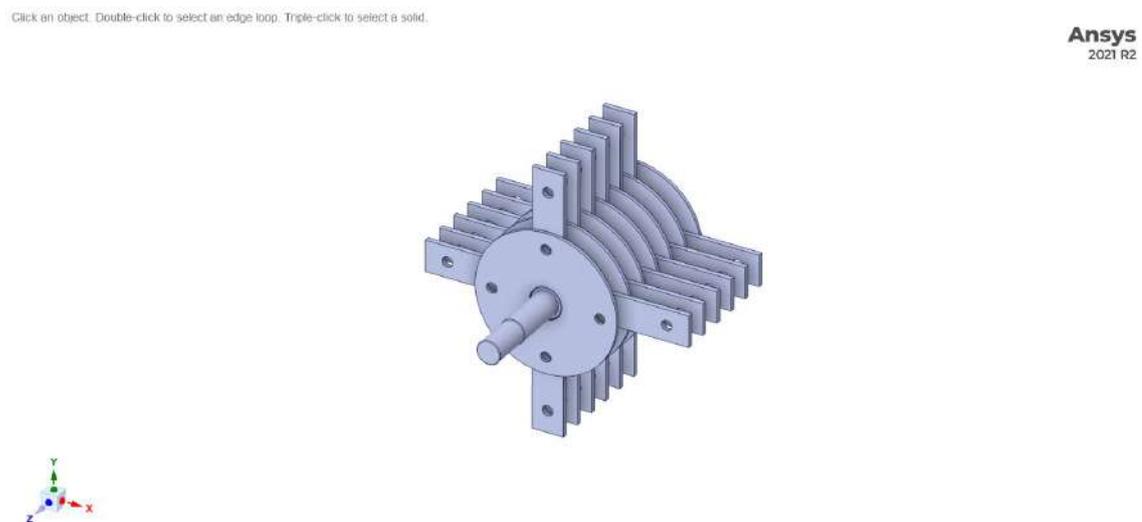


**Ilustración 4-20:** Factor de seguridad disco porta-martillos

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

#### 4.2.4. Cámara de trituración

##### 4.2.4.1. Geometría de la cámara de trituración



**Ilustración 4-21:** Geometría disco porta-martillos

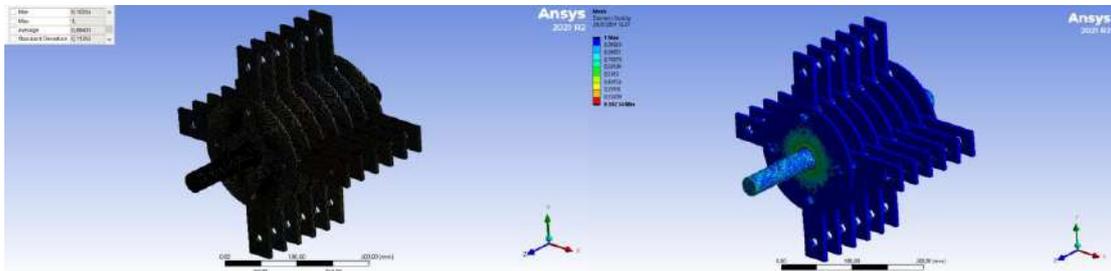
**Realizado por:** Loachamin L., 2023

En la geometría de la cámara de trituración se los trabajo a todos los elementos como elemento sólido, eliminado los elementos como pernos, chaveteros que hacen tener una mala calidad de malla no óptima para la respectiva simulación.

##### 4.2.4.2. Mallado de la cámara de trituración

En el mallado de la cámara de trituración al ser todos los componentes elementos sólidos, se deberá optar por técnicas y herramientas dispuestas por ANSYS para obtener buena calidad de

mallado, en nuestra cámara de trituración al ser elementos de configuraciones circulares y rectangulares se ha optado por un Body sizing en todo los elementos, asignando un valor del Element Size de 1,5mm, para realizar un mejor afinamiento de malla también se utiliza un Automatic Method lineal, aplicando estas dos técnicas obtenemos una calidad de malla de muy buen calidad como se muestra en la figura 4-22.



**Ilustración 4-22:** Métricas de mallado cámara de trituración

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

En la tabla 4-4, observamos las métricas de mallado de la cámara de trituración, garantizando las métricas propuestas por la ilustración 4-5.

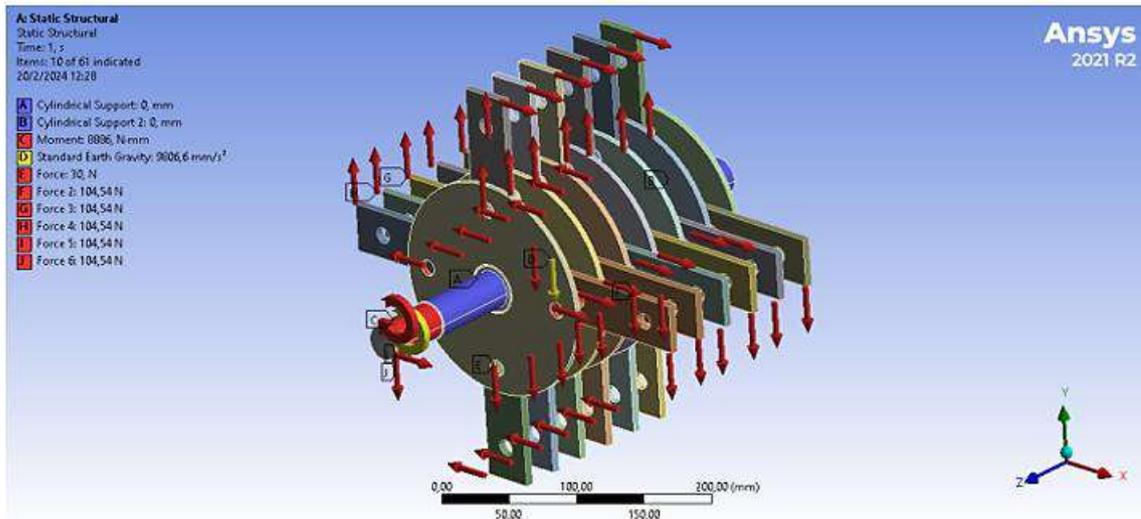
**Tabla 4-4:** Métricas de mallado de la cámara de trituración

Métricas	Valor promedio
Nodos	771203
Elementos	1330770
Element Quality	0,8643

**Realizado por:** Loachamin L., 2023

#### 4.2.4.3. Condiciones de frontera cámara de trituración

Para realizar una simulación cercana a la realidad se implementa las condiciones de frontera con criterios de simulación, en nuestro caso utilizamos la velocidad de rotación de 1750 RPM, en el eje aplicamos Cylindrical Support en la zona donde se asienta en los rodamientos, el momento recibido por el torque del motor de 8886 N-mm, y finalmente aplicamos la fuerza centrífuga en los discos porta-martillos, la fuerza de trituración en cada martillo el peso de los martillos y los discos como se muestra en la figura 4-23.



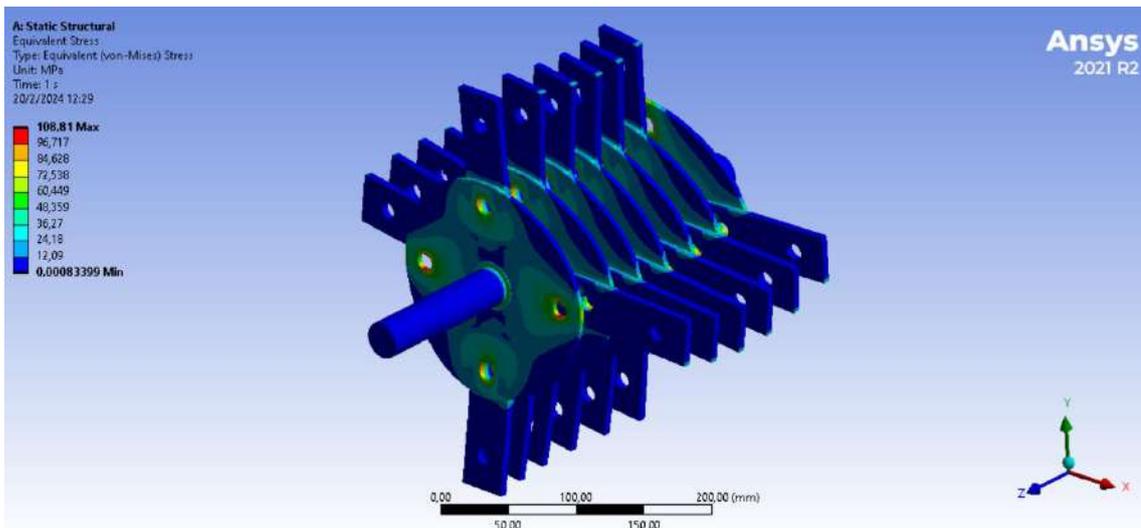
**Ilustración 4-23:** Condiciones de frontera cámara de trituración

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.4.4. Resultado simulación cámara de trituración

##### - Esfuerzo equivalente de (Von-Mises) de la cámara de trituración

Evaluando la simulación se obtiene un esfuerzo equivalente de (von-Mises) de 108,81 MPa, teniendo un valor inferior al límite de fluencia del AISI 304 de 276 MPa, por lo que se concluye que no existirá fallas en su fase de ductilidad.

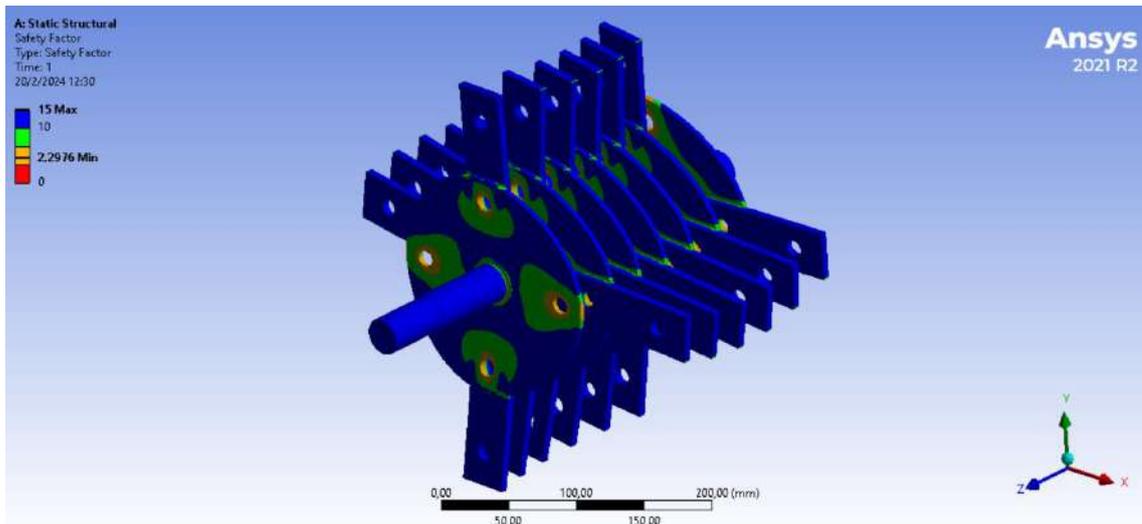


**Ilustración 4-23:** Esfuerzo equivalente de (Von-Mises) de la cámara de trituración

Realizado por: Loachamin L., 2023

##### - Resultado del análisis del factor de seguridad carga estática

Para garantizar un diseño adecuado y no sobredimensionado, para optimizar recursos de fabricación, apoyado de conocimientos de ingeniería obtenemos un factor de seguridad estático de 2,29 que es superior a uno por lo cual el diseño es adecuado.

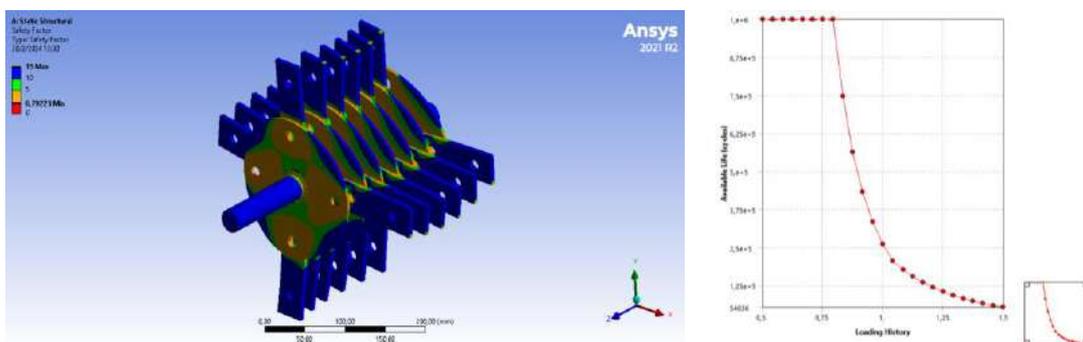


**Ilustración 4-24:** Factor de seguridad cámara de trituración a carga estática

Realizado por: Loachamin L., 2023

- **Resultado del análisis del factor de seguridad a fatiga**

En nuestro diseño en la cámara de trituración obtenemos vida finita en la zona de los pernos sujetadores de los martillos y vida infinita en todo el sistema de la cámara de trituración, para garantizar el diseño adecuado y no esté sobredimensionado y la optimización de recursos de fabricación obtenemos un factor de seguridad mínimo de 0,79, en la zona más crítica, y factor de seguridad superior a 1,5 en el resto de componentes de la cámara de trituración, hacemos valido el diseño en base a conocimientos de ingeniería optando por en un futuro un reforzamiento o un espesor del disco porta martillos de 6mm u optar por un diámetro mayor a realizado en el diseño.



**Ilustración 4-25:** Factor de seguridad cámara de trituración a carga dinámica

Realizado por: Loachamin L., 2023

**4.2.5. Etapa de pruebas de funcionamiento (Etapa quinta)**

Para las pruebas de funcionamientos es necesario el planteamiento de una metodología en donde es importante el análisis de funcionamiento de cada elemento y montajes realizados, cumpliendo con los parámetros de la casa de calidad garantizando un proyecto óptimo, para estas pruebas de funcionamiento se realizarán pruebas con granos de morochillo, maíz y hojas secas.

La metodología que se utilizará en las pruebas de funcionamiento se describirá en los párrafos siguientes, con el apoyo de una tabla de resultados de parámetros importantes evaluados en cada apartado siguiente.

#### 4.2.5.1. Funcionamiento de la estructura y bastidor

- Parámetro uno

En las pruebas de funcionamiento de la estructura es importante evaluar cuando la maquina arranque, movimiento sin carga, movimiento con carga media, movimiento con su capacidad completa, es importante observa que la maquina sea estable y no ejerza fluctuaciones abrasivas, en cada movimiento descrito.

- Parámetro dos

En la evaluación de la tolva de entrada y salida es importante evaluar el ángulo de inclinación sea el necesario para la entrada y salida del producto, teniendo un deslizamiento adecuado para evitar atascamientos de producto.

Estos parámetros se observarán en la tabla 4-5, resultados del protocolo de funcionamiento de la estructura y bastidor.

**Tabla 4-4:** Evaluación de funcionamiento de la estructura y bastidor

<b>Funcionamiento de la estructura y bastidor</b>				
<b>Ponderación</b>	<b>Características</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Método de evaluación</b>	<b>Comentarios</b>
Cs ( x )	ESTABILIDAD	1	Método visual	El arranque y funcionamiento con cada movimiento no es fuerte
Nc ( )				
Cs ( x )	DESLIZAMIENTO	2	Método visual	Se desliza sin inconvenientes en un tiempo adecuado
Nc ( )				

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.5.2. Funcionamiento de la cámara de trituración

- Parámetro uno

Es importante la evaluación de la cámara de trituración de la eficiencia al triturar los granos o hojas secas con la capacidad y tiempo establecido en el diseño conceptual.

- Parámetro dos

Para evaluar las pruebas del funcionamiento de la cámara de trituración es importante realizar una evaluación visual de la separación de los discos, separadores y martillos.

- Parámetro tres

Evaluar las vibraciones en la cámara de trituración producto de algún desalineamiento de los componentes principales que son: disco, martillos, ejes secundarios, y eje principal.

- Parámetro cuatro

Evaluar la seguridad de las tuercas de los ejes secundario y de los discos.

- Parámetro quinto

Evaluar un fácil montaje y desmontaje de la cámara de trituración, evitando gastos adicionales en el mantenimiento de la máquina.

Estos parámetros se observarán en la tabla 4-6, resultados del protocolo de funcionamiento de la cámara de trituración.

**Tabla 4-5:** Evaluación de funcionamiento de la cámara de trituración

<b>Funcionamiento de la cámara de trituración</b>				
<b>Evaluación</b>	<b>Características</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Método de evaluación</b>	<b>Comentarios</b>
Cs ( x )	EFICIENCIA	1	Herramienta	El molino tiene de 10 al 20% de retraso con los tiempos propuestos
Nc ( )				
Cs ( x )	DISTANCIAMIENTO	2	Herramienta	La distancia de 25,4mm es adecuada de separación
Nc ( )				
Cs ( x )	VIBRACIÓN	3	Método visual y auditivo	En el funcionamiento de la máquina no se escucha sonidos perturbantes y no se observa choques o desalineamientos
Nc ( )				
Cs ( x )	SEGURIDAD	4	Método visual	Al utilizar tuerca y contratuercas se garantiza el desapriete de los ejes roscados
Nc ( )				
Cs ( x )	MONTAJE Y DESMONTAJE	5	Método visual y herramientas	Fácil montaje de cada componente con herramientas adecuadas
Nc ( )				

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.5.3. Funcionamiento del sistema de transmisión

- Parámetro uno

Evaluar la relación de transmisión de la polea conductora a la polea conducida con las velocidades calculadas.

- Parámetro dos

Evaluación de la potencia seleccionada sea óptima para vencer la inercia de los granos y hojas para triturar, sin forzamientos o recalentamientos en el motor o en el sistema de transmisión.

- Parámetro tres

Evaluar la vibración del motor en funcionamiento con diferentes tipos de movimientos sin carga, con carga, carga media.

Estos parámetros se observarán en la tabla 4-7, resultados del protocolo de funcionamiento del sistema de transmisión.

**Tabla 4-6:** Evaluación de funcionamiento del sistema de transmisión

<b>Funcionamiento del sistema de transmisión</b>				
<b>Evaluación</b>	<b>Características</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Método de evaluación</b>	<b>Comentarios</b>
Cs ( x )	RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	1	Método visual	El molino cumple con la velocidad de 1750 RPM con una relación de transmisión de 1:1
Nc ( )				
Cs ( x )	POTENCIA	2	Método visual	La potencia es óptima de 5HP, teniendo una pérdida de eficiencia de un 10% en la criba para harinas
Nc ( )				
Cs ( x )	VIBRACIÓN	3	Método visual y auditivo	Se tiene un buen alineamiento del sistema de transmisión por lo cual se evita vibraciones o sonidos retumbantes
Nc ( )				

Realizado por: Loachamin L., 2023

#### 4.2.5.4. Trituración de granos y hojas secas

Para la evaluación del triturado de granos y hojas secas cumplan con los parámetros establecidos en la casa de calidad del producto final, se lo realizará de forma visual con varios granos y hojas secas en distintos tamaños de cribas, tabulando en la tabla 4-8, en esta tabla se visualizará los resultados de pruebas de funcionamiento del producto final.

**Tabla 4-7:** Evaluación de funcionamiento del molino de martillos

<b>Funcionamiento del molino de martillos</b>			
<b>Granos o hojas seca</b>	<b>Diámetro de criba</b>	<b>Resultado</b>	<b>Comentarios</b>
<b>MOROCHILLO</b> 	2mm	Se obtuvo un producto adecuado en el tiempo correspondiente	Es importante adecuar una criba acorde a la necesidad
<b>MOROCHILLO</b>	0.6mm	Se obtuvo un producto muy cercano a la maicena	Es importante reducir la capacidad de molienda al ser de una granulometría fina

			
<p><b>MAIZ</b></p> 	1,2mm	Es un producto ocupado para la alimentación de animales y es un producto uniforme	
<p><b>MOROCHILLO</b></p> 	0,6 mm	Es un producto ocupado para la elaboración de tortillas de maíz	Es importante reducir la capacidad de molienda al ser de una granulometría fina
<p><b>MOROCHILLO</b></p> 	3,5 mm	La segunda utilidad del molino es la elaboración de hojas de té tiene una gran capacidad de molienda y no tiene atrancamientos	Se requiere de tamices superiores a 3.5mm
<p><b>MOROCHILLO</b></p> 	5 mm	Y se puede dar una utilidad para la elaboración de balanceados para animales como pollos, cerdos, etc.	Tiene un aumento de su capacidad que fue diseñado la maquina teniendo una eficiencia optima de funcionamiento

## CONCLUSIONES

- Se logro establecer los parámetros de diseño mediante el apoyo de la metodología del QFD, permitiendo involucra las necesidades del usuario en los parámetros de diseño, mediante la matriz morfología permite seleccionar la eficiencia, factibilidad para el diseño y la construcción del molino de martillos, la selección del tipo de bastidor y la tolva de salida son los componentes más importantes de seleccionar para evitar vibración, inestabilidad en el funcionamiento de la maquina y evitar acumulación de producto triturado, logrando cumplir una capacidad de 150 kg/h.
- Fue posible diseñar y seleccionar cada componente del molino de martillos, el uso de conocimientos, bibliografías y catálogos del diseño de elementos de maquina permitió garantizar un diseño con un alto porcentaje de efectividad evitando los sobredimensionamientos en los componentes, en base a normativas nacionales INEN el material utilizado en nuestro proyecto es el AISI 304 teniendo un límite de fluencia de 276 Mpa, por lo cual no fue necesario la aplicación de un proceso o tratamiento adicional, obteniendo un factor de seguridad del eje principal de 3,5 y de los demás componentes superiores a 1.
- Se realizo el diseño 3D del molino de martillos en el software SOLIDWORKS garantizando el adecuado funcionamiento y distribución de espacios de cada componente, realizar este diseño permite la obtención de planos de construcción y manufactura para la reducción de un 50% de tiempos de fabricación y una reducción de costos económicos de consumibles y no consumibles.
- Se valido cada componente mecánico mediante la aplicación del análisis de elementos finitos del molino de martillos, donde fue importante trabajar en la obtención de la calidad de malla evaluando con el parámetro de ELEMEN QUALITY, para obtener resultados eficientes, en estos análisis se comprobó la resistencia desde el punto de vista estático y dinámico donde fue posible obtener un numero de ciclos adecuado para considera vida infinita del molino de martillos.
- Se realizo la construcción y montaje del molino de martillos garantizando los parámetros de diseño evaluados en el diseño a detalle, y se evaluó el funcionamiento de la maquina mediante una tabla de evaluación de parámetros propuestos, teniendo una eficiencia del 80% del funcionamiento de la maquina a los parámetros calculados.

- Se analizaron costos directos e indirectos para una comparación económica entre las alternativas propuestas en el diseño conceptual, logrando cumplir el objetivo de reducción de costos económicos en su fabricación teniendo una inversión total de \$3332,12 dólares, teniendo una reducción del 12-15% a máquinas existentes.

## **RECOMENDACIONES**

- La trituración de granos secos y hojas para té a un nivel industrial generan una gran cantidad de producto final de salida por lo cual se recomienda una implementación de un sistema de aliviamiento de producto este análisis se puede realizar en un próximo estudio complementando con un molino con una eficiencia optima de funcionamiento.
- Se recomienda para la optimización de tiempos de fabricación y reducción de recursos consumibles del proceso GTAW, se recomienda el uso de tecnologías para la fabricación siendo una alternativa el corte a laser.

## BIBLIOGRAFÍA

**AWS D1.6/D.16M:2017 AMD1.** *Estructural Welding Code Stainless Steel*

**BERMEO, Carolina.** Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas [En línea] (Trabajo de titulación). ESPE, Latacunga, Ecuador. 2014. [Consulta: 2024-02-10]. Disponible en:

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8299/1/T-ESPEL-EMI-0254.pdf>

**BUDYNAS, Richard; et al.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* [en línea]. 8<sup>va</sup> edición. México D.F: McGraw-Hill, 2012. [Consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en

<https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>

**EDU, ar.** *Reducción de tamaños de molinos* [blog]. [Consulta: 7 febrero 2024]. Disponible en:

<https://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo9.pdf>

**LASLUISA, Welington.** Diseño de una maquina picadora de forraje y trituradora de granos de maíz empleada para la elaboración de alimentos de bovinos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2023. [Consulta: 2023-11-07]. Disponible en:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23152/1/CD%2012578.pdf>

**MERINO, Casals.** Aceros inoxidables. Dextra Editorial, 2015 [Consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en:

<https://elibro-net.proxy.esPOCH.edu.ec/es/lc/esPOCH/titulos/139749>

**MOTT, Robert.** Diseño de elementos de máquinas [en línea]. 4<sup>a</sup> edición. México D.F: Pearson Educación, 2012. [Consulta: 14 enero 2024]. Disponible en:

[file:///D:/Respaldos%202021/Downloads/DISE%C3%91O%20DE%20ELEMENTOS%20DE%20MAQUINAS%20Robert%20L.%20Mott%204%20\(2\).pdf](file:///D:/Respaldos%202021/Downloads/DISE%C3%91O%20DE%20ELEMENTOS%20DE%20MAQUINAS%20Robert%20L.%20Mott%204%20(2).pdf)

**NTE INEN ISO 712:2013.** *Cereales y Productos de Cereales. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia (IDT)*

**PALLASCO Francisco; et al.** Diseño y construcción de un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingredientes del te sachet, con capacidades de 25 kg/h para “La fundación familia salesiana salinas”. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2018. [Consulta: 2023-11-07]. Disponible en:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16533/1/UPS-ST003848.pdf>

**PAVON, Andrés.** Diseño y construcción de un molino artesanal para la molienda de granos secos de capacidad 250 kg/h. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. [Consulta: 2023-12-23]. Disponible en:  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6940/1/CD-5195.pdf>

**CUADRADO, Rafael & RUEDA José Luis.** Diseño y construcción de un molino de martillos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2009. [Consulta: 2023-11-07]. Disponible en:  
[file:///D:/Respaldos%202021/Downloads/UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO DISEN%20\(1\).pdf](file:///D:/Respaldos%202021/Downloads/UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO DISEN%20(1).pdf)

**SALAZAR, Mauro; et al.** Diseño y construcción de un pulverizador de productos deshidratados, con capacidad de 30 kg/h para un sistema de producción agroindustrial. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2023. [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/19209/1/15T00871.pdf>

**ZAMBRANO, Ider.** Propuesta de implementación de una línea de producción industrial de mix de harinas con valor biológico [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2022 [Consulta: 2023-01-08]. Disponible en:  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52463/1/T88962%20ZAMBRANO%20FRANCO%2c%20IDER.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A: ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

¿El molino debe ser de fácil uso?

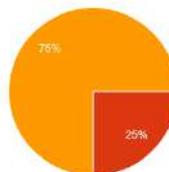
4 respuestas



- Sí
- No

¿Considera usted que el ruido es un factor importante en la construcción del molino?

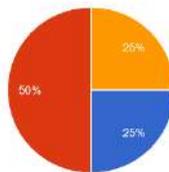
4 respuestas



- Tal vez
- Sí
- No

¿La movilización del molino debe ser?

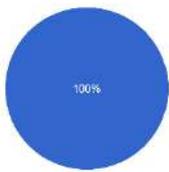
4 respuestas



- Facil de transportarse
- Seguir un protocolo para la traspoteacion
- No es importante al estar fijo en un solo lugar

¿La estructura del molino debera ser:

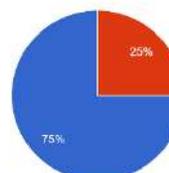
4 respuestas



- Bien estable
- No es importante se requiere economizar costos de fabricación
- La estutura debe ser pesado

¿Para realizar alguna limpieza o cambio de repuesto?

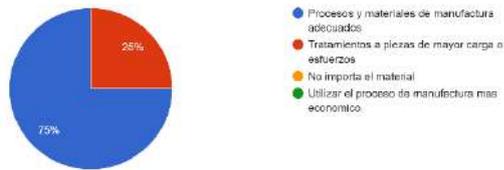
4 respuestas



- Debe tener un manual de facil mantenimiento
- Se debe requerir siempre un técnico de mantenimiento
- No importa realizar el mantenimiento

¿Usted de que parámetro considera que depende la durabilidad de la maquina?

4 respuestas



¿Que tipo de molinos considera que es mas adecuado para una producción a gran escala?

4 respuestas



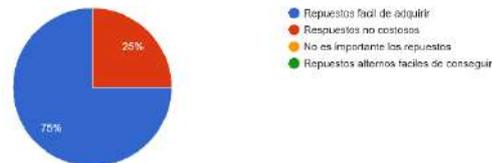
¿ Seleccione el precio que usted estaria dispuesto a pagar por un molino de martillos?

4 respuestas



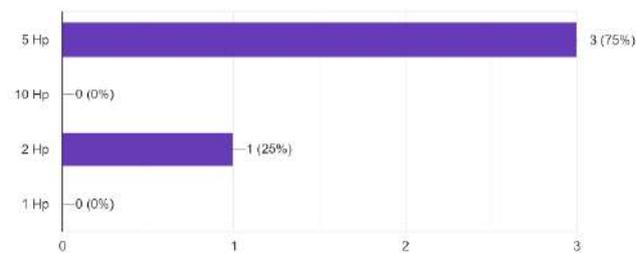
¿Que parametro seleccionaria usted para los repuestos del molino?

4 respuestas

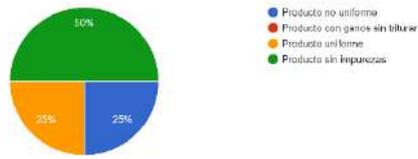


¿ Seleccione la potencia que usted requeriria para el procesos de grandes cantidades de materia prima?

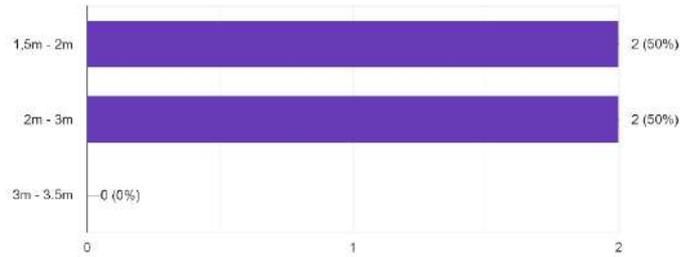
4 respuestas



¿El producto final obtenido mediante el molino de martillos que característica debe tener?  
4 respuestas



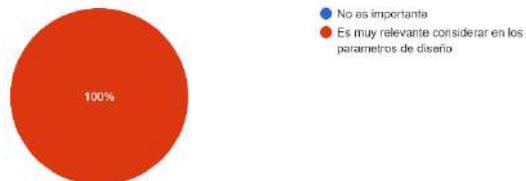
¿Seleccione las dimensiones que usted le gustaria, si desearia adquirir un molino de martillos?  
4 respuestas



¿Considera usted que la seguridad del operador es importante condiserar en los parametros de diseño?  
4 respuestas



¿Usted al adquirir un molino de martillos, consideraria el cuidado del medio ambiente?  
4 respuestas



**ANEXO B: ANÁLISIS DE COMPETENCIAS SIMILARES– CASA DE CALIDAD  
SIRCA MAQUINARIA AGROINDUSTRIAL**



Guayaquil, 13 de Diciembre del 2023

Sr. Luis Loachamin  
Teléfono: 095 869 7739  
E-mail: lmlp\_10@hotmail.com  
Ciudad.-

**PROFORMA**

**POR LO SIGUIENTE**

**DEBE**

**Un Sistema de Molienda, con Molino de Martillos, marca SIRCA.  
Para: Granos secos.**

**Características:**

- Capacidad: Hasta 5 qq. Por hora.
- Construcción y estructura totalmente metálica (**Acero al Carbono**).
- Con doble criba o Tamices de Acero al Carbono.
- Martillos de **Acero al Carbono**, para triturar el producto.
- Motor eléctrico marca WEG (brasileño) de **10 HP. 220 v. Trifásico**.
- Tolva de recepción del producto, de **plancha galvanizada**.
- Sistema de ventilación con soplador y ciclón de Acero al Carbono, para mejorar la molienda.
- 1 Base de molino de construcción metálica (**Acero al Carbono**).
- Todo el equipo y estructura con doble capa de pintura.

**PRECIO:.....USD\$ 3.750,00 + IVA**

**Observaciones:**

- **Respaldo de más de 40 años de experiencia en la industria agroindustrial.**
- **Garantía SIRCA: 1 Año**
- **Ofrecemos:** Mantenimiento, Servicio Técnico, Repuestos Originales.
- **Tiempo de Entrega:** 15 días laborables.
- **Forma de Pago:** 60 % a la aprobación de la compra y 40% el día de embarque en Fábrica SIRCA.
- **No se incluye transporte.** Entrega en Fábrica SIRCA – Guayaquil.
- **Validez de la proforma:** 15 días

Att.

ING. JORGE RUIZ  
GERENTE COMERCIAL

## PERÚMINOX MODELO MM2-INOX



NOSOTROS +

SERVICIOS

VIDEOS

MÁQUINAS +

LÍNEAS +

CONTACTO



### MOLINO DE GRANOS MM2

#### Funcionamiento:

Ideal para moler, triturar granos y cereales secos tales como: trigo, cebada, maíz, etc.

#### Capacidad de producción:

Harina: 100 kg/Hr.

Partidos: 250Kg/Hr.

#### Material:

Acero inoxidable AISI 304. (Partes en contacto con el producto).

#### Peso:

119 kg.

#### Accesorio:

Base porta motor. Ciclón c/ brazo y soporte. Tolva de alimentación con sistema de dosificación. 02 mallas: 0.5 – 0.8 – 3.2 mm (150 X 600mm) Incluye Motor.

## PENAGOS MODELO TP-24



Quiénes Somos

Agricultores Penagos

Nuestros Productos

Centrales de procesamiento de café

Nuestras Noticias

Contáctenos



### Triturador Picador TP-24

DESCRIPCIÓN	FICHA TÉCNICA	VIDEO
Modelo	TP-24	
Producción desintegrando cereales secos*	150-900 kg/h	
Producción picando forrajes**	1000-2500 kg/h	
Número de martillos	24	
Número de cuchillas	4	
Número de contracuchillas	1	
Cribas (agujeros en milímetros)	2, 3, 5, 14 y lisa	
Revoluciones del rotor	3500 – 3600 R.P.M	
Potencia motor eléctrico	7.5-10 H.P	
Potencia motor gasolina o diésel	10 – 13 H.P	
Dimensiones (LxAxH)	660 x 550 x 1.200mm	

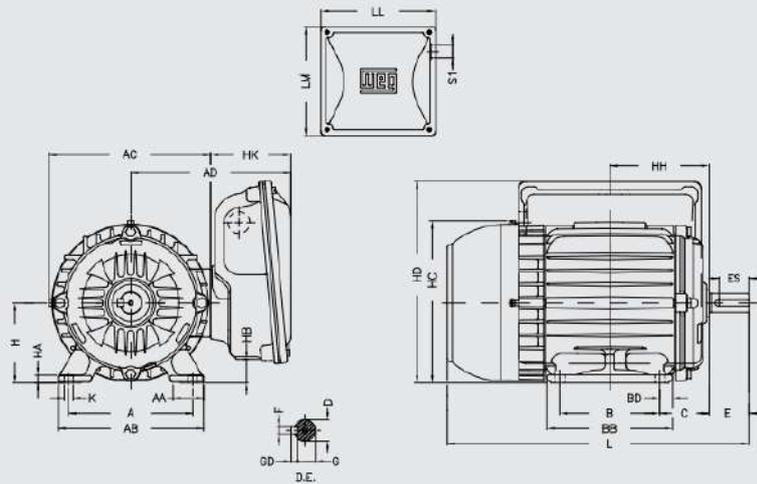
\* Los rendimientos moliendo o triturando pueden variar respecto a los estipulados en la ficha técnica debido a la humedad y densidad del producto, tamaño de la criba utilizada y disposición del material durante el proceso. \*\*No son recomendables para utilizar exclusivamente como picadoras de pasto

# ANEXO C: SELECCIÓN DEL MOTOR MONOFÁSICO WEG DE 5 Hp A 1750 RPM

## W22 Monofásico - Con condensador de arranque o arranque y permanente - 50 Hz

Potencia kW	HP	Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I <sub>l</sub> /In	Par con rotor trabado T <sub>l</sub> /In	Par Máximo T <sub>b</sub> /In	Momento de inercia J (kgm <sup>2</sup> )	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)												
												Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V											
												50	75	100	50	75	100													
11 polos																														
0,18	0,25	63	0,061	6,5	2,6	2,5	0,0002	5	10,3	47	2890	37,2	47,8	54,5	0,82	0,88	0,90	1,67	0,835											
0,25	0,33	63	0,085	5,8	2	2,1	0,0002	5	10,5	47	2870	43,1	53,6	59,5	0,76	0,85	0,95	2,01	1,00											
0,37	0,5	71	0,123	8,5	3	2,9	0,0005	6	13,0	57	2930	55,1	64,7	69,5	0,72	0,82	0,86	2,82	1,41											
0,55	0,75	71	0,183	7,5	2,2	2,5	0,0006	5	13,5	57	2920	56,9	66,6	71,5	0,87	0,94	0,97	3,60	1,80											
0,75	1	80	0,251	7,6	2,3	2,6	0,0010	9	18,0	62	2915	63,9	71,7	75,0	0,79	0,87	0,91	5,00	2,50											
1,1	1,5	80	0,374	6,3	2,3	2	0,0011	11	19,0	62	2865	73,0	77,9	78,6	0,89	0,94	0,96	6,62	3,31											
1,5	2	90S	0,504	7,3	2	2,2	0,0022	7	24,0	66	2900	73,9	78,2	80,0	0,89	0,94	0,94	9,00	4,50											
2,2	3	90L	0,740	6,8	2,3	2,1	0,0028	6	27,0	66	2895	75,5	80,0	80,0	0,94	0,97	0,96	13,0	6,50											
3	4	100L	1,01	6,7	2,1	2,2	0,0070	6	40,0	69	2895	74,9	80,1	81,0	0,89	0,95	0,96	17,4	8,70											
3,7	5	112M	1,24	8,0	2,4	2,5	0,0095	6	48,5	69	2910	82,0	85,2	85,0	0,95	0,97	0,99	20,0	10,0											
5,5	7,5	132M	1,85	7,7	2,4	2,6	0,0234	6	71,0	69	2900	80,7	84,7	85,0	0,95	0,97	0,99	29,6	14,8											
7,5	10	132M	2,50	9,0	2,1	3,1	0,0288	6	80,0	69	2920	82,7	85,8	86,0	0,94	0,96	0,97	41,0	20,5											
9,2	12,5	132ML	3,07	8,5	1,7	2,9	0,0342	6	88,5	69	2920	86,1	88,3	88,0	0,98	0,99	0,99	48,0	24,0											

### Carcasa 90L hasta 112



Carcasa	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	BD	C	Eje					
										D	E	ES	F	G	GD
63	100	26	116	129	128	80	95	7,5	40	11j6	23	14	4	8,5	4
71	112	29	132	145	136	90	114	11,75	45	14j6	30	18	5	11	5
80	125	31	149	163	145	100	126	12,75	50	19j6	40	28	6	15,5	6
90S	140	37	164	182	155	131	156	15,5	56	24j6	50	36	8	20	7
90L					181										
100L	160	40	188	203	191	140	173	16,5	63	28j6	60	45		24	
112M	190	41	220	226	206	177	18,5	70							
132S	216	46	248	274	234	140	187	23,5	89	38k6	80	63	10	33	8
132M					178	225									
132ML					178/203	250									

Carcasa	H	HA	HB	HC	HD	HH	HK	K	L <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	LL	LM	S1	Rodamientos	
														Delantero	Trasero
63	63	7	23	130	156	115	65	7	256	216	184	135	1xM20	6201 ZZ	6201 ZZ
71	71		31	145	164	125			293	250				6202 ZZ	6202 ZZ
80	80	8	41	163	174	135	91	10	326	277	221	206	1xM25	6204 ZZ	6203 ZZ
90S	90	9	45	182	178	141			334	305				6205 ZZ	
90L			26	227	154	358	329	418	-	6206 ZZ					
100L	100	10	43	205	244	168	94	12	423	-	246	232	1xM32	6207 ZZ	6206 ZZ
112M	112	40	226	280	179	451			-	6207 ZZ					
132S	132	16	60	274	319	198	94	12	489	-	246/286 <sup>3</sup>	232	1xM32	6308 ZZ	6206 ZZ
132M						217			-						
132ML						229			-						

- Nota:
- 1) Para motores con condensador de arranque o arranque + permanente
  - 2) Para motores con condensador permanente
  - 3) Cota 286 mm para motores con 15 cv 2 polos / 10 y 12,5 cv 4 polos



Image may differ from product. See technical specification for details.

### UCP 206

**Unidad de rodamientos de bolas con soporte de pie con aro interior prolongado y fijación con tornillos, fundición, normas japonesas**

Las unidades de rodamientos de bolas con soporte de pie están formadas por un rodamiento de inserción montado en un soporte de fundición que puede atornillarse a una superficie de apoyo. Esta versión es fuerte y rígida, y es adecuada para aplicaciones con sentidos de giro constantes y alternados. Tiene un aro interior prolongado en ambos lados, y se fija en el eje ajustando un tornillo de fijación en el aro interior, lo que la hace fácil de montar.

- Fuertes
- Diseñados para una rotación constante y alternada
- Listos para montar
- Rodamiento lubricado y sellado
- Fijación rápida en el eje
- Rentables

## Descripción general

### Dimensiones

Diámetro del eje	30 mm
Altura del centro (soporte de pie)	42.9 mm
Ancho total del soporte	45 mm
Distancia del centro entre los orificios para tornillos	121 mm
Ancho del rodamiento, total	38.1 mm

### Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	19.5 kN
Capacidad de carga estática básica	11.4 kN
Velocidad límite	5 000 r/min
Note	Velocidad límite con tolerancia de eje h6

### Propiedades

Tipo de soporte	Soporte de pie
Cantidad de agujeros para tornillos de fijación	2
Tipo de orificio para tornillos de fijación	Plano
Elemento de retención, aro interior	Tornillos de fijación
Tipo de agujero	Cilíndrico
Aro de asiento de caucho	Sin
Material, soporte	Fundición
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado, rodamiento	Sello y aro deflector en ambos lados
Tipo de sellado	Contacto estándar
Sellado, unidad	Sin
Lubricante	Gresa
Orificio de relubricación	Con
Boquilla de relubricación	Con

### Logística

Peso neto del producto	1.55 kg
Código eClass	23-05-16-02
Código UNSPSC	31171536

# ANEXO E: COTIZACIÓN DE MATERIALES



**PC FERRETERIA**

Dir: Hector ZOLA RONDON DE POCOBENA 67-23 Y RAFAEL CABEZ DE

Teléfono: 049343215

DELICADO A LLEVAR CONTABILIDAD: NO

CONTRIBUYENTE RÉGIMEN RENFE

R.U.C.: 0200727641001

**FACTURA**

No. 002-200-00000099

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 22482524011801252170001002000072444

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 19/01/2024 09:28:20

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO: [Barcode]

31912024011801252170001002000072444

R.U.C.: 1801252170001

**FACTURA**

No.: 001002000072344

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 17012024011801252170001002000072444

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO: [Barcode]

17012024011801252170001002000072444

Razón Social / Nombres y Apellidos: LOACHAMN MIGUEL ANGEL      Identificación: 1705455332

Moneda: DOLAR      Fecha Emisión: 19/01/2024      Referencia: EFECTIVO / OC9006      Guía Remisión:

Código	Cant	Descripción	Unid.	Precio Unitario	% Desc.	Desc.	Precio Total
PC24X40	0,412	AC INOX 304 ANG. 40X7 IPZ 250MM	KG	3,48209	17,00	23,00	20,53
PC24X14	0,388	AC INOX 304 RED 3/4"IPZ 140MM	KG	3,48984	17,00	0,00	1,35
PC24X12	0,584	AC INOX 304 RED 1"IPZ 145MM	KG	5,28584	17,00	0,00	2,22
PCX 40X112	2,000	AC INOX 304 ROSCADA 1/2"	MTS	8,82500	17,00	0,00	13,98
13ALN7420	2,000	DISCO ALUMBRADO 200"	UNI	13,28400	17,00	0,00	22,13
<b>SUBTOTAL 12,86%</b>							22,43
<b>SUBTOTAL 0%</b>							0,00
<b>SUBTOTAL SIN IMPUESTOS</b>							15,16
<b>DESCUENTO</b>							16,85
<b>IVA 16,85%</b>							6,21
<b>TRANSPORTE</b>							0,00
<b>VALOR TOTAL</b>							76,63



**HUGO GERARDO GUERRERO BARRENO**

Dir Matriz: AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

Dir Sucursal: AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

Tel. Sucursal: 022405415

E-Mail Sucursal: acerohgb@hotmail.com

Contribuyente Especial No.:

AGENTE DE RETENCIÓN RESOLUCIÓN No. 1

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

R.U.C.: 1801252170001

**FACTURA**

No.: 001002000072242

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 17012024011801252170001002000072242

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 19/01/2024 09:28:20

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO: [Barcode]

17012024011801252170001002000072242

Razón Social / Nombres y Apellidos: LOACHAMN MIGUEL      Identificación: 1705455332

Moneda: DOLAR      Fecha Emisión: 17/01/2024      Referencia: EFECTIVO / OC95921      Guía Remisión:

Código	Cant	Descripción	Unid.	Precio Unitario	% Desc.	Desc.	Precio Total
INOXR114	1,460	AC INOX 304 RED 1 1/4"IPZ 230MM	KG	5,78000	17,00	0,00	7,03
INOXR112	0,240	AC INOX 304 RED 1 1/2"IPZ 230MM	KG	5,48984	17,00	0,00	1,10
CH-RP-A-30MM	2,000	CHUBMO RCP PARED 30MM	UNI	16,54000	17,00	0,00	28,12
8TBP58X1,5	1,004	TUB FUL INOX 304 RED 5/8X1,5MM*1M*	MTS	4,29000	17,00	0,00	3,56
47DGC4112X3	2,000	DISCO CORTE GERMANI 412X3,64X7/8	UNI	1,00000	17,00	25,00	2,45
<b>SUBTOTAL 12,00%</b>							42,30
<b>SUBTOTAL 0%</b>							0,00
<b>SUBTOTAL SIN IMPUESTOS</b>							8,65
<b>DESCUENTO</b>							8,65
<b>IVA 12,00%</b>							5,08
<b>TRANSPORTE</b>							0,00
<b>VALOR TOTAL</b>							47,38



**HUGO GERARDO GUERRERO BARRENO**

Dir Matriz: AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

Dir Sucursal: AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

Tel. Sucursal: 022405415

E-Mail Sucursal: acerohgb@hotmail.com

Contribuyente Especial No.:

AGENTE DE RETENCIÓN RESOLUCIÓN No. 1

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

R.U.C.: 1801252170001

**FACTURA**

No.: 001002000072242

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 17012024011801252170001002000072242

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 19/01/2024 09:28:20

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO: [Barcode]

17012024011801252170001002000072242

Razón Social / Nombres y Apellidos: LOACHAMN MIGUEL      Identificación: 1705455332

Moneda: DOLAR      Fecha Emisión: 17/01/2024      Referencia: EFECTIVO / OC95921      Guía Remisión:

Código	Cant	Descripción	Unid.	Precio Unitario	% Desc.	Desc.	Precio Total
INOXR114	1,460	AC INOX 304 RED 1 1/4"IPZ 230MM	KG	5,78000	17,00	0,00	7,03
INOXR112	0,240	AC INOX 304 RED 1 1/2"IPZ 230MM	KG	5,48984	17,00	0,00	1,10
CH-RP-A-30MM	2,000	CHUBMO RCP PARED 30MM	UNI	16,54000	17,00	0,00	28,12
8TBP58X1,5	1,004	TUB FUL INOX 304 RED 5/8X1,5MM*1M*	MTS	4,29000	17,00	0,00	3,56
47DGC4112X3	2,000	DISCO CORTE GERMANI 412X3,64X7/8	UNI	1,00000	17,00	25,00	2,45
<b>SUBTOTAL 12,00%</b>							42,30
<b>SUBTOTAL 0%</b>							0,00
<b>SUBTOTAL SIN IMPUESTOS</b>							8,65
<b>DESCUENTO</b>							8,65
<b>IVA 12,00%</b>							5,08
<b>TRANSPORTE</b>							0,00
<b>VALOR TOTAL</b>							47,38

## **ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MOLINO DE MARTILLOS**

### **OPERACIÓN**

La operación de la un maquina corresponde a todas las acciones y actividades que el personal operativo conozca cada una de las características técnicas que posee la maquinaria, para poner en funcionamiento y controlar correctamente una maquina o equipo con el fin de realizar tareas específicas, en esta sección se detallara el uso adecuado de la máquina para garantizar las funciones para las que fue diseñado la maquinaria, garantizando salvaguardar la integridad del operario y la máquina.

#### **Antes de operar**

Se debe considerar varias exigencias antes del encendido y operación del molino de martillos para evitar daños o un funcionamiento inadecuado.

- Es importante asegurarse un lugar seguro y que se encuentre ubicado en una superficie plana para evitar vibraciones y sonidos inadecuados que afecten a la salud del operador y funcionamiento.
- Antes de iniciar el proceso de la maquina es necesario verificar que no existan objetos que obstaculicen el movimiento de la cámara de trituración o impurezas en la parte superior de la tolva, de ser así es necesario la limpieza con instrumentos adecuados.
- Asegurarse que no existan conexiones inadecuadas para el funcionamiento del motor eléctrico para evitar cortocircuitos o descargas eléctricas.
- Respetar los símbolos de seguridad presentes en el equipo.
- Es importante que el operador del molino de martillos cuente con equipos de protección personal para evitar enfermedades a largo plazo.

En caso de que no se cumpla cualquiera de los pasos que se describieron anteriormente, es necesario interrumpir la operación de la maquina y se debe comunicar.

#### **Operación del molino de martillos**

Los procesos descritos a continuación se requieren realizar cada vez que se opere el molino de martillos por lo que el operador debe tener en cuenta los siguientes pasos.

- Conectar el molino de martillos a una fuente de alimentación 220V, luego no encender de forma inmediata sino al transcurrir un lapso de 20 segundos de conexión, con la finalidad de prevenir fallas en el motor eléctrico con arranques bruscos dentro del funcionamiento.
- Encender el molino de martillos y verificar que la rotación en vacío sea adecuada y no tenga rozamientos con el sentido de giro adecuado.
- Mantener el dosificador del molino de martillos sin alimentación, para posteriormente alimentar de manera paulatina con materia prima en la tolva de entrada, estableciendo un volumen adecuado con el dosificador del molino de martillos.

- Al terminar el proceso de molienda o trituración es necesario esperar un intervalo de tiempo de 1-2 minutos para el pagado del motor eléctrico, para eliminar residuos de materia prima de la cámara de trituración.

#### **Después de la operación del molino de martillos**

- Asegurarse que el molino de martillos se detenga por completo y que no exista la posibilidad que la máquina se ponga en acción nuevamente.
- Desconectar el enchufe de la conexión a 220V y realizar una limpieza con instrumentos adecuados.
- Guardar y proteger el molino de martillos en un sitio seguro.

#### **MANTENIMIENTO**

El mantenimiento de una maquina se refiere a las actividades planificadas y realizadas para asegurar que la maquina funciones de manera óptima, confiable y segura durante su ciclo de vida útil, al ser un estudio para una microempresa de poca competitividad no se requiere un plan de mantenimiento. A continuación, se especifican directrices recomendadas para esta actividad.

##### **— Reajuste de la cámara de trituración**

Reajusta las tuercas y tuercas de sujeción de los discos porta-martillos es importante realizarlo que la maquina se encuentre sin conexión eléctrica a 220V, y realizarlo cada mes para evitar atascamientos o rozamientos dentro de la cámara de trituración de manera inadecuada.

##### **— Lubricación de bisagras**

Es importante realizar una adecuada lubricación en las bisagras de la tolva y la placa base del motor, para evitar endurecimientos o rupturas de soldaduras, este proceso es adecuado realizarlo cada 3 meses.

##### **— Mantenimiento preventivo del motor eléctrico**

Es importante realizar un mantenimiento preventivo del motor eléctrico al estar expuesto a harinas se optimo realizar una limpieza para evitar paradas imprevistas del molino de martillos, este proceso es adecuado realizarlo semestrales.

##### **— Programas de intervalos de mantenimiento**

El programa consiste en la revisión de cada componente del molino de martillos, para estos procesos utilizaremos un mantenimiento preventivo en donde la mayoría de acciones serán mediante las siguientes herramientas de control:

- Control visual
- Control Auditivo
- Control por tiempo de vida útil según manuales existentes de los componetes del molino de martillos.

**ANEXO G: CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO FINAL**



## **ANEXO H: PROPIEDADES ACERO INOXIDABLE 304**

## **ANEXO K: PLANOS**

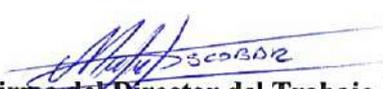
La codificación de los planos sigue la siguiente estructura:

Código: Facultad de Mecánica – Carrera Mecánica – Área Diseño – Molino de Martillos para Trituración de Productos Deshidratados – Plano (Ensamble/Pieza/Especificación) (N° Grupo) – Plano N° - Año



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 20/06/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Luis Miguel Loachamin Pulupa
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Mecánica
<b>Carrera:</b> Mecánica
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Mecánico
  <b>Firma del Director del Trabajo de Titulación</b>
  <b>Firma del Asesor del Trabajo de Titulación</b>