# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

# SEDE QUITO

**CARRERA:**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO DE 30 HP PARA PROCESAR MAÍZ EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA PARA LA EMPRESA SEYMEC S.A.”**

**AUTORES:**

**ALEXANDER MARCELO CISNEROS QUINGA**

**DIEGO XAVIER DÍAZ CASCO**

**TUTOR:**

**MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

**Quito, octubre 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

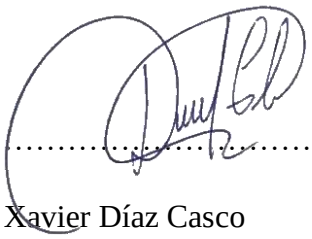
Nosotros, Alexander Marcelo Cisneros Quinga y Diego Xavier Díaz Casco, con documentos de identificación N° 1725924292 y Nº 1723668214, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO DE 30 HP PARA PROCESAR MAÍZ EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA PARA LA EMPRESA SEYMEC S.A.", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que se realiza la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

……...

Alexander Marcelo Cisneros Quinga

C.I.: 1725924292



……

Diego Xavier Díaz Casco

C.I.: 1723668214

Quito, octubre del 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Milton Salomón Jami Lema declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO DE 30 HP PARA PROCESAR MAÍZ EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA PARA LA EMPRESA SEYMEC S.A.", realizado por Alexander Marcelo Cisneros Quinga y Diego Xavier Díaz Casco, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, octubre del 2021

Milton Salomón Jami Lema

C.I.: 1707254171

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Marcelo Cisneros y Patricia Quinga por darme la vida y apoyarme en todo este trayecto de mi vida como estudiante y estar apoyándome incondicionalmente. A mi hermana Vanessa Cisneros por brindarme su compañía genuina dentro del intervalo de vida que llevamos juntos. También doy gracias a Dios por permitirme seguir compartiendo todas estas etapas de mi vida, que me forjan como ser humano y profesional.

Agradezco a mi tutor, Milton Jami por guiarme en esta última etapa de trayecto universitario y su gestión dentro de ella. También retribuyo a mi compañero Diego Díaz por su colaboración como amigo, como ser humano y como profesional.

***Alexander Cisneros***

Primeramente, doy gracias a Dios por haber compartido grandes experiencias dentro de mi universidad, gracias a mi universidad pude formarme como todo un profesional en lo que más me apasiona, también doy gracias a cada docente por formar parte de este proceso de formación.

Doy gracias a mi Padre Carlos Díaz por estar conmigo, motivándome, dándome consejos para seguir adelante y nunca rendirme a pesar de que tenga dificultades, gracias a mi Madre Soledad por estar acompañándome y haciéndome reír durante toda la jornada de trabajo.

Gracias a mi esposa Araceli por estar conmigo, por saber conversar y tener ese rol de madre hacia nuestra hija amada que siempre me saca sonrisas, Jade Adalina, me has demostrado que con amor todo trabajo sale bien hecho.

Gracias a mis suegros, cuñados, sobrinos por parte de mi mujer que forman una gran familia y me supieron dar esa confianza que hoy en día significa mucho y de gran valor sentimental.

Gracias a todos mis amigos por impulsarme a seguir adelante y más que todo a mi amigo Alexander Cisneros que supo estar en la tesis complementando y obteniendo como resultado Ingenieros Mecánicos.

Finalmente, doy gracias a mi Tutor, Ingeniero Milton Salomón Jami Lema, que supo guiar con firmeza, paciencia, dedicación y profesionalismo para culminar esta meta.

***Diego Xavier***

## ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR ..... ii

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR ..... iii

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO ..... iv

ÍNDICE DE FIGURAS ..... xi

ÍNDICE DE TABLAS ..... xiv

GLOSARIO DE TÉRMINOS ..... xvi

RESUMEN ..... xix

ABSTRACT ..... xx

INTRODUCCIÓN ..... xxi

ANTECEDENTES ..... 1

Objetivo General ..... 1

Objetivos Específicos ..... 1

CAPÍTULO I ..... 3

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO ACERCA DE LOS MOLINOS Y DEL MAÍZ 3

1. Marco teórico ..... 3

1.1. Molienda ..... 3

1.2. Molino ..... 3

1.3. Tipos de molinos ..... 4

1.3.1. Molino de Discos ..... 4

1.3.2. Molino de Bolas ..... 6

1.3.3. Molino de Rodillos ..... 8

1.3.4. Molino de Martillos ..... 9

1.4. Molino adecuado para la industria avícola ..... 11

1.5. Componentes del molino de martillos ..... 12

1.5.1. Motor Eléctrico ..... 12
1.5.2. Matrimonio ..... 14
1.5.3. Chumaceras ..... 14
1.5.4. Cámara de trituración ..... 15
1.5.5. Martillos ..... 16
1.5.6. Criba ..... 16
1.5.7. Eje ..... 16
1.6. Tipo de materiales para la construcción del Molino ..... 17
1.6.1. AISI 4340 ..... 17
1.6.2. Acero A36 ..... 18
1.6.3. Acero CHRONIT 400 ..... 18
1.6.5. Hierro fundido tipo B ..... 18
1.7. Teoría en la industria avícola ..... 18
1.8. Materia prima ..... 19
1.8.1. Maíz ..... 19
1.9. Producción de maíz en Ecuador ..... 20
CAPÍTULO II ..... 22
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MOLINOS DE MARTILLO ..... 22
2.1. Alternativas de solución ..... 22
2.2. Selección de alternativas ..... 23
2.3. Identificación de necesidades ..... 24
CAPÍTULO III ..... 26
DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL MOLINO DE MARTILLOS ..... 26
3.1. Capacidad de molienda ..... 26
3.2. Diseño del martillo para triturar granos ..... 27

3.2.1. Energía de ruptura del morochillo.....27
3.2.2. Velocidad tangencial del morochillo .....29
3.2.3. Velocidad tangencial en el martillo.....29
3.2.4. Radio de giro .....30
3.2.5. Aceleración angular .....32
3.2.6. Masa del martillo.....32
3.2.7. Ancho del martillo.....33
3.2.8. Análisis del martillo .....34
3.2.9. Fuerza centrífuga.....35
3.2.10. Esfuerzo Cortante.....37
3.2.11. Factor de seguridad .....37
3.3. Diseño del eje secundario.....38
3.3.1. Separador de martillos.....38
3.3.2. Discos porta ejes .....39
3.3.3. Fuerza centrífuga en el eje secundario. .....42
3.3.4. Fuerzas en el eje secundario. .....43
3.3.5. Reacciones presentes en el eje secundario. .....43
3.3.6. Esfuerzo flexionante en el eje secundario. .....45
3.3.7. Esfuerzo cortante a flexión en el eje secundario. .....46
3.3.8. Esfuerzo equivalente Von Mises en el eje secundario. .....46
3.3.9. Factor de seguridad del eje secundario. .....46
3.4. Diseño del eje principal.....48
3.4.1. Reacciones presentes en el eje principal .....48
3.4.2. Esfuerzo flexionante en el eje principal. .....49
3.4.3. Torque transmitido al eje principal. .....50

3.4.4. Esfuerzo cortante a torsión en el principal ..... 50
3.4.5. Esfuerzo equivalente Von Mises en el eje principal. ..... 50
3.4.6. Factor de seguridad para el eje principal. ..... 50
3.5. Diseño a Fatiga del eje principal ..... 51
3.5.1. Resistencia a la fatiga ..... 51
3.5.2. Factor de seguridad con el límite de resistencia a la fatiga ..... 55
3.6. Selección de Rodamientos ..... 58
3.6.1. Rodamiento de bolas y su designación ..... 58
3.6.2. Lubricación ..... 58
3.6.3. Vida nominal básica ..... 59
3.6.4. Condiciones de lubricación ..... 61
3.6.5. Factor de contaminación ..... 61
3.6.6. Factor $aSKF$ ..... 62
3.6.7. Vida nominal SKF ..... 63
3.6.8. Carga mínima ..... 63
3.7. Selección de Chaveta ..... 64
3.8. Análisis y simulación de la carcasa del molino ..... 65
3.9. Diseño de la estructura del molino de martillos ..... 66
3.9.1. Perfil de la base del motor ..... 66
3.9.2. Estructura de la base principal ..... 68
3.10. Simulación de la estructura ..... 71
3.11. Soldadura ..... 73
3.12. Diseño y selección del Sistema Eléctrico con sus accesorios ..... 74
3.12.1. Selección del motor ..... 74
3.12.2. Fusible por seleccionar ..... 74

3.12.3. Interruptor termo magnético a seleccionar ..... 75
3.12.4. Contactor para seleccionarse ..... 75
3.12.5. Contactor de arranque trifásico a seleccionarse ..... 76
3.12.6. Relé térmico para seleccionarse ..... 76
3.12.7. Pulsadores ..... 76
3.12.8. Pulsador de emergencia ..... 76
3.12.9. Luces piloto ..... 77
3.12.10. Selección de cable para la instalación ..... 77
3.12.11. Diagrama del circuito ..... 77
CAPÍTULO IV ..... 79
4.1. Análisis Financiero ..... 79
4.1.1. Materiales directos ..... 79
4.1.2. Materiales indirectos o complementarios ..... 82
4.2. Inversión de la Máquina ..... 83
4.3. Análisis Financiero De La Inversión del Molino de Martillos ..... 83
4.4. Análisis Financiero de comparación de importación de un Molino de Martillos 84
CONCLUSIONES ..... 86
RECOMENDACIONES ..... 88
REFERENCIAS ..... 89
ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Tipos de Molinos ..... 3
**Figura 2.** Molino de Discos ..... 4
**Figura 3.** Molino de Discos vibratorios ..... 5
**Figura 4.** Molino de bolas ..... 7
**Figura 5.** Molino de Rodillos ..... 8
**Figura 6.** Molino de Martillo ..... 9
**Figura 7.** Motor eléctrico. ..... 12
**Figura 8.** Matrimonio ..... 14
**Figura 9.** Cámara de Trituración ..... 15
**Figura 10.** Molino de martillos. ..... 16
**Figura 11.** Diagrama de cuerpo libre en el eje principal. ..... 17
**Figura 12.** Mazorca y granos de maíz ..... 19
**Figura 13.** Porcentajes de producción de maíz uro por provincias. ..... 20
**Figura 14.** Áreas sembradas de maíz duro en miles de hectáreas. Del 2015 al 2017. ..... 21
**Figura 15.** Radio de giro. ..... 30
**Figura 16.** Fuerza de corte ..... 31
**Figura 17.** Medidas del martillo. ..... 33
**Figura 18.** Cambio de posición de los martillos. ..... 34
**Figura 19.** Tensión Von Mises en el martillo ..... 34
**Figura 20.** Desplazamiento debido al impacto con el morochillo ..... 35
**Figura 21.** Factor de seguridad del martillo ..... 35
**Figura 22.** Fuerza centrífuga. ..... 36
**Figura 23.** Distancia de periferia ..... 40
**Figura 24.** Tensión Von Mises del disco porta ejes ..... 41
**Figura 25.** Desplazamiento en el disco porta ejes ..... 41
**Figura 26.** Factor de seguridad en el disco porta ejes ..... 42
**Figura 27.** Fuerzas presentes en el eje secundario. ..... 42
**Figura 28.** Diagrama del eje secundario ..... 44
**Figura 29.** Zona de análisis del eje secundario. ..... 44

**Figura 30.** Diagrama realizado en Inventor de las reacciones presentes en el eje secundario. ..... 45
**Figura 31.** Diagrama realizado en Inventor de las reacciones presentes en el eje secundario. ..... 45
**Figura 32.** Tensión Von Mises en el eje secundario ..... 47
**Figura 33.** Desplazamiento en el eje secundario ..... 47
**Figura 34.** Factor de seguridad en el eje secundario ..... 48
**Figura 35.** Diagrama de cuerpo libre en el eje principal ..... 48
**Figura 36.** Diagrama realizado en Inventor de las reacciones presentes en el eje secundario. ..... 49
**Figura 37.** Factor de sensibilidad a la muesca. ..... 54
**Figura 38.** Factores de concentración de esfuerzos ..... 55
**Figura 39.** Tensión Von Mises del eje principal ..... 56
**Figura 40.** Deformación en el eje ..... 57
**Figura 41.** Factor de seguridad del eje principal ..... 57
**Figura 42.** Viscosidad nominal SKF ..... 59
**Figura 43.** Grado de viscosidad SKF ..... 59
**Figura 44.** Clasificación de la viscosidad SKF ..... 60
**Figura 45.** Factor de contaminación ..... 61
**Figura 46.** Factor aSKF ..... 62
**Figura 47.** Factor de seguridad del eje principal ..... 64
**Figura 48.** Tensión Von Mises de la carcasa ..... 65
**Figura 49.** Factor de seguridad de la carcasa ..... 66
**Figura 50.** Reacciones y pesos presentes en la base del motor ..... 66
**Figura 51.** Reacciones y pesos presentes en la base principal ..... 68
**Figura 52.** Reacciones y pesos presentes en la base principal frontal ..... 70
**Figura 53.** Peso del sistema en la estructura ..... 72
**Figura 54.** Peso del motor en la estructura ..... 72
**Figura 55.** Tensión Von Mises en la estructura ..... 72
**Figura 56.** Tensión Von Mises en la estructura ..... 73
**Figura 57.** Designación de electrodos ..... 74

**Figura 58.** Diagrama de potencia y control del molino de martillos .....78

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Tipos de molinos por sus dimensiones en su granulometría final. .....3
**Tabla 2.** Datos técnicos referenciales del molino de discos. .....4
**Tabla 3.** Datos técnicos referenciales del molino de discos. .....6
**Tabla 4.** Datos técnicos del molino de bolas. .....7
**Tabla 5.** Datos técnicos referenciales del molino de rodillos. .....8
**Tabla 6.** Datos técnicos del molino de martillos. .....10
**Tabla 7.** Molino adecuado para la trituración de maíz. .....12
**Tabla 8.** Radios para la potencia del motor en mm. .....13
**Tabla 9.** Composición Química (valores promedio, %) .....17
**Tabla 10.** Propiedades del acero A36. .....18
**Tabla 11.** Tabla Nutricional para 100 gramos. .....19
**Tabla 12.** Tabla Nutricional para 100 gramos .....19
**Tabla 13.** Balance de producción .....20
**Tabla 14.** Posibles alternativas para el molino de martillos según el motor. .....22
**Tabla 15.** Parámetros de selección .....23
**Tabla 16.** Selección de alternativas .....23
**Tabla 17.** Muestreo del espesor del morochillo .....27
**Tabla 18.** Factores a y b .....51
**Tabla 19.** Factor Kb .....52
**Tabla 20.** Factor Kc .....52
**Tabla 21.** Factor Kd .....53
**Tabla 22.** Factor Ke .....54
**Tabla 23.** Rodamiento de bolas SKF .....58
**Tabla 24.** Materia prima (materiales mecánicos) .....79
**Tabla 25.** Materia prima (materiales eléctricos) .....80
**Tabla 26.** Costo indirecto de fabricación .....81
**Tabla 27.** Costo indirecto de fabricación .....81
**Tabla 28.** Costos materiales indirectos .....82
**Tabla 29.** Resumen de costos .....83
**Tabla 30.** VAN y TIR .....83

**Tabla 31.** Comparación de importación .....84

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

| *Símbolo* | *Nombre* | *Unidades* |
|---|---|---|
| $\mu m$ | *Micrómetro* | - |
| *Mohs* | *Escala de dureza* | - |
| *MPa* | *Megapascales* | $KN/m^2$ |
| *HBW* | *Dureza Brinell* | - |
| *RPM* | *Revoluciones por minuto* | *rev/min* |
| *HP* | *Caballo de fuerza* | *1 HP=745,7 W* |
| $F_{Rm}$ | *Fuerza de ruptura del morochillo* | *Joule* |
| $m_m$ | *Masa metálica* | *gramos* |
| $g$ | *Gravedad* | $9{,}81\,{}^{m}/_{s^2}$ |
| $E_c$ | *Energía cinética* | *Joule* |
| $m_{mr}$ | *Masa del morochillo* | *gramos* |
| $v$ | *Velocidad* | *m/s* |
| $v_t$ | *Velocidad tangencial* | *m/s* |
| $w$ | *Velocidad angular* | *Rad/seg* |
| $R_g$ | *Radio de giro* | *metros* |
| $M$ | *Momento de choque del morochillo* | $Nm$ |
| $F_c$ | *Fuerza de corte del morochillo* | $N$ |
| $L$ | *Longitud* | *metros* |
| $I$ | *Inercia del martillo* | $Kg.m^2$ |
| $V_m$ | *Volumen del martillo* | $cm^3$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m$ | *masa del martillo* | *gramos* |
| $F_{cf}$ | *Fuerza centrífuga* | $N$ |
| $W_m$ | *peso del martillo* | $N$ |
| $F_y$ | *Fuerza perpendicular* | $N$ |
| $A$ | *Área de una posible falla* | $m^2$ |
| $n$ | *Factor de seguridad* | - |
| $S_y$ | *Resistencia a la fluencia del acero* | $MPa$ |
| $m_{sep.}$ | *Masa del separador* | *gramos* |
| $D_{ext.sep}$ | *Diámetro exterior del separador* | *cm* |
| $D_{int.sep}$ | *Diámetro interno del separador* | *cm* |
| $T_{trans}$ | *Torque transmitido* | $N.m$ |
| $P_{motor}$ | *Potencia del motor* | $N.m/seg$ |
| *Se* | *Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina* | *MPa* |
| *Se´* | *Límite de resistencia a la fatiga* | *MPa* |
| *Ka* | *Factor de modificación de la condición superficial* | - |
| *Kb* | *Factor de modificación del tamaño* | - |
| *Kc* | *Factor de modificación de la carga* | - |
| *Kd* | *Factor de modificación de la temperatura* | - |
| *Ke* | *Factor de confiabilidad* | - |
| *Kf* | *Factor de modificación de efectos varios* | - |

| | | |
|---|---|---|
| *Sut* | *Resistencia mínima a la tensión del acero* | *MPa* |
| $q$ | *Factor de sensibilidad a la muesca* | - |
| *Kt* | *Factor de concentración de esfuerzos* | - |
| $L_{10h}$ | *Vida nominal básica* | *horas* |
| *Pu* | *Carga límite de fatiga* | *KN* |
| *C* | *Capacidad de carga básica* | *KN* |
| *K* | *Condiciones de lubricación* | - |
| $L_{10mh}$ | *Vida nominal SKF* | *horas* |
| $I_F$ | *Corriente del fusible* | *amperios* |
| $I_A$ | *Corriente admisible* | *amperios* |
| $I_N$ | *Corriente nominal* | *amperios* |
| $I_{TM}$ | *Corriente del interruptor termo magnético* | *amperios* |
| *VAN* | *Valor actual neto* | *USD* |
| *TIR* | *Tasa interna de retorno* | *USD* |

***Letras griegas***

| | | |
|---|---|---|
| $\rho$ | *Densidad* | *Kg/m*$^3$ |
| $\alpha$ | *Aceleración angular* | $rad/s^2$ |
| $\tau$ | *Esfuerzo cortante* | $MPa$ |
| $\sigma_y$ | *Esfuerzo flexionante* | *MPa* |
| $\tau_y$ | *Esfuerzo cortante a flexión* | *MPa* |
| $\sigma'$ | *Esfuerzo equivalente* | *MPa* |
| $\tau_{torsión}$ | *Esfuerzo cortante a torsión* | *MPa* |

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en el “Diseño y Simulación de un Molino de 30 hp para procesar maíz en la Industria Avícola para la Empresa SEYMEC S.A.”. El objetivo de dicho proyecto es basarse en el diseño y simulación de cada componente que forma dicho sistema de trituración, esto quedará estandarizado para la aplicación en la empresa al momento de comenzar a construir los molinos para granjas avícolas.

El molino está formado por diferentes partes como: martillos, criba, motor trifásico, tambor, ejes, chumaceras entre otros. Para el diseño de estos elementos mecánicos que conforman el molino, se determinaron las fuerzas a las que se encuentran sometidos, así como también la velocidad del motor que funcionará. Su diseño y construcción se justifica mediante los resultados que obtendrá la empresa al aplicar cálculos y diseño de ingeniería, los cuales solventará gran parte de dichas necesidades.

El mencionado proyecto de titulación diseñará e implementará un método eficiente para la producción del alimento de aves en granjas avícolas, mediante un molino de martillos, también reducirá costos, evitando la exportación de molinos de otros países pioneros y de elevada producción industrial en maquinaria agrícola y alimenticia, de esta forma la empresa SEYMEC será más competitiva y acapará una gran variedad de mercado y generará trabajo para los ecuatorianos.



**Palabras claves:** diseño y simulación, molinos de martillo, molienda, software Solid Works, análisis financieros de costos TIR y VAN.

## ABSTRACT

The present degree project consists of the "Design and Simulation of a 30 hp Mill to process corn in the Poultry Industry for the Company SEYMEC S.A.". The objective of this project is based on the design and simulation of each component that makes up the grinding system, this will be standardized for application in the company at the time of starting to build the mills for poultry farms.

The mill is formed by different parts such as: hammers, screen, three-phase motor, drum, shafts, bearings, among others. For the design of these mechanical elements that make up the mill, the forces to which they are subjected were determined, as well as the speed of the motor that will operate. Its design and construction is justified by the results that the company will obtain by applying calculations and engineering design, which will solve most of these needs.

The mentioned degree project will design and implement an efficient method for the production of poultry feed in poultry farms, by means of a hammer mill, it will also reduce costs, avoiding the export of mills from other pioneer countries and high industrial production in agricultural and food machinery, in this way the SEYMEC company will be more competitive and will monopolize a great variety of market and will generate work for Ecuadorians.



**Keywords:** design and simulation, hammer mills, milling, Solid Works software, financial analysis of TIR and NPV costs.

# INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación consiste en el "Diseño y Simulación de un Molino de 30 hp para procesar maíz en la Industria Avícola para la Empresa SEYMEC S.A." El primer capítulo, recopila la información necesaria para entender los conceptos de los molinos, potencia, tipo de trituración de molienda y la producción de maíz en el Ecuador.

En el segundo capítulo, se presenta la selección de alternativas para el diseño y simulación, identificando las necesidades de la empresa, como es la automatización, mantenimiento, control de parámetros de diseño, capacidad y la reducción de costos, donde no afecte al cliente. Para lo cual se establece parámetros que ayudarán a la selección de la mejor alternativa del motor.

En el capítulo tres, se presenta el cálculo y diseño de martillos para trituración del cereal, el diseño de ejes principales y secundarios, disco porta ejes, separadores, radio de giro y reacciones en los ejes. También se realiza la simulación mediante el uso del software Solid Works, donde se determina: la tensión de Von Mises, factor de seguridad y desplazamiento, validando los resultados obtenidos en el software con los cálculos realizados.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se presenta el análisis financiero de costos de TIR y VAN, se muestra el análisis en la construcción del molino y el costo de importación de un molino de la misma capacidad de molienda con datos proporcionados de la empresa "El Rosal". Además, se observó la factibilidad de la construcción del molino con una ganancia en 5 años.

# ANTECEDENTES

Actualmente en la empresa SEYMEC S.A. necesita tener un formato estándar con planos y cálculos suficientes que garanticen validez de sus proyectos bajo las normas requeridas en el mercado industrial avícola. Esta empresa lleva más de 15 años al servicio de avícolas en la construcción de silos, elevadores, molinos e instalación de estas bajo exportación así que su experiencia ha llevado a tener una experiencia empírica.

Debido a su trayectoria la empresa necesita realizar la construcción de molinos con un diseño de formato en planos y cálculos exactos que den mayor eficiencia en su trayectoria. Observando la falta de un estudio y cálculos en la construcción de molinos, es de suma importancia ya que garantiza productos de calidad y durabilidad debido a que en los molinos es necesario saber: el número de martillos, el diámetro de los ejes tanto secundario como principal, también es necesario saber a cuántos rpm (revoluciones por minuto) debe girar el motor para poder triturar el maíz.

Por este y otros motivos es importante realizar los cálculos y una simulación respectiva antes de construir un molino y sobre todo las necesidades del cliente para garantizar la calidad del molino y funcionamiento.

Para todo esto se plantea los siguientes objetivos:

## Objetivo General

Diseñar y simular un molino de 30 Hp para procesar maíz en la Industria Avícola y estandarizar el modelo en la Empresa SEYMEC S.A.

## Objetivos Específicos

- Identificar en la empresa SEYMEC S.A. las necesidades en la fabricación de molinos.
- Determinar la metodología adecuada para el diseño y simulación de molinos.
- Diseñar los elementos y componentes de acuerdo con las necesidades de la empresa.
- Seleccionar materiales según especificaciones técnicas para cada elemento.
- Validar el resultado de los cálculos de componentes críticos mediante simulación en el software especializado.

- Analizar y establecer indicadores financieros de desempeño y rentabilidad del proyecto antes de la construcción.

# CAPÍTULO I

# MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO ACERCA DE LOS MOLINOS Y DEL MAÍZ

En el presente capítulo se explicará las necesidades de la empresa SEYMEC S.A. en la fabricación de molinos, metodología aplicada para este proyecto, así mismo se estudiará los elementos y componentes del molino que interfieren en el proceso de molienda.

## 1. Marco teórico

### 1.1. Molienda

Es una acción de reducción y ruptura de rocas, granos, o minerales, casi el mismo proceso de trituración. La producción obtenida por molienda es más pequeña, en sí, consiste en llevar a cabo la fragmentación del producto por medios mecánicos hasta el tamaño requerido [30].

### 1.2. Molino

El molino definido por la "Real Academia Española", es una máquina para moler, formada de una muela y mecanismos que regulan y transmiten movimiento que, machaca, lamina o estruja algo, que es producido por una fuerza motriz, como el agua, el viento, el vapor u otro agente mecánico" [8].

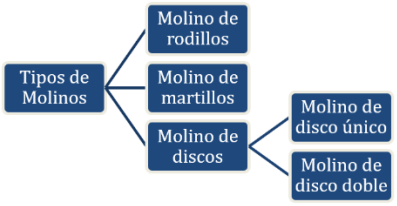



**Figura 1.** Tipos de Molinos [7]

A continuación, se presenta una clasificación de los diferentes molinos existentes:[9].

**Tabla 1.** Tipos de molinos por sus dimensiones en su granulometría final.

| Dimensión granulométrica | Molinos comerciales | Molinos |
|---|---|---|
| Macizo y medio | Crushers | Rodillos<br>Martillos |

| | | |
|---|---|---|
| Medio y ligero | Mills o también conocido como Grinders | Discos<br>Rodillos<br>Martillos |
| Ligero y pulverizados | Ultrafine Grinders | Bolas |

### 1.3. Tipos de molinos

Los molinos en la actualidad existen de diferentes tipos, algunos aún siguen en funcionamiento a pesar de su antigüedad. Entre los molinos que más resaltan son:

- De discos
- De bolas
- De rodillos
- De martillos

#### 1.3.1. Molino de Discos

Se pueden encontrar en dos variedades, las cuales son: molinos de discos y de discos oscilantes o vibratorios según el funcionamiento, el de discos, es usado en industrias mineras, metalúrgicas, siderúrgicas, cementeras, agroindustrias, laboratorios; en cambio el de discos vibratorios, es usado en industrias a nivel de laboratorio [30]. El molino de discos y su proceso de molienda se obtiene también mediante la fuerza de cizallamiento que se ejecuta entre sus dos discos como se puede observar en la siguiente figura [30].

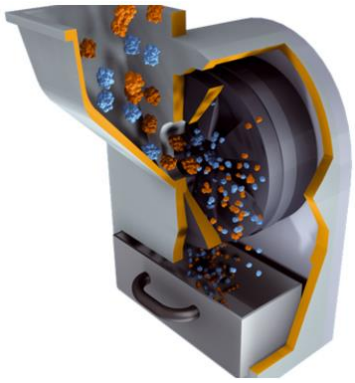


**Figura 2.** Molino de Discos

Fuente: Retsch, “Catálogo general”, 99.001.0010/SP-10-2016

En la siguiente tabla se puede apreciar los datos técnicos del molino de discos [30].

**Tabla 2.** Datos técnicos referenciales del molino de discos.

| Molino de Discos | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda inicial y fina. |
| Campos para su aplicación | Geología/ agroindustria / química / metalurgia/ materiales de construcción / plástico/ vidrio/ cerámica. |
| Material para moler | Compacto, semiduro y tenue (hasta 8 Mohs). |
| Apertura de molienda | Presión, fricción. |
| Granulometría inicial | Menor que 20 mm |
| Granulometría final | Menor que 50 μm |
| Revoluciones por minuto | 180 rpm a 440 rpm. |
| Tipo de material | Acero templado, acero al manganeso, carburo de tungsteno, óxido de circonio. |

Fuente: Retsch, "Catálogo general", 99.001.0010/SP-10-2016

Por otra parte, el molino de discos vibratorios su molienda se logra por impacto y fricción del producto a moler y los componentes que conforman el sistema que se encuentran en la parte interna del recipiente que los contiene, dichos elementos son: un conjunto en forma de disco, y un anillo [30]. En la figura 3 se puede observar el impacto y fricción que se da entre estos componentes.

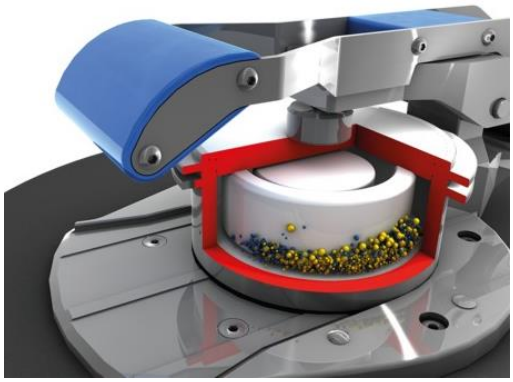


**Figura 3.** Molino de Discos vibratorios

Fuente: Retsch, "Catálogo general", 99.001.0010/SP-10-2016

En la tabla 3 se puede observar que existe mucha diferencia en comparación al molino de discos desde su granulometría hasta sus revoluciones por minuto, el cual viene desde la más baja revolución hasta la más alta [30].

**Tabla 3.** Datos técnicos referenciales del molino de discos.

| **Molino de Discos vibratorios** | |
|---|---|
| Aplicación | Reducción de tamaño, mezcla, trituración. |
| Campos donde requiere su aplicación | Geología/ metalurgia/ materiales de construcción/ medio ambiente/ vidrio/ cerámica. |
| Material para moler | Compacto, semiduro, tenue y solido (hasta 8 Mohs). |
| Apertura de molienda | Fricción, presión |
| Granulometría principal | Menor que 20 mm |
| Granulometría de terminación | Menor que 20 μm |
| Revoluciones por minuto | 700 rpm a 1500 rpm. |
| Material del disco | Acero templado, carburo de tungsteno, óxido de circonio, acero 1.1740 |

Fuente: Retsch, "Catálogo general", 99.001.0010/SP-10-2016

### 1.3.2. Molino de Bolas

Atarama [30], manifiesta que el molino de bolas es utilizado en molienda de minerales, con una molienda fina, por lo cual, su aplicación es usada en la industria minera, cementera, siderúrgica y metalúrgica.

En este molino, el proceso de molienda es dentro de la cámara de molienda donde alberga el cilindro de eje horizontal además de unas masas en forma de bolas de acero. El producto para moler entra directamente en el cilindro, donde rota las bolas dando un movimiento de cascada para lograr que el productor por impacto y fricción muela correctamente [30]. La molienda en este tipo de molino por lo general debe de ser húmeda, pero en cambio cuando es seca, se lo realiza por medio de corrientes de aire, lo afirma Atarama [30].

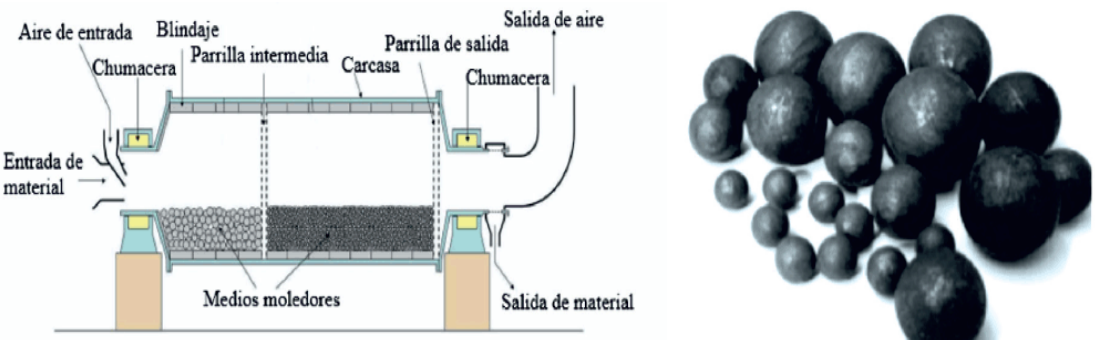



**Figura 4.** Molino de bolas [30].

Continuando, se observa la siguiente tabla con los respectivos datos técnicos que se pueden encontrar en este tipo de molino de bolas [30].

**Tabla 4.** Datos técnicos del molino de bolas**.**

| **Molino de bolas** | |
|---|---|
| Aplicación | Preliminar y fina. |
| Campos donde requiere su aplicación | Metalurgia/ minera/ siderurgia/ cementera. |
| Material para moler | Duro y semiduro (hasta 8 Mohs). |
| Apertura de molienda | Impacto y fricción |
| Granulometría inicial | Menor que 30 mm |
| Granulometría final | Menor que 0.5 mm |
| Revoluciones por minuto | Desde 14 rpm a 38 rpm. |
| Tipo de material | Aleaciones de hierro- carbono al manganeso o al cromo. |
| Diámetro de las masas | 25 mm hasta 125 mm |
| Peso de bola (kg) | 1.5 a 33 |
| Dureza de bolas (HRC) | 50 a 65 |
| Revestimiento interno del casco | Cromo molibdeno, Acero al manganeso. (depende del tipo de mineral que se va a moler) |
| % de agua en peso | 50% a 60% (molienda húmeda) |
| Producción (t/h) | De 0.17 a 250 |
| Diámetro de máquina | 900 mm hasta 4500 mm |

| | |
|---|---|
| Longitud de máquina | 900 mm hasta 6100 mm |
| Potencia en kW | 18.5 hasta 2300 |

### 1.3.3. Molino de Rodillos

Estas máquinas son usadas para descomponer y procesar una serie de ingredientes y materiales. Se conforma de dos rodillos que ruedan en la misma dirección, pero con diferente velocidad [23].

En la actualidad el molino de rodillos es el más empleado. Su sistema se compone por dos rodillos, los cuales son construidos generalmente de hierro fundido o de acero colado para su resistencia [2].

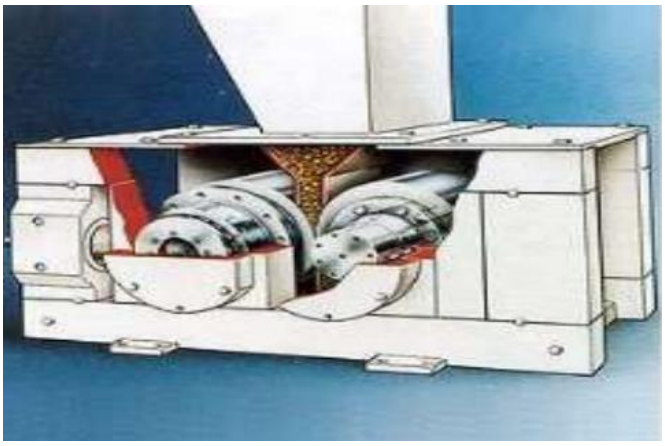


**Figura 5.** Molino de Rodillos [23]

Este molino usa dos rodillos, colocados uno al lado del otro, los cuales están triturando por compresión a una velocidad de giro aproximadamente de 0,2 m/s, produciendo así un tamaño de partícula aproximada de 100 μm [23].

En la siguiente tabla se puede apreciar los datos técnicos de un molino de rodillos.

**Tabla 5.** Datos técnicos referenciales del molino de rodillos.

| **Molino de rodillos** | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina. |
| Campos donde requiere su aplicación | Metalurgia/ Geología/ materiales de construcción/ agroindustria/ vidrio/ cerámica/química. |
| Material para moler | Duro, semiduro y frágil. |

| | |
|---|---|
| Apertura de molienda | Compresión, fricción. |
| Granulometría inicial | Menor que 30 mm (minerales). |
| Granulometría final | Menor que 50 μm (harinas). |
| Revoluciones por minuto | 40 (caña de azúcar). |
| Material de rodillos | Piedra, carburo de tungsteno, acero templado, acero al manganeso, óxido de circonio. |

Fuente: Metso, "Catálogo Rodillos de molienda de alta presión HRC", Folleto No. 2866-06-13 ESBL/SOROCABA-ESPAÑOL ©2013

### 1.3.4. Molino de Martillos

Bermeo (2014), menciona que este molino es una máquina propuesta para procesos de trituración y molienda, este molino es prácticamente de impacto o también de percusión, además poseen la ventaja de procesar diferentes tipos de materiales, así como la obtención de partículas de diferentes tamaños, solamente cambiando la criba [24].

Este modelo de molino surgió a partir de la necesidad de las personas que necesitaban moler el maíz y a veces lo trituraban machacando (uso de piedras). El primer molino tenía un mortero que forzaba al grano sobre la superficie que ordinariamente era una piedra, con el pasar del tiempo el mortero se sustituyó por un martillo más pesado [2].

En la actualidad estos martillos están alojados en forma horizontal en un eje que gira. El maíz granulado se produce debido al choque y corte del martillo, el grano por lo general absorbe toda la energía en caída del martillo, lo cual dicha energía es suficiente para triturar al grano [2].

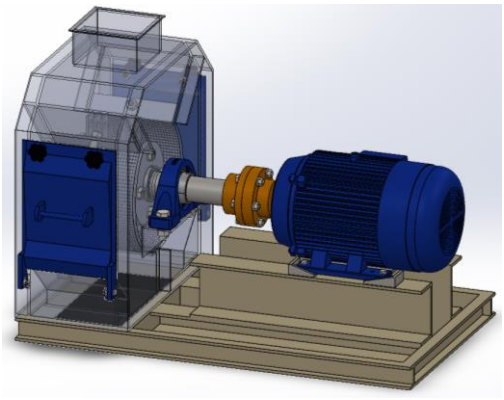


**Figura 6.** Molino de Martillo

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

- Partes de un Molino de Martillos

Las partes principales son:

- Tolvas de alimentación y de descarga.
- Bastidor.
- Sistema de transmisión de potencia.
- Sistema eléctrico.
- Sistema de trituración

Se dice que el sistema de trituración es el alma o el centro del molino, dice Bermeo (2014), y que está formado por:

- Discos porta martillos.
- Ejes secundarios
- Martillos o herramientas de percusión
- Eje principal

Este conjunto de elementos es la cámara de molienda y es accionado por un motor eléctrico. Para ello se debe generar una fuerza aproximada de 36 N para así obtener un grano triturado uniforme.

A continuación, en la tabla 6 se puede apreciar las características técnicas de este tipo de molino [24].

**Tabla 6.** Datos técnicos del molino de martillos.

| **Molino de martillos** | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina. |
| Campos donde requiere su aplicación | agroindustria/ materiales de construcción/ cerámica/ plástico/ química/ vidrio/ metalurgia/ geología. |
| Material para moler | Duro, semiduro y frágil (hasta 8 Mohs). |

| Apertura de molienda | Impacto |
|---|---|
| Medidas próximas de la cámara de molienda (mm) | Largo 2310/ ancho 1665/ altura 1610 hasta Largo 3720/ ancho 2650/ altura 2540 |
| | Ancho 250 / diámetro de 120 hasta 150 para agroindustria |
| Granulometría inicial (mm) | Menor que 100 en la industria minera |
| | Menor que 40 para agroindustria |
| Granulometría final | De 0 hasta 3mm en la industria minera |
| | Menor que 100 μm para agroindustria |
| Porcentaje de humedad del material a moler | Hasta un 20% |
| Revoluciones por minuto | 500 hasta 1000 en la industria minera |
| | Hasta 3000 para agroindustria |
| Producción de toneladas por hora | 35 a 100 en la industria minera |
| | 0.05 a 3 para agroindustria |
| Potencia en kW | 75 a 132 en la industria minera |
| | 3 a 38 para agroindustria |
| Material de los martillos | Acero al manganeso en la industria minera |
| | Acero al carbono para agroindustria |

Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/Molino/Molino-de-martillos.html

### 1.4. Molino adecuado para la industria avícola

Para seleccionar un molino adecuado en la industria avícola, es importante tomar en cuenta que necesita la empresa, por consiguiente, se desglosa los datos más relevantes:

- **Beneficio que brinda el molino:** Fácil alimentación para los animales una vez realizado la molienda, producción de harina, trituración de cereales tales como: maíz, trigo, cebada, morochillo, entre otros.
- **Proceso de molienda o trituración:** el proceso mediante el cual sea utilizado, en este caso agroindustria para la alimentación de pollos.
- **Salida del producto:** el tamaño exacto que se necesita para su correcta alimentación de los pollos con su respectivo tamaño igual, es decir tamaños homogéneos.

En la siguiente tabla se puede especificar cual molino es apropiado para el proceso que necesita la empresa.

**Tabla 7.** Molino adecuado para la trituración de maíz.

| | Tipo de Molino | Descripción |
|---|---|---|
| | Discos | Tiene una vida corta en sus discos de trituración y una capacidad limitada en kg/h. |
| | Bolas | Muy usado para la trituración y molienda, eficiente, pero su costo se eleva ya que necesita de dos o más etapas de rodillos. |
| | Rodillos | Más usado en el campo de la minería. |
| ✓ | Martillos | El uso de estos molinos para la trituración es adecuado en la molienda de granos para la industria avícola, es de fácil mantenimiento, tiene un buen factor de seguridad y a un costo accesible. |

Elaborado por: Alexander Cisneros y Diego Díaz

## 1.5. Componentes del molino de martillos

### 1.5.1. Motor Eléctrico

Moler y mezclar granos, son actividades que en la mayoría de las granjas se lo efectúa de forma manual. Para moler los granos de una manera efectiva y ahorro de tiempo, en el molino se realiza una instalación de un motor, el cual servirá para reducir tiempos y esfuerzos del operario: al efectuar esta actividad de manera manual, conlleva a una fatiga del operario por una mala postura, por ende, se hace vulnerable a enfermedades como hernias, lumbalgias etc [28].

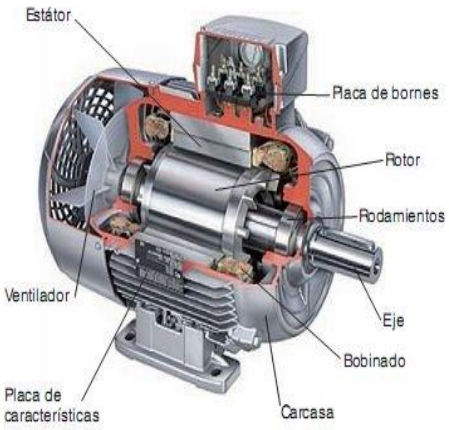



**Figura 7.** Motor eléctrico [28].

Para su correcto funcionamiento del molino, se debe utilizar una polea con un radio mínimo de acuerdo con la velocidad y potencia del motor, en este caso es de 30 hp, y se procede a ubicarse en la siguiente tabla para determinar el valor del radio que aproximadamente debe poseer la polea.

**Tabla 8.** Radios para la potencia del motor en mm.

| **Caballos de fuerza (HP)** | **RPM del motor** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 900 | 1200 | 1800 | 3600 |
| 0.5 | 65 | - | - | - |
| 0.75 | 65 | 65 | - | - |
| 1 | 65 | 65 | 60 | - |
| 1.5 | 75 | 65 | 65 | 60 |
| 2 | 75 | 65 | 65 | 65 |
| 3 | 75 | 75 | 65 | 65 |
| 5 | 100 | 75 | 75 | 65 |
| 7.5 | 115 | 110 | 75 | 75 |
| 10 | 115 | 115 | 100 | 75 |
| 15 | 135 | 115 | 115 | 100 |
| 20 | 155 | 135 | 115 | 115 |
| 25 | 170 | 155 | 115 | 115 |
| 30 | 170 | 170 | 135 | - |
| 40 | 210 | 170 | 155 | - |
| 50 | 230 | 210 | 170 | - |
| 60 | 260 | 230 | 190 | - |
| 75 | 260 | 260 | 230 | - |
| 100 | 350 | 350 | 250 | - |
| 125 | 380 | 350 | 280 | - |
| 150 | 465 | 350 | - | - |
| 200 | 550 | - | - | - |
| 250 | - | - | - | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 300 | - | - | - | - |

Fuente: INTERMEC S.A

También se lo puede poner con un variador de frecuencia, el cual servirá para reducir las revoluciones por minuto y el motor no tienda a trabajar al 100%, sino al 90%. Estas dos consideraciones dependen del cliente, pero como empresa, se debe asesorar para que el cliente tienda pueda optar por la mejor forma posible.

#### *1.5.1.1. Clasificación según el tipo de alimentación de los motores*

Los motores se clasifican según del tipo de alimentación de corriente:

- Corriente continua
- Corriente alterna

### 1.5.2. Matrimonio

Un matrimonio es un elemento mecánico y fundamental, más que todo para unir dos ejes mediante una sujeción con pernos. Marín Arias & Velarde Zambrano [12], indican que la rueda va a girar siempre y cuando el motor esté girando. El matrimonio está compuesto por dos piezas (ver figura 8), una que va en el motor y la otra va con la rosca que ira en la rueda, una vez que se unen, se llama matrimonio ya que se unen para siempre.

**Figura 8.** Matrimonio [14]

### 1.5.3. Chumaceras

Para la selección de chumaceras se debe seleccionar en fundición gris y calcular en el eje las cargas estáticas y dinámicas, por lo que se debe establecer el torque y peso en el eje del molino. Para simplificaciones de cálculo se asume diámetros para el cálculo respectivo

del eje principal, para después este eje se acople al matrimonio mencionado con el eje del motor [30].

### 1.5.4. Cámara de trituración

Bermeo [24] afirma que, la cámara de molienda es el centro o alma del molino, donde se presentan los componentes del sistema de molienda.

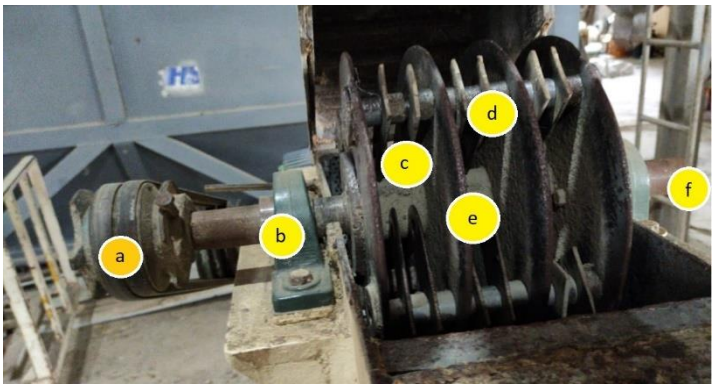



**Figura 9.** Cámara de Trituración

Fuente: Empresa ALIFORTE

En la figura 9 se puede apreciar la cámara de molienda o trituración, esta cámara es de un molino de martillos que está en uso actualmente, a pesar de su antigüedad, está en óptimas condiciones. En esta cámara de trituración se puede observar la mayoría de los componentes, los cuales son:

**a.** Polea

**b.** Chumacera

**c.** Martillos

**d.** Eje secundario

**e.** Disco

**f.** Eje principal

Además, tienen elementos adicionales (separadores de martillos y de discos) que en el capítulo 3 se mencionarán y entrarán como parte del cálculo para la construcción de ellos mismos.

### 1.5.5. Martillos

Los martillos son piezas fundamentales de un molino, puesto que su principio es el proceso de granulado. Se los conoce como percutores o bastidores, pueden ser movibles (martillos locos) o fijos. Los martillos fijos son más eficientes que los movibles [29].

Los martillos se pueden diseñar en una gran variedad de tamaños y formas, con la finalidad de obtener mayor eficiencia con un espacio mínimo, y mayor resistencia al desgaste [29].

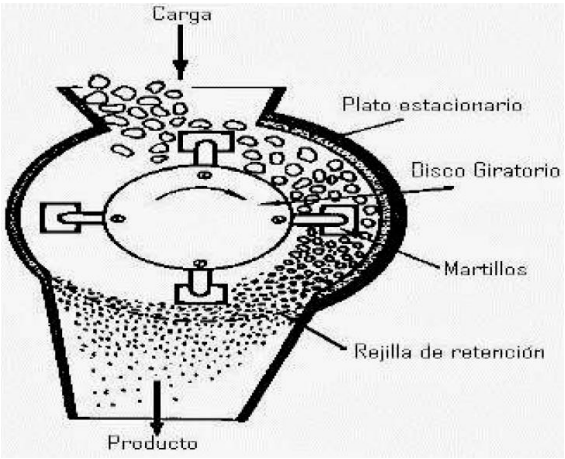



**Figura 10.** Molino de martillos [29].

### 1.5.6. Criba

La criba está elaborada en acero, su función principal es que debe cumplir con la granulometría ya establecida, y esta va conjuntamente a la salida con la rejilla de retención o zaranda.

### 1.5.7. Eje

#### *1.5.7.1. Eje principal*

El eje del molino de martillos está sometido al peso, a las reacciones en los rodamientos establecidos, las reacciones presentes de los discos portan ejes, fuerzas centrífugas, etc, por ende, debe ser un acero AISI 4340.

En la siguiente figura, se detalla lo antes mencionado:

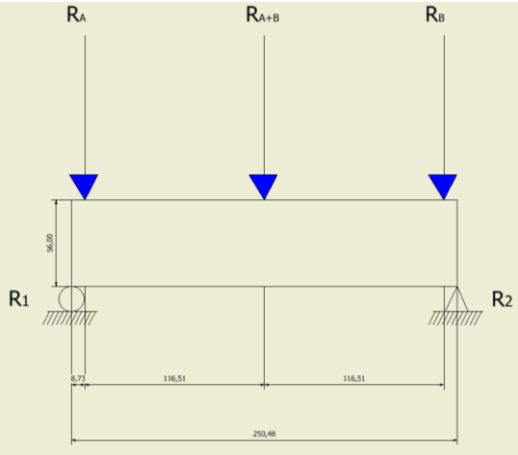



**Figura 11.** Diagrama de cuerpo libre en el eje principal.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

*1.5.7.2. Eje secundario*

El eje secundario no solo se basta en tener un eje, sino en varios ejes los cuales se hallan ahí los martillos de trituración con sus respectivos separadores de martillos.

## 1.6. Tipo de materiales para la construcción del Molino

### 1.6.1. AISI 4340

Moreno, Salazar, & Sáenz [13], mencionan que este acero para maquinarias es utilizado en el diseño y fabricación de piezas que requieren una combinación entre dureza y tenacidad debido a la presencia de Níquel dentro de su composición como engranajes para máquinas, ejes para carros y camiones, discos de freno, cardanes, bielas para motores, árboles para automóviles, ejes de transmisión. Este material será destinado especialmente para los ejes tanto primario como secundario, ya que posee una resistencia a la fluencia de 1100 MPa y una densidad de 7,84g/cm$^3$ (ver Anexo 1), también por su resistencia a la tensión de 825 MPa.

Su composición química y porcentajes (Cr, Ni, Mo) nos dan un gran rendimiento en las piezas sometidas al ciclo de trabajo [5].

**Tabla 9.** Composición Química (valores promedio, %) [5]

| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,38-0,43 | 0,15-0,3 | 0,6-0,8 | 0,7-0,9 | 1,65-2 | 0,2-0,3 | ≤ 0,04 | ≤ 0,035 |

### 1.6.2. Acero A36

El acero A36, es ideal para la construcción de puentes y construcción en general debido a que es, un acero al carbono. Posee una alta resistencia a la fluencia de 250 MPa con una densidad de 7850 Kg/m$^3$[31], estos valores también se pueden visualizar en el anexo 2. En la siguiente tabla se encuentra las propiedades que presenta este tipo de acero.

**Tabla 10.** Propiedades del acero A36 [31].

| **Propiedades Mecánicas Acero A36** | | | |
|---|---|---|---|
| Dureza Brinell (HBW) | Resistencia a la tracción (MPa) | Límite elástico (MPa) | Elongación % |
| 119-162 | 400-550 | 220-250 | 20-23 |

### 1.6.3. Acero CHRONIT 400

El acero Chronit presenta una gran resistencia al desgaste e impacto, lo cual le hace un material muy bueno al momento de realizar molinos de martillos. Manifiesta una resistencia a la fluencia de 1000 MPa, además con una densidad de 7,85 g/cm$^3$ [35].

### 1.6.5. Hierro fundido tipo B

Este tipo de hierro fundido, más se lo utiliza para las poleas ya sea de un canal o más canales para la transmisión de potencia que se produce del motor, y así poder cumplir con el propósito de la máquina.

## 1.7. Teoría en la industria avícola

La carne de pollo, en la industria avícola es un producto de alta demanda y consumo, lo afirman: Carrera Andrade, Viteri Miranda, & Regatto Bonifaz [11]. La carne de pollo es parte de la pirámide de alimentos más consumida en la población ecuatoriana y las personas consumen normalmente por sus nutrientes y proteínas necesarias, teniendo más preferencia que otros tipos de carnes.

## 1.8. Materia prima

### 1.8.1. Maíz

Se caracterizada por poseer tallos en forma de caña, macizos en su interior distinto del resto del vínculo familiar. Es el cereal más utilizado en la dieta de las aves de corral en todo el mundo y es una gramínea [3].

**Figura 12.** Mazorca y granos de maíz [3].

Toapanta [16], menciona que el maíz como alimento presenta grandes propiedades alimenticias debido a su alta riqueza en fibra soluble, lo que ayuda al control del peso y una buena digestión, la cual se detalla en las tablas: 11 y 12.

**Tabla 11.** Tabla Nutricional para 100 gramos [4].

| **Porción** | **100 gramos** |
|---|---|
| **Elemento** | **Valor Unidad** |
| **Energía (kcal)** | 343 kcal |
| **Proteína (gramos)** | 8,30 gramos |
| **Grasa (gramos)** | 2,83 gramos |
| **Carbohidrato (gramos)** | 66,4 gramos |
| **Fibra (gramos)** | 9,41 gramos |

**Tabla 12.** Tabla Nutricional para 100 gramos [4].

| **Minerales Presentes en 100 gramos** |
|---|
| Zinc, Potasio, Sodio, Calcio, Hierro, Magnesio. |
| **Vitaminas Presentes** |

| |
|---|
| Ácido Fólico, A B1, B2, B6. |

## 1.9. Producción de maíz en Ecuador

En la producción 2018 del Ministerio de Agricultura y Ganadería, señalan que se cosechó maíz el 85% de un total de 255573 hectáreas.

**Tabla 13.** Balance de producción [25]

| Provincia | Porcentaje |
|---|---|
| Manabí | 40 % |
| Los Ríos | 28% |
| Guayas | 13% |
| Loja | 16% |
| Santa Elena | 1% |
| El Oro | 1% |
| Orellana | 1% |

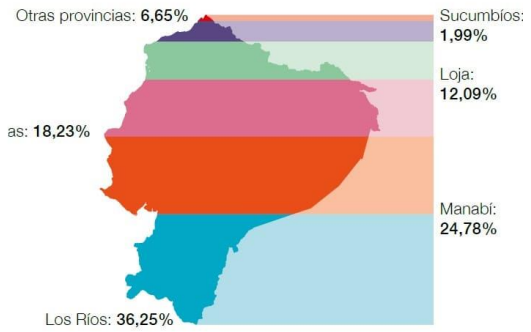



**Figura 13.** Porcentajes de producción de maíz uro por provincias.

Fuente: ESPAC 2017/ INEC

En Ecuador la producción de maíz es de, un millón de toneladas de maíz, cubriendo un 90% y 95% de la demanda [25]. Las cifras del 2019 afirman: 300 millones de pollos y 3 mil 650 millones de huevos que necesitan más de un millón de toneladas métricas de maíz, para la preparación de dos millones de toneladas métricas de alimento balanceado [26].

**Figura 14.** Áreas sembradas de maíz duro en miles de hectáreas. Del 2015 al 2017.

Fuente: ESPAC 2017/ INEC

El maíz es la proteína más económica, de fácil acceso y las más económica de un consumo per cápita de 227 huevos y 32 kilos de carne por año [26]. Donde el precio de la materia prima es: de alrededor 320 dólares la tonelada de maíz amarillo en época de cosecha, y en enero y marzo 390 dólares, mientras que en otros países se comercializa entre 220 y 240 dólares.

El Consejo Consultivo del Maíz fijó en 15,25 dólares el precio de sustentación del quintal del maíz amarillo duro, proteína animal y materia prima para la elaboración de alimentos balanceado. Esta es la política de precios en la actualidad [27].

# CAPÍTULO II

## ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MOLINOS DE MARTILLO

En el presente capítulo se realiza un estudio de las posibles alternativas, para el diseño y simulación de molinos para triturar el maíz tipo morochillo, partiendo desde una potencia de 30 hp, se ponderará datos tales como: valores económicos, tecnología aplicada, mantenimiento, entre otros, alcanzando una eficiencia con un equipo competitivo en el mercado.

### 2.1. Alternativas de solución

Para el diseño del molino de martillos, se han establecido parámetros que ayudaran a buena selección de la mejor alternativa, basándose en las necesidades de la empresa.

Propiedades para la selección de un molino, para molienda de maíz.

- De discos.
- De rodillos.
- De bolas.
- De martillos.

El molino adecuado para productos alimenticios en el área avícola es de molino de martillos, en esta selección se tiene las siguientes alternativas, como son:

- Motor de martillos de 15 hp.
- Motor de martillos de 30 hp.
- Motor de martillos de 40 hp.

En la siguiente tabla, se puede observar los diferentes motores para el molino de martillos, donde indica: sus capacidades, costos de fabricación y el consumo energético.

**Tabla 14.** Posibles alternativas para el molino de martillos según el motor.

| Parámetros | Motor 15 hp | Motor 30 hp | Motor 40 hp |
|---|---|---|---|
| Capacidad de la máquina | Bajo | Medio | Alto |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Costos de fabricación | Económico | Accesible | Caro |
| Consumo energético | 11,19 KW | 22,38 KW | 29,84 KW |
| Capacidad de molienda | $3\ ^{T}/_{h}$ | $5\ ^{T}/_{h}$ | $8\ ^{T}/_{h}$ |

Elaborado por: Alexander Cisneros y Diego Díaz

### 2.2. Selección de alternativas

Para la correcta evaluación de los parámetros, en la tabla 15 se utilizará unos rangos de calificación.

**Tabla 15.** Parámetros de selección

| Parámetros | Calificación |
|---|---|
| Capacidad de la máquina | 1 baja. |
| | 3 medio. |
| | 5 alta. |
| Costos de fabricación | 1 caro. |
| | 3 accesible. |
| | 5 económico. |
| Consumo energético | 1 baja. |
| | 3 medio. |
| | 5 alta. |
| Capacidad de molienda | 1 baja. |
| | 3 medio. |
| | 5 alta. |

Elaborado por: Alexander Cisneros y Diego Díaz

Una vez revisado bien los parámetros a evaluar, se procederá a la comparación, donde se elegirá la mejor alternativa entre los tres tipos de motores de molinos de martillos para el proceso de molienda.

**Tabla 16.** Selección de alternativas

| Parámetros | Motor 15 hp | Motor 30 hp | Motor 40 hp |
|---|---|---|---|
| Capacidad de la máquina | 1 | 3 | 5 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Costos de fabricación | 5 | 3 | 1 |
| Consumo energético | 1 | 3 | 5 |
| Capacidad de molienda | 1 | 3 | 5 |
| Total | 8 | 12 | 16 |

Elaborado por: Alexander Cisneros y Diego Díaz

Luego de la comparación de alternativas, se determina que el motor de 30 hp es el adecuado para la empresa, a pesar de su calificación, no requieren que la capacidad de molienda sea elevada para la molienda de maíz, debido a que se obtiene una selección medible y cuantificable que se amolda a las necesidades de la empresa SEYMEC S.A en la fabricación de molinos de martillos para estandarizar el proceso de construcción.

Llevando a dar un análisis y diseño de diámetros de sus ejes principales y secundarios, como también el diseño de martillos, calculando el factor de seguridad mediante el método de Von Mises para un buen diseño en materiales dúctiles, donde se calcula a partir de las tensiones principales.

### 2.3. Identificación de necesidades

La necesidad de triturar cereales, insumos para la alimentación de aves, para planteles avícolas con capacidad superior a las 100 mil aves, es necesario tener un molino con una capacidad de 30 hp, para satisfacer esta necesidad, se ha observado estos parámetros y se debe considerar al momento del diseño.

- **Automatización. -** Para la automatización de un equipo de trituración de cereales, es necesario conocer las RPM, la dosificación, de modo que la molienda del maíz sea fina, media y gruesa según la necesidad, en donde se varía el sistema de cribado, obteniendo un producto adecuado de acuerdo con las necesidades del cliente.

- **Mantenimiento. –** Un mantenimiento preventivo alarga la vida útil del molino, la operación de mantenimiento que se debe realizar a las chumaceras, a los martillos, debe ser práctico y también la limpieza del interior del molino debe ser sencillo; al momento de reemplazar alguna pieza, se debe considerar que exista en el mercado local o de fabricación.

- **Tamaño de la máquina. –** La máquina debe ser versátil, desmontable, sus dimensiones deben ser ergonómicamente adecuadas para su instalación y su correcta operación.

- **Control de parámetros del diseño. –** Los controles de parámetros de diseño a considerar en el proceso de molienda es: diámetro del eje motriz, potencia y rpm del motor, ancho, espesor y largo de los martillos, diámetro de los agujeros de la criba o zaranda y la carcasa del molino.

- **Economía. –** Se debe reducir costos, donde no afecte económicamente al cliente, y a su vez proporcione un alto rendimiento satisfaciendo las necesidades y garantizando su uso.

- **Seguridad. –** El factor de seguridad en el diseño debe ser riguroso, se debe tener mucho cuidado para que el operario y personal cerca del molino tengan mayor seguridad y confianza.

- **Capacidad. -** La capacidad de molienda en (kilogramos/hora) según la demanda del cliente debe ser de 1 T/h.

Los parámetros anteriormente mencionados son de gran importancia al momento del diseño del molino, ya que, se implementan soluciones a estos parámetros y necesidades del cliente y su uso, logrando una mayor eficiencia en proceso de molienda.

# CAPÍTULO III

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL MOLINO DE MARTILLOS

En el presente capítulo, se pone a disposición todas las fórmulas para dar a cabo con un perfecto diseño, además del uso del software para comprobar con su simulación y dar solución de estandarizar las medidas que se llevan a cabo en la empresa SEYMEC.

### 3.1. Capacidad de molienda

Para empezar el cálculo se necesita conocer la capacidad de molienda, este mencionado valor es de 1 tonelada, es decir, requiere moler 20 quintales para satisfacer la demanda que presenta actualmente la empresa para el cliente.

Se empieza convirtiendo las unidades, para posteriormente obtener aproximadamente los granos que va a moler por minuto y cumplir la demanda que requiere la molienda.

El peso aproximado de 1 grano de morochillo es 0,26 gramos, entonces:

$$1\left|\frac{Tonelada}{hora}\right|\left|\frac{1000\,Kg}{1\,tonelada}\right| * \left|\frac{1000\,g}{1\,Kg}\right| * \left|\frac{1\,grano}{0{,}26\,g}\right| * \left|\frac{1\,hora}{60\,min}\right| = 64103\left|\frac{granos}{minuto}\right|$$

Esta cantidad calculada es alta, la cual sirve para saber cuántos martillos va a necesitar la cámara. Según las especificaciones recomendadas por productores americanos y brasileños, siendo uno de los países más grandes de américa, recomiendan que las revoluciones por minuto para el motor son de 2500 a 3500 RPM, se escoge un valor aproximadamente de 3150 RPM, que equivale al 90% lo que va a trabajar, con el valor de 3150 RPM, se realiza la siguiente operación [29]:

$$\frac{64103\,\frac{granos}{minuto}}{3150|RPM|} \approx\ 20\,\frac{granos}{rev}$$

Siendo:

$w = 3150\ [RPM]$; velocidad angular del motor.

La capacidad de molienda es muy buena, a comparación de la capacidad que requiere el cliente de triturar el maíz que no es tan elevado, entonces, solo se requiere la construcción

de una sola cámara, en donde se alojarán los **24 martillos,** los cuales se encargarán de triturar aproximadamente los 24 granos por cada revolución.

Se considera que por cada eje secundario se alojarán 3 martillos con su debida separación entre sí, con arandelas o separadores, lo que significa que estarán 12 martillos entre cada disco, llegando a sumarse con un total de 24 martillos; por con siguiente se obtienen **3 discos.**

Se obtiene 2 datos importantes los cuales son:

- Número de martillos= 24 martillos
- Número de discos= 3 discos

## 3.2. Diseño del martillo para triturar granos

### 3.2.1. Energía de ruptura del morochillo

El martillo realiza un golpe cuando gira, la mayor parte del tiempo de una forma frontal, este detalle es importante ya que se puede considerar que el espesor del martillo debe ser el mismo espesor del morochillo o mayor.

A continuación, se realiza un muestreo del espesor del morochillo en mm.

**Tabla 17.** Muestreo del espesor del morochillo

| Número de muestra | Espesor del morochillo en mm |
|---|---|
| 1 | 3 |
| 2 | 4 |
| 3 | 2,8 |
| 4 | 4,1 |
| 5 | 3,8 |
| 6 | 4 |
| 7 | 3,9 |
| 8 | 3,9 |
| 9 | 4,1 |
| 10 | 4 |

| | |
|---|---|
| 11 | 4,2 |
| 12 | 3,9 |
| 13 | 4 |
| 14 | 3,9 |
| 15 | 4,2 |
| 16 | 4 |
| 17 | 4,1 |
| 18 | 4,2 |
| 19 | 3,8 |
| 20 | 4 |

Elaborado por: Alexander Cisneros y Diego Díaz

El espesor de cada morochillo se determinó con un promedio aproximado de 4mm, este espesor del morochillo sirve para estandarizar el espesor del martillo, esta medida será de ¼ de pulgada que es una medida estándar existente en el mercado que equivale a 6,35 mm.

Después se procede a realizar ensayos de ruptura del morochillo, dejando caer una masa metálica de 500g a una altura de 0,2m sobre el grano.

La energía de ruptura o fuerza de ruptura del morochillo se puede calcular con la siguiente fórmula que se presenta a continuación. Dicha fórmula se expresa de la siguiente manera [38]:

Fuerza de ruptura

$$F_{Rm} = m_m * g * h \quad (1)$$

Donde:

$F_{Rm}$: Fuerza de ruptura del morochillo en J

$m_m$: Masa metálica de 500g

g: gravedad $\left[9{,}81\ {}^{m}/_{s^2}\right]$

h: altura 0,2m

Sustituyendo los valores en la ecuación 1, se obtiene:

$$F_{Rm} = (0{,}5Kg) * \left(9{,}81\ {}^{m}/_{s^2}\right) * (0{,}2m)$$

$$F_{Rm} = 0{,}981\ Nm$$

Cabe recalcar que este método se lo tuvo que realizare en la vida real, puesto que la energía de trituración para el morochillo no hay; además este experimento no es nuevo, y es realizado en algunos centros alimenticios.

### 3.2.2. Velocidad tangencial del morochillo

En la molienda, el morochillo tiende a chocar en los bordes del martillo, lo que genera una energía cinética, y esta energía viene representado en la ecuación 2; el cual viene siendo la energía del grano al impactar contra el martillo.

Energía cinética [38].

$$E_c = \frac{1}{2} m_{mr} * v^2 \tag{2}$$

Donde:

$m_{mr}$: Masa del morochillo

$v$ : velocidad del martillo

### 3.2.3. Velocidad tangencial en el martillo

Igualando la ecuación 1 y 2 se tiene la siguiente expresión:

$$m_m * g * h = \frac{1}{2} m_{mr} * v^2$$

Luego se procede a despejar la velocidad, obteniendo lo siguiente:

Velocidad tangencial

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * m_m * g * h}{m_{mr}}} \tag{3}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * (500g) * \left(9{,}81\ {}^{m}/_{s^2}\right) * (0{,}2m)}{(0{,}26g)}}$$

$$v_t = 86{,}87\ m/s$$

La velocidad tangencial está a la par con la velocidad angular, y el radio de giro que es una incógnita que se requiere encontrar, para ello, se hace el uso de las RPM y se procede de la siguiente manera:

Velocidad angular

$$w = 3150\ \frac{rev}{min} = 329{,}87\frac{rad}{s}$$

Velocidad tangencial [36]

$$v_t = w * R_g \tag{4}$$

Donde:

$v_t$: velocidad tangencial $[m/s]$

$W$: velocidad angular $\left[\frac{rad}{s}\right]$

$R_g$: radio de giro $[m]$

### 3.2.4. Radio de giro

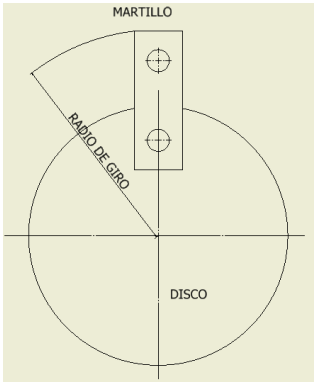



**Figura 15.** Radio de giro.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Con la siguiente fórmula se utiliza para encontrar el radio de giro con el cual se puede realizar todo el proceso [36]:

$$R_g = \frac{v_t}{w}$$

$$R_g = \frac{86{,}87\ m/s}{329{,}87\ rad/s}$$

$$R_g = 0{,}26\ m$$

Este valor encontrado es una referencia máxima que puede tener el molino en la cámara de molienda, además sirve para encontrar la fuerza centrífuga en el martillo, así como también poder diseñar el disco portamartillos.

Se asume una **longitud de 15 cm** del martillo, para luego verificar y corroborar los datos si es la medida exacta, tomando en cuenta la fuerza de ruptura encontrada anteriormente.

En la siguiente fórmula se expresa el momento de choque del morochillo [36]:

$$M = F_c * L \tag{5}$$

Donde:

M: momento de choque del morochillo $[Nm]$

$F_c$: Fuerza de corte del morochillo $[N]$, ver figura 16.

L: longitud a la que es sometido el morochillo$[m]$

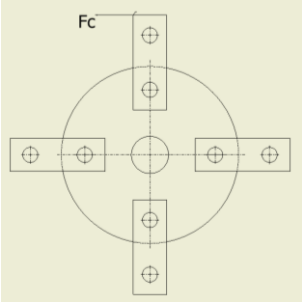



**Figura 16.** Fuerza de corte.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Por otro lado, el momento de inercia del martillo se expresa mediante la siguiente fórmula [36]:

$$M = I * \alpha \tag{6}$$

Donde:

I: inercia del martillo $[Kg * m^2]$

$\alpha$: aceleración angular $[rad/s^2]$

La inercia del martillo al momento que gira tiene una geometría rectangular y está dada por la fórmula siguiente [39]:

$$I = \frac{1}{12} mL^2 \tag{7}$$

Igualando las ecuaciones 5 y 6 se obtiene:

$$F_c * L = I * \alpha \tag{8}$$

Luego reemplazando la ecuación de la inercia, para así obtener una ecuación de la masa del martillo y poderla calcular.

$$m = \frac{F_R * 12}{\alpha * L} \tag{9}$$

### 3.2.5. Aceleración angular

La aceleración angular se puede calcular con la siguiente fórmula descrita a continuación [2]:

$$\alpha = \frac{w^2}{4 * \pi} \tag{10}$$

$$\alpha = \frac{(329{,}87)^2}{4 * \pi}$$

$$\alpha = 8659{,}04 \ {}^{rad}/_{s^2}$$

Con este valor calculado ya se puede encontrar la masa del martillo de la ecuación 9:

### 3.2.6. Masa del martillo

$$m = \frac{(41.73\ N) * 12}{\left(8659{,}04 \ {}^{rad}/_{s^2}\right) * (0.15m)}$$

$$m = 385{,}5\ g$$

Con estos datos encontrados, se puede determinar las medidas que faltan del martillo [36].

$$V_m = \frac{m}{\rho} \tag{11}$$

Donde:

$V_m$: Volumen del martillo $[cm^3]$

m: masa del martillo $[g]$

$\rho$: Densidad del material del martillo; en este caso es de acero CHRONIT (ver anexo 3)

### 3.2.7. Ancho del martillo

$$L * a * e = \frac{m}{\rho}$$

$$a = \frac{385{,}5\ g}{\left(7{,}85\ {}^{g}/_{cm^3}\right) * (15cm)(0{,}635cm)}$$

$$a = 5{,}156\ cm$$

El ancho del martillo se lo aproxima a una medida estándar de una platina de 2 1/16 plg, que en milímetros es 52,39 mm, estas medidas se proyecta al programa para proceder a realizar el respectivo análisis. A continuación, se proyecta las medidas al software especializado como se puede observar en la siguiente figura.

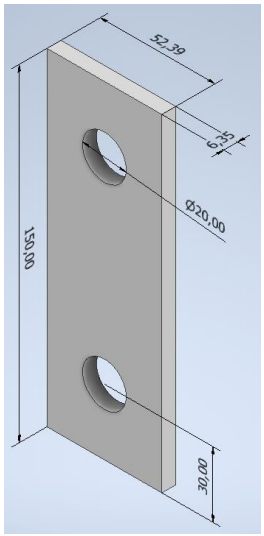



**Figura 17.** Medidas del martillo.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

### 3.2.8. Análisis del martillo

En el martillo se asume 2 perforaciones de diámetro 20 mm, para realizar una simulación con un software especializado como se puede observar en la figura 17, estas 2 perforaciones estarán a los extremos de cada martillo, esto servirá para cuando se desgaste un lado del martillo solo se pueda dar la vuelta o también realizar una inversión de giro en el motor y tenga una vida más prolongada.

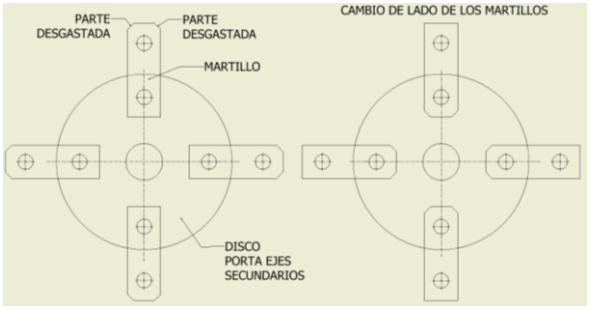



**Figura 18.** Cambio de posición de los martillos.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Se determina la tensión de Von Mises mediante el uso del software SolidWorks, el factor de seguridad y el desplazamiento que pueda provocar el morochillo como resistencia al corte en la cara que recibe el impacto de 6,35 mm de ancho.

En la siguiente figura se puede observar la tensión de Von Mises, el cual soporta una tensión de 109,8 MPa, por ende, es menor al esfuerzo de fluencia del material que es de 1000 MPa, esto quiere decir que no presenta deformación permanente alguna.

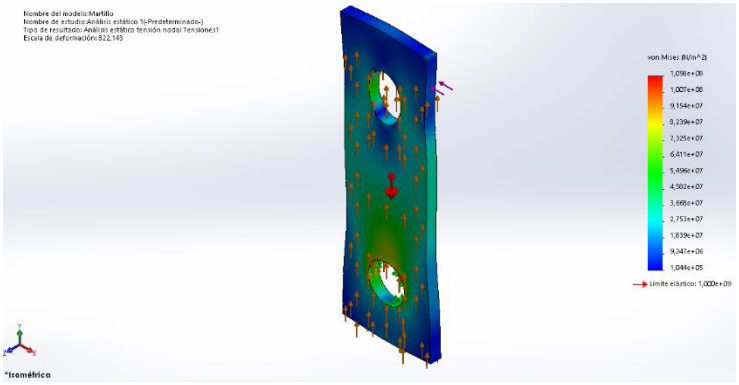


**Figura 19.** Tensión Von Mises en el martillo

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

A continuación, se presenta el desplazamiento en la esquina donde choca el martillo con el morochillo, esta distancia es demasiado mínima por el tipo de material que se está empleando en centésimas de milímetros, como son 4 lados que se va a utilizar el martillo se podría decir, que tendrá una vida mayor a 20 años según expertos que fabrican este tipo de molinos.

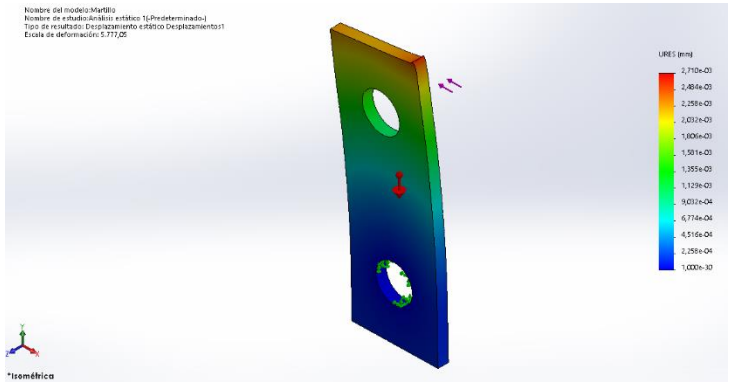



**Figura 20.** Desplazamiento debido al impacto con el morochillo

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 21, el martillo presenta un factor de seguridad de 9,58 esto significa que la carga no hará que el material sobrepase el esfuerzo de fluencia y tenga una larga duración de uso en la empresa.

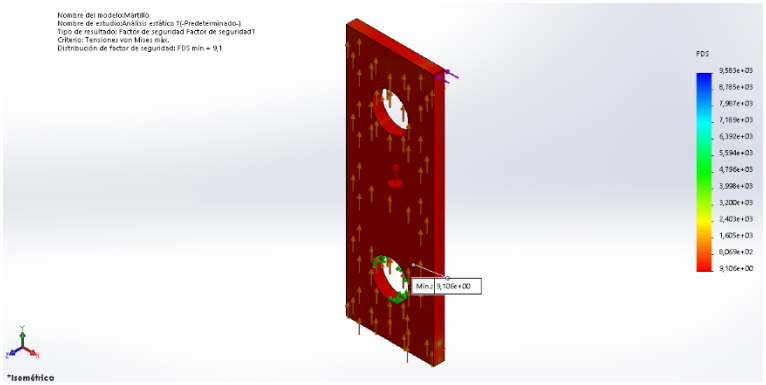



**Figura 21.** Factor de seguridad del martillo

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

### 3.2.9. Fuerza centrífuga

Larburu [36], menciona que para poder encontrar dicha fuerza centrífuga se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$F_{cf} = m * W^2 * R_g \quad (12)$$

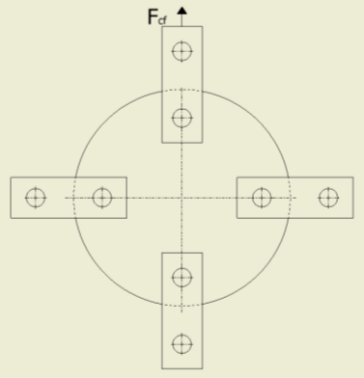



**Figura 22.** Fuerza centrífuga.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Donde:

$F_{cf}$: fuerza centrífuga $[N]$

$R_g$ : Radio de giro calculado

$$F_{cf} = (0{,}3855\ Kg) * \left(329{,}87 \frac{rad}{s}\right)^2 * (0{,}26\ m)$$

$$F_{cf} = 11047{,}70\ N$$

La fuerza centrífuga, presenta una fuerza mayor a la fuerza de corte o también llamada fuerza tangencial, siendo así, el martillo se mantiene en una correcta posición de trabajo.

Fuerzas presentes

$$F_y = F_{cf} + W_m \quad (13)$$

Donde:

$W_m$: peso del martillo $[N]$

$$F_y = 11047{,}70\ N + \left(9{,}8 \frac{m}{s^2} * 0{,}3855\ kg\right)$$

$$F_y = 11051{,}48\ N$$

### 3.2.10. Esfuerzo Cortante

$$\tau = \frac{F_y}{A} \tag{14}$$

Donde:

$\tau$: esfuerzo cortante $[MPa]$

A: es el área de una posible falla $[m^2]$

$$\tau = \frac{11051{,}48\ N}{(0{,}05239\ m - 0.02\ m)(0{,}00635\ m)}$$

$$\tau = 53{,}74\ MPa$$

### 3.2.11. Factor de seguridad

Para el martillo, se determina la falla por rotura para así estar con mayor seguridad si se está realizando bien los cálculos con el tipo de material.

Factor de seguridad por rotura del martillo [34].

$$n = \frac{S_y}{2*\tau} \tag{15}$$

Donde:

n: es el factor de seguridad

$S_y$: es la resistencia a la fluencia del acero CHRONIT 400 (ver anexo 3)

$$n = \frac{1000\ MPa}{2 * 53{,}74\ MPa}$$

$$n = 9{,}30$$

Con este factor de seguridad calculado, se verifica que la perforación en el martillo no sufrirá ninguna fractura alguna y también se corrobora la simulación en la figura 21, donde indica un factor de seguridad de 9,58.

### 3.3. Diseño del eje secundario

#### 3.3.1. Separador de martillos

Expertos en la fabricación de molinos de martillos sugieren que la longitud de los separadores debe ser mayor a 3 veces del espesor del martillo [24].

*3.3.1.1 Longitud del Separador*

$$\text{Separador} = 3 * (\text{Espesor del martillo}) \tag{16}$$

$$\text{Separador} = 3 * (6{,}35 \text{ mm})$$

$$\text{Separador} = 19{,}05 \text{ mm}$$

$$\text{Separador} = 20\text{mm}$$

*3.3.1.2. Masa del separador*

$$m_{separador} = \left(\frac{\pi * {D_{ext.sep}}^2}{4} - \frac{\pi * {D_{int.sep}}^2}{4}\right) * L * \rho_{A1018} \tag{17}$$

Donde:

$m_{separador}$: masa del separador $[g]$

$D_{ext.sep}$: diámetro exterior del separador $[cm]$

$D_{int.sep}$: diámetro interno del separador $[cm]$

L: longitud del separador $[cm]$

$\rho_{A1018}$: Densidad del acero 1018 (ver anexo 4)

$$m_{separador} = \left(\frac{\pi(3\ cm)^2}{4} - \frac{\pi * (2{,}75\ cm)^2}{4}\right) * 2cm * \left(7{,}87 \frac{g}{cm^3}\right)$$

$$m_{separador} = 17{,}8073\ g$$

$$W_{separador} = (17{,}8073\ g) * 9{,}81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{separador} = 0{,}17\ N$$

### 3.3.2. Discos porta ejes

El número de discos depende del número de martillos del respectivo molino, para este caso se puede determinar con la siguiente ecuación:

*3.3.2.1. Numero de discos*

$$Número\ de\ discos = \left(\frac{Número\ de\ martillos}{\#\ martillos\ por\ hilera}\right) + 1 \quad (18)$$

$$Número\ de\ discos = \left(\frac{24}{12}\right) + 1$$

$$Número\ de\ discos = 3$$

*3.3.2.2. Espesor:*

Bermeo [24], dice que para un correcto espesor del disco porta ejes, es recomendable usar la siguiente ecuación:

$$e = \left(\frac{2 * R_T * N}{Dist.periferia * S_y}\right) \quad (19)$$

Donde:

$e$: espesor del disco porta ejes secundarios $[mm]$

$R_T$: suma de reacciones centrales del eje secundario ya que son las partes más críticas de que tienda a fallar $[N]$.

$N$: Factor de seguridad 1,5 para comprobar su límite de fluencia de acuerdo con el tipo material.

$Dist.periferia$: distancia de periferia es del borde de la perforación del eje secundario al borde del diámetro del disco porta ejes $[m]$(ver figura 23).

*3.3.2.3. Distancia de periferia*

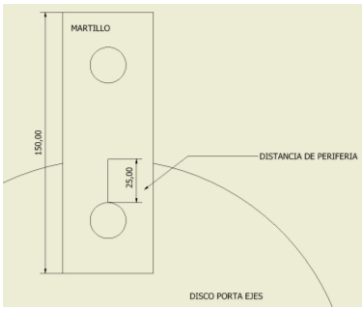



**Figura 23.** Distancia de periferia

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

$S_y$: Resistencia a la fluencia del acero A36 (ver anexo 2)

$$e = \left(\frac{2 * (16577{,}22 + 16577{,}2)\ N * 1{,}5}{0{,}025\ m * 250\ MPa}\right)$$

$$e = 15{,}91\ mm$$

El valor del espesor encontrado se aproxima a una medida estándar, la cual en la simulación quedará definida con un espesor de 11/16 plg, que equivale a 17,46 mm.

*3.3.2.4. Masa y peso del disco*

$$m_{disco} = \left[(\pi * {r_{disco}}^2 * e) - \left(\pi * {R_{eje\ secundario}}^2 * e\right) - \left(\pi * {R_{eje\ principal}}^2 * e\right)\right] * \rho_{A36} \quad (20)$$

Donde:

$m_{disco}$: masa del disco porta ejes secundarios $[Kg]$

$r_{disco}$: radio del disco porta ejes secundarios $[m]$

$R_{eje\ secundario}$: radio del eje secundario $[m]$

$e$: espesor del disco porta ejes secundarios $[m]$

$\rho_{A36}$: Densidad del acero A36 (ver anexo 2)

$$m_{disco} = [(\pi * (0{,}14\ m)^2 * 0{,}01746\ m) - (\pi * (0{,}0135\ m)^2 * 0{,}01746\ m) - (\pi * (0{,}0425\ m)^2 * 0{,}01746\ m)] * 7860\frac{Kg}{m^3}$$

$$m_{disco} = 7{,}59\ kg$$

$$W_{disco} = 7{,}59\ kg * 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$$

$$W_{disco} = 74{,}45\ N$$

A continuación, con los datos encontrados del disco porta ejes secundarios, se proyecta al software especializado para corroborar dichos datos mencionados.

En la figura 24 el mayor esfuerzo de Von Mises es 214,7 MPa, cuyo valor viene siendo menor que el esfuerzo a fluencia del material que se pretende construir, esto conlleva a decir que no tendrá deformación constante.

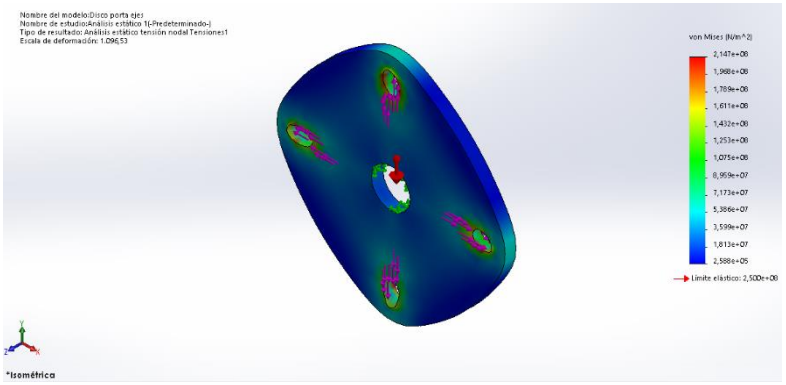



**Figura 24.** Tensión Von Mises del disco porta ejes

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 25 El desplazamiento mayor en el eje es 0.02562 centésimas de milímetros en la parte central y de la periferia, lo que significa que no es una deformación permanente.

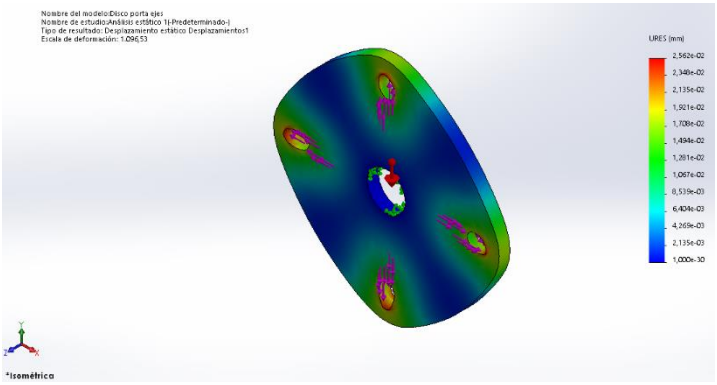



**Figura 25.** Desplazamiento en el disco porta ejes

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Como se puede apreciar en la figura 26, el factor de seguridad mínimo es 1,2 siendo un valor próximo al valor inicial, esto quiere decir; que el disco porta ejes es el adecuado.

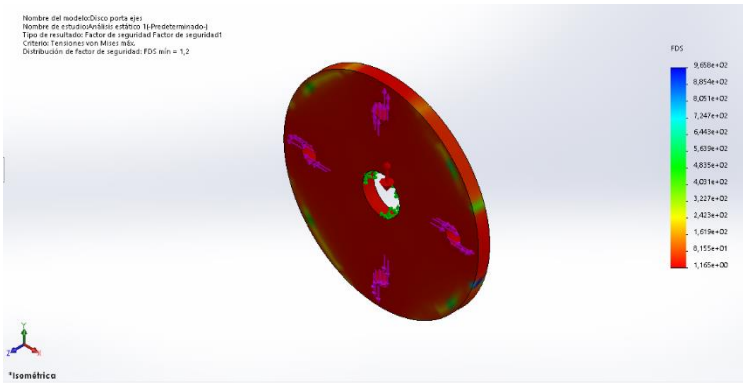



**Figura 26.** Factor de seguridad en el disco porta ejes

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

### 3.3.3. Fuerza centrífuga en el eje secundario.

$$F_{cf-e.s.} = (F_{cf}) + (W_m) \tag{21}$$

$$F_{cf-e.s.} = 11047{,}70\ N + (0{,}3855\ Kg) * \left(9{,}81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{cf-e.s.} = 11051{,}48\ N$$

En el eje secundario va a soportar los 6 martillos, y también se encuentra apoyados en 3 discos.

En la siguiente figura se puede observar las fuerzas que ejercen en los ejes secundarios.

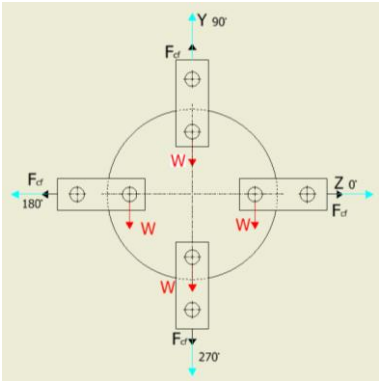



**Figura 27.** Fuerzas presentes en el eje secundario.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

### 3.3.4. Fuerzas en el eje secundario.

Se puede observar en la figura 27 las fuerzas que actúan en los ejes secundarios son: peso de los martillos, fuerza centrífuga, mientras tanto los discos porta ejes secundarios son los que soportan a los ejes secundarios y a los martillos, siendo así apoyos.

Fuerzas en los planos Y y Z (ver figura 27)

*3.3.4.1. Plano Y*

$$FY_{90°} = F_{cf} - W_m \tag{22}$$

$$FY_{90°} = 11047{,}70\ N - (0{,}3855\ Kg) * \left(9{,}81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$FY_{90°} = 11043{,}92\ N$$

$$FY_{270°} = F_{cf} + W_m \tag{23}$$

$$FY_{270°} = 11047{,}70\ N + (0{,}3855\ Kg) * \left(9{,}81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$FY_{270°} = 11051{,}48\ \ N$$

*3.3.4.2. Plano Z*

$$FZ_{0°} = FZ_{180°} = F_{cf}$$

$$FZ_{0°} = FZ_{180°} = 11051{,}48\ \ N$$

### 3.3.5. Reacciones presentes en el eje secundario.

Se procede a realizar los cálculos respectivos de las reacciones, para posteriormente encontrar el valor del momento máximo, para ello se da medida inicial de un diámetro para el eje secundario y verificar si el diámetro asumido es el correcto, por lo tanto, se asume un diámetro de 27 mm. También cabe notar que el análisis se procede a realizarlo en una hilera.

Las reacciones presentes en el eje secundario pueden verse reflejadas en la siguiente figura.

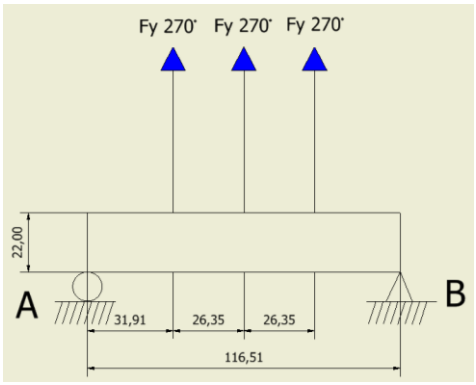



**Figura 28.** Diagrama del eje secundario.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 28, para su mayor entendimiento se viene a realizar el análisis en la siguiente figura.

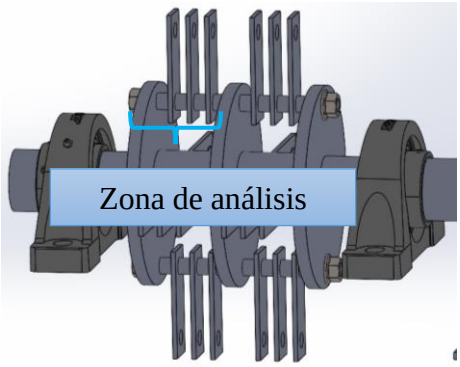



**Figura 29.** Zona de análisis del eje secundario.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

$$\circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$FY_{270°} * (31{,}906\ mm) + FY_{270°} * (58{,}256\ mm) + FY_{270°} * (84{,}606\ mm) - R_B * (116{,}551\ mm) = 0$$

$$R_B = 16577{,}22\ N$$

$$R_A = 16577{,}22\ N$$

En la siguiente figura se puede apreciar las mismas reacciones hechas mediante el uso de un software y el realizado de diagrama de esfuerzos cortantes.

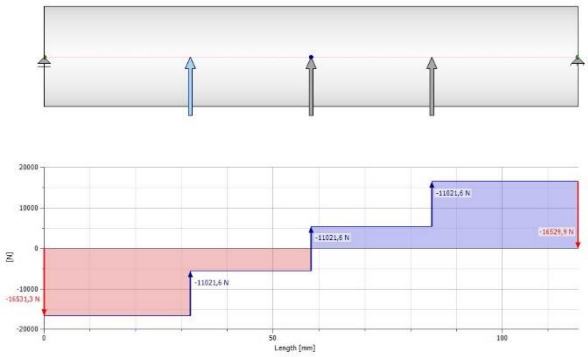



**Figura 30.** Diagrama realizado en Inventor de las reacciones presentes en el eje secundario.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Con estos datos se tiene un momento máximo de 675625,48 Nmm, se lo reemplaza en la ecuación 24 de esfuerzo con el diámetro asumido anteriormente. También este valor del momento máximo se puede ver en la siguiente figura.

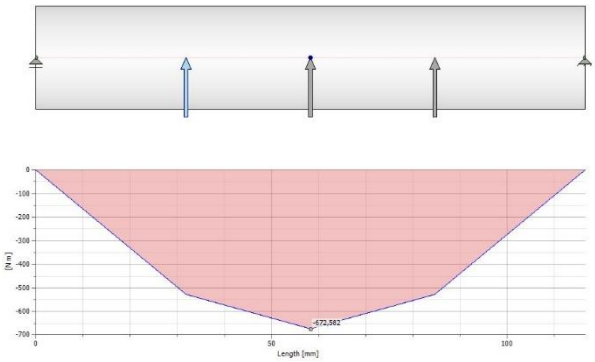



**Figura 31.** Diagrama realizado en Inventor de las reacciones presentes en el eje secundario.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

### 3.3.6. Esfuerzo flexionante en el eje secundario.

El esfuerzo flexionante se puede calcular con la siguiente ecuación [34]:

$$\sigma_y = \frac{32*M}{\pi*d^3} \tag{24}$$

$$\sigma_y = \frac{32 * 675625{,}48\ \text{Nmm}}{\pi * (27\ mm)^3}$$

$$\sigma_y = 349{,}63\ MPa$$

### 3.3.7. Esfuerzo cortante a flexión en el eje secundario.

Mediante el uso de la ecuación 25, se pretende encontrar un valor de esfuerzo cortante a flexión [34].

$$\tau_y = \frac{4*V}{3*A} \tag{25}$$

Donde:

V: es la reacción al punto extremo de A

$$\tau_y = \frac{4 * V}{3 * \left(\frac{\pi}{4} * d^2\right)}$$

$$\tau_y = \frac{4 * 16577{,}22\ N}{3 * \left(\frac{\pi}{4} * (27mm)^2\right)}$$

$$\tau_y = 34{,}47\ MPa$$

### 3.3.8. Esfuerzo equivalente Von Mises en el eje secundario.

Con estos valores de esfuerzos, se puede encontrar mediante la ecuación de Von Misses el esfuerzo equivalente para posteriormente encontrar el factor de seguridad y corroborar el diámetro asumido si es el correcto para el eje secundario [34].

$$\sigma' = \sqrt{{\sigma_y}^2 + 3 * {\tau_y}^2} \tag{26}$$

$$\sigma' = \sqrt{(349{,}63\ MPa)^2 + 3 * (34{,}47\ MPa)^2}$$

$$\sigma' = 354{,}69\ MPa$$

### 3.3.9. Factor de seguridad del eje secundario.

Mediante el uso de la siguiente ecuación se puede calcular el respectivo factor [34]:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \tag{27}$$

$$n = \frac{1100\ MPa}{354{,}69\ MPa}$$

$$n = 3{,}1$$

Con este valor calculado se corrobora que el diámetro asumido de 27 mm es el correcto.

A continuación, se procede a proyectar los datos pertinentes del eje secundario al software para corroborar los datos y determinar cuánto tiende a flexionar.

El análisis de la siguiente figura está dado por: la fuerza centrífuga que va a soportar el eje, más el peso de los martillos cuando estos están a 270°.

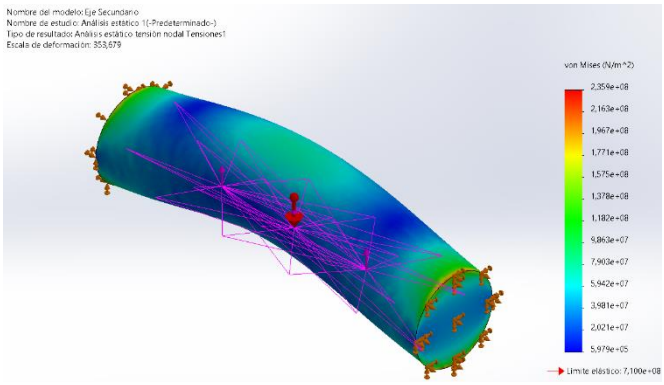



**Figura 32.** Tensión Von Mises en el eje secundario

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 32, el mayor esfuerzo de Von Mises es 235,9 MPa cuyo valor viene siendo menor que el esfuerzo a fluencia del material que se pretende construir, esto conlleva a decir que no tendrá deformación constante.

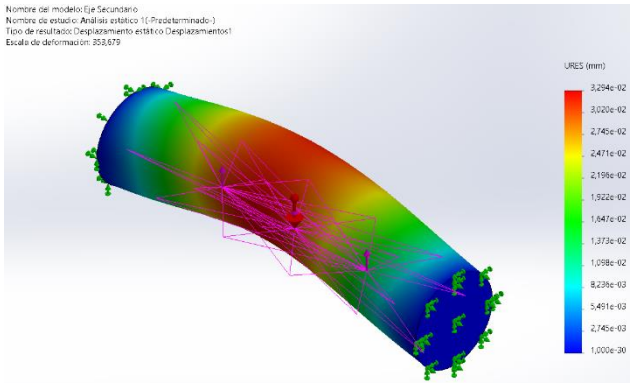



**Figura 33.** Desplazamiento en el eje secundario

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

El desplazamiento mayor en el eje de la figura 33, es de 0,03294 centésimas de milímetros en la parte central, lo que significa que no es una deformación permanente.

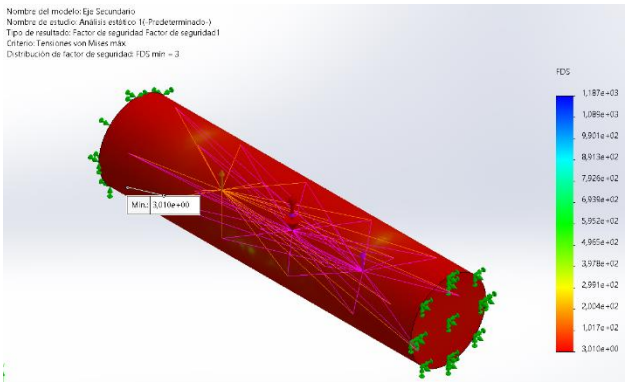



**Figura 34.** Factor de seguridad en el eje secundario

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 34 mostrada, el factor de seguridad mínimo es de 3,01 cuyo valor se demostró en la ecuación 27, esto quiere decir, que el diámetro a seleccionarse de 27 es el adecuado para este proceso de molienda.

## 3.4. Diseño del eje principal

En el eje principal se debe tomar en cuenta el peso del disco porta ejes, además, de las reacciones calculadas anteriormente en el disco porta ejes, para así; lograr obtener un diámetro óptimo asumiendo primeramente el diámetro e ir haciendo iteraciones, dando como resultado el diámetro adecuado para el proceso de molienda.

### 3.4.1. Reacciones presentes en el eje principal

A continuación, en la figura 35 se indica un diagrama donde se encuentran las reacciones presentes en el eje principal.

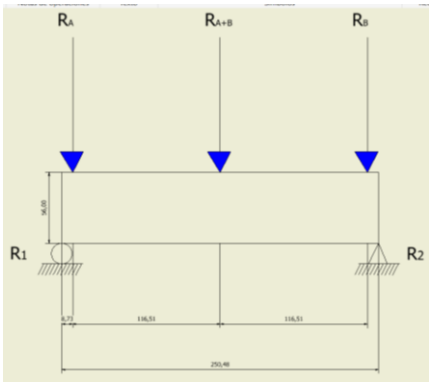



**Figura 35.** Diagrama de cuerpo libre en el eje principal

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

$$\circlearrowleft \sum M_1 = 0$$

$$-(74{,}45\ N + 16577{,}22\ N) * (8{,}73\ mm) - (74{,}45\ N + 16577{,}22\ N + 16577{,}22\ N) * (125{,}44\ mm) - (74{,}45\ N + 16577{,}22\ N) * (242{,}15\ mm) + R_2 * (250{,}89\ mm) = 0$$

$$R_2 = 33264{,}79\ N$$

$$R_1 = 33264{,}79\ N$$

En la siguiente figura se puede apreciar las mismas reacciones calculadas mediante el uso de un software y el realizado de diagrama de esfuerzos cortantes.

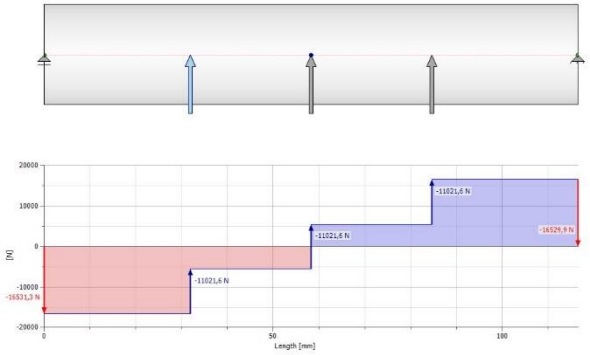



**Figura 36.** Diagrama realizado en Inventor de las reacciones presentes en el eje secundario.

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

El momento máximo es 2229881,875 Nmm, este valor va a ser utilizado en la siguiente sección, además se asume un diámetro de 85 mm para iniciar el cálculo y poder corroborar dicho diámetro.

### 3.4.2. Esfuerzo flexionante en el eje principal.

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

$$\sigma = \frac{32 * 2229556{,}082\ \text{Nmm}}{\pi * (85\ mm)^3}$$

$$\sigma = 36{,}98\ MPa$$

### 3.4.3. Torque transmitido al eje principal.

Mediante el uso de la ecuación 28, se pretende encontrar el valor del torque transmitido para poder reemplazar dicho valor al esfuerzo cortante a torsión [34].

$$T_{trans} = \frac{P_{motor}}{W_{trans}} \tag{28}$$

$$T_{trans} = \frac{22371\ {}^{Nm}/_{seg}}{329{,}87\ {}^{rad}/_{seg}}$$

$$T_{trans} = 67{,}82\ Nm$$

### 3.4.4. Esfuerzo cortante a torsión en el principal

En la siguiente ecuación se va a encontrar esfuerzo cortante para posteriormente encontrar el esfuerzo equivalente Von Mises y corroborar los datos asumidos [34].

$$\tau_{torsión} = \frac{T_{trans} * 16}{\pi * d^3} \tag{29}$$

$$\tau_{torsión} = \frac{67{,}82\ Nm * 16}{\pi * (0{,}085\ m)^3}$$

$$\tau_{torsión} = 0{,}56\ MPa$$

### 3.4.5. Esfuerzo equivalente Von Mises en el eje principal.

Con estos valores de esfuerzos, se procede encontrar mediante la ecuación de Von Misses el esfuerzo equivalente, para posteriormente hallar el factor de seguridad y corroborar el diámetro asumido si es el correcto para el eje principal [34].

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * {\tau_{torsión}}^2} \tag{30}$$

$$\sigma' = \sqrt{(36{,}98\ MPa)^2 + 3 * (0{,}56\ MPa)^2}$$

$$\sigma' = 36{,}99\ MPa$$

### 3.4.6. Factor de seguridad para el eje principal.

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

$$n = \frac{1100\ MPa}{36{,}99\ MPa}$$

$$n = 29{,}74$$

Con este factor de seguridad se corrobora que el diámetro asumido de 85 mm es el indicado, pero, es necesario que el eje entre a un diseño por fatiga para así corroborar que dicho diámetro sea con un factor de seguridad de 3 como mínimo.

Para validar estos datos, se realiza en el siguiente apartado un nuevo factor de seguridad, donde; indicará si su vida es finita, el cual quiere decir que sufrirá una rotura; o una vida infinita, que el eje va a tener una larga vida.

### 3.5. Diseño a Fatiga del eje principal

Todo eje realizado sus primeros cálculos, debe someterse a un diseño a fatiga mediante la ecuación de la resistencia a la fatiga, a continuación, se presenta todos los factores a tomarse en cuenta.

#### 3.5.1. Resistencia a la fatiga

Para el cálculo respectivo se procede con la siguiente fórmula, donde:

Se: es el límite de resistencia a la fatiga que se expresa con la siguiente ecuación [34].

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf * Se' \quad (31)$$

*3.5.1.1. Factor de condición superficial*

Para encontrar los valores de cada variable de la ecuación 32, se hace lo siguiente [34]:

$$Ka = aSut^b \quad (32)$$

Donde:

Sut: es la resistencia mínima a la tensión del acero 4340

*a* y *b:* son factores que se encuentran en la tabla 18

**Tabla 18.** Factores a y b [34]

| **Acabado superficial** | **Factor a** | | **Exponente** |
|---|---|---|---|
| | Sut, Kpsi | Sut, MPa | **b** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Esmerilado | 1,34 | 1,58 | -0,085 |
| Maquinado o laminado en frío | 2,70 | 4,51 | -0,265 |
| Laminado en caliente | 14,4 | 57,7 | -0,718 |
| Como sale de la forja | 39,9 | 272 | -0,995 |

$$Ka = 57{,}7 * 825^{-0{,}718}$$

$$Ka = 0{,}4647$$

*3.5.1.2. Factor de modificación del tamaño*

Para Kb se puede obtener de la siguiente tabla:

**Tabla 19.** Factor Kb [34]

| | |
|---|---|
| $d \leq 8\,mm$ | $Kb = 1$ |
| $8\,mm \leq d \leq 250\,mm$ | $Kb = 1{,}189d^{-0{,}097}$ |
| $d > 250\,mm$ | $Kb = 0{,}60$ |

Nota: cuando es carga axial no hay efecto de tamaño, por lo que el factor es Kb=1

De la tabla 19, se escoge la fórmula siguiente, ya que el diámetro se asume de 56 mm y en la tabla mencionada está en ese rango [34].

$$Kb = 1{,}189d^{-0{,}097} \quad (33)$$

$$Kb = 1{,}189 * 85^{-0.097}$$

$$Kb = 0{,}77$$

*3.5.1.3. Factor de modificación de la carga*

Para Kc se obtiene de la siguiente tabla:

**Tabla 20.** Factor Kc [34]

| | | |
|---|---|---|
| Kc | 0.923 | $Sut \leq 220\,KSI$ |
| | 1 | $Sut > 220\,KSI$ |
| | 1 | Flexión |
| | 0.577 | Torsión |

Se selecciona 1 porque es una carga flexión

$$Kc = 1$$

*3.5.1.4. Factor de modificación de la temperatura*

Para Kd los valores se pueden obtener de la siguiente tabla:

**Tabla 21.** Factor Kd [34]

| **Temperatura** ℃ | **ST/SRT** | **Temperatura** ℉ | **ST/SRT** |
|---|---|---|---|
| 20 | 1 | 70 | 1 |
| 50 | 1.01 | 100 | 1.008 |
| 100 | 1.02 | 200 | 1.02 |
| 150 | 1.025 | 300 | 1.024 |
| 200 | 1.02 | 400 | 1.018 |
| 250 | 1 | 500 | 0.995 |
| 300 | 0.975 | 600 | 0.963 |
| 350 | 0.943 | 700 | 0.927 |
| 400 | 0.9 | 800 | 0.872 |
| 450 | 0.843 | 900 | 0.797 |
| 500 | 0.768 | 1000 | 0.698 |
| 550 | 0.672 | 1100 | 0.567 |
| 600 | 0.549 | | |

El fator Kd se puede expresar con la siguiente ecuación [34]:

$$Kd = \frac{ST}{SRT} \tag{34}$$

Donde:

ST: es la resistencia a la tensión a temperatura de operación

SRT: es la resistencia a la tensión a temperatura ambiente

Se elige un factor de 1 porque se trabaja a una temperatura ambiente

$$Kd = 1$$

*3.5.1.5. Factor de confiabilidad*

Ke, se obtiene usando la tabla 22.

**Tabla 22.** Factor Ke [34]

| Confiabilidad % | Variación de transformación $z_a$ | Factor de confiabilidad Ke |
|---|---|---|
| 50 | 0 | 1 |
| 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 |

Para Kd se escoge un factor de 0,868 para trabajar al 95%.

$$Ke = 0{,}868$$

*3.5.1.6. Factor de modificación de efectos varios*

El Kf son los factores de efectos diversos, para lo cual se usa la ecuación 35 para hallar dicho valor [34].

$$Kf = 1 + q * (Kt - 1) \quad (35)$$

Donde:

$q$: Factor de sensibilidad a la muesca se obtiene buscando dicho factor en la figura 36.

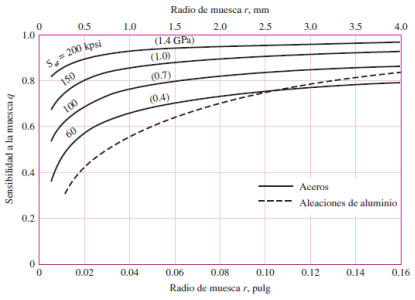



**Figura 37.** Factor de sensibilidad a la muesca.

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Kt: Factor de concentración de esfuerzos, se lo puede encontrar el valor en la siguiente figura.

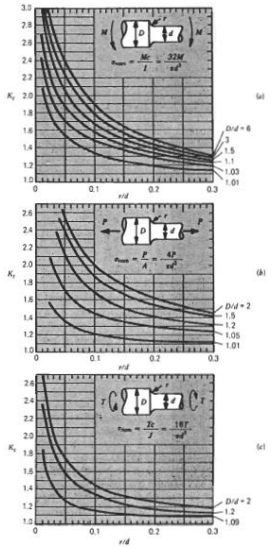


**Figura 38.** Factores de concentración de esfuerzos.

Fuente: Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica, Juvinall

En este caso el Kf es 1 como lo antes mencionado no tiene muescas.

$$Kf = 1$$

*3.5.1.7. Límite de resistencia a la fatiga*

El límite de resistencia a la fatiga se procede a calcular con la siguiente ecuación [34]:

$$Se´ = 0{,}5 * Sut$$

$$Se´ = 0{,}5 * 825\ MPa$$

$$Se´ = 412{,}5\ MPa$$

*3.5.1.8. Límite de resistencia a la fatiga.*

Una vez encontrado todas las incógnitas se reemplaza en la ecuación 31.

$$Se = (0{,}4647)(0{,}77)(1)(1)(0{,}868)(1)(412{,}5\ MPa)$$

$$Se = 128{,}46\ MPa$$

### 3.5.2. Factor de seguridad con el límite de resistencia a la fatiga

Este factor de seguridad indica dos cosas las cuales son:

- Si el factor de seguridad es menor a 1, el eje tiene vida finita y en algún momento sufrirá una falla.
- Si el factor de seguridad es mayor a 1, el eje tiene vida infinita y no presentará falla alguna.

Entonces, se procede a realizar el cálculo con la siguiente fórmula [34]:

$$n = \frac{Se}{\sigma'}$$

$$n = \frac{128{,}46\ MPa}{36{,}99\ MPa}$$

$$n = 3{,}47$$

Con este factor de seguridad, se dice que el eje está trabajando al límite de su resistencia a fluencia. Entonces, para obtener un factor de seguridad que sea mínimo de 3, el diámetro del eje principal debe de ser de 85 mm, este diámetro al darle ese factor de seguridad nos indica que no sufrirá falla alguna, aunque ingrese en el molino piedras o pedazos metálicos, y así cuidar al personal de futuras fallas que tenga dicho sistema.

A continuación, se procede a proyectar los datos encontrados al software mediante una simulación y así corroborar las medidas para ser estandarizadas.

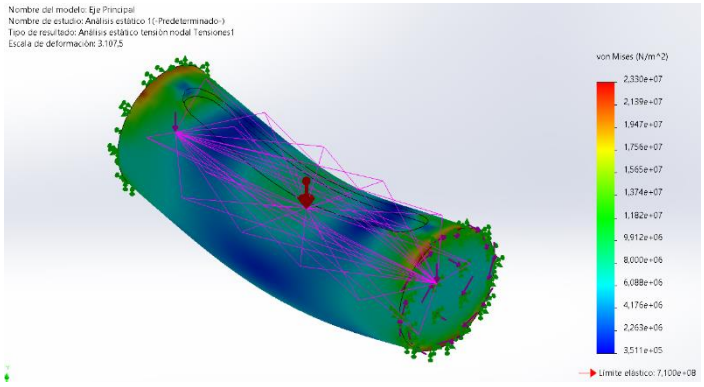



**Figura 39.** Tensión Von Mises del eje principal

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 39 mostrada, se puede apreciar el mayor esfuerzo de Von Mises es 23,30 MPa donde, cuyo valor viene siendo menor que el esfuerzo a fluencia del material que se pretende construir, esto quiere decir que no tendrá deformación constante.

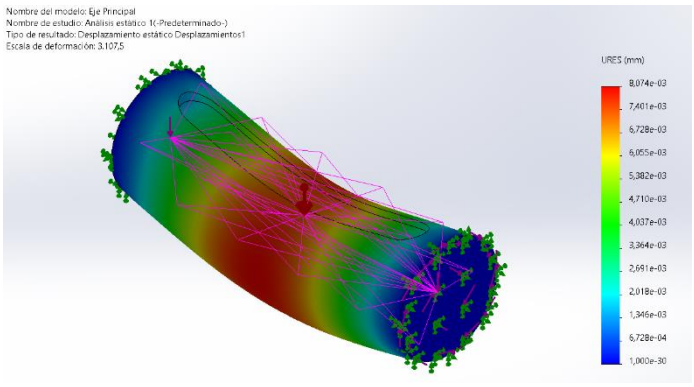



**Figura 40.** Deformación en el eje

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura 40 el desplazamiento mayor en el eje es de 0,00807 milésimas de milímetros en la parte central, lo que significa que no es una deformación permanente en el eje principal.

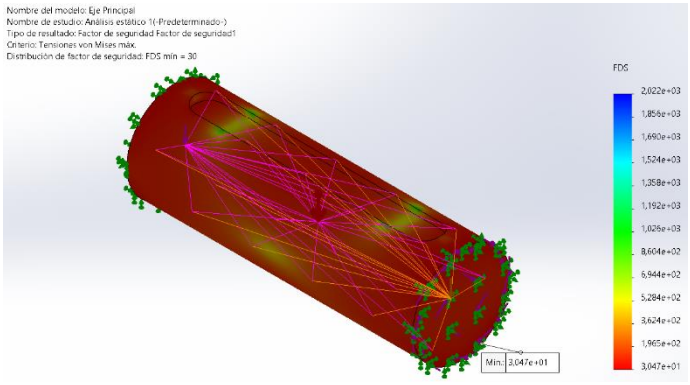



**Figura 41.** Factor de seguridad del eje principal

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Como se puede apreciar en la figura 41, el factor de seguridad mínimo es 30,47 donde, cuyo valor es semejante al calculado en la sección 3.4.6., donde el factor de seguridad calculado fue de 29,74, esto quiere decir que el diámetro a seleccionarse debe de ser 85 mm para obtener un factor de seguridad por fatiga de 3,47 y, además, un buen acoplamiento con las chumaceras SKF.

### 3.6.Selección de Rodamientos

Por criterio técnico, al eje principal se recomienda trabajar con un diámetro de 85 mm para estar a una medida estándar de los rodamientos SKF, y así sucesivamente para cualquier diámetro que dé como resultado una medida de diámetro aleatoria. Este motivo se debe a que, si a los extremos se le mecaniza a un diámetro menor, sufrirá con el tiempo una falla en ese punto, ya que ahí existe un mayor concentrador de esfuerzos y puede llegar a la rotura. También por el tipo de potencia que maneja el molino de martillos y sus RPM.

Es necesario tomar en cuenta que el factor económico sube, pero al momento de trabajar tendrá una vida más prolongada.

#### 3.6.1. Rodamiento de bolas y su designación

En la página oficial de rodamientos SKF, se procede a descargar el catálogo de rodamientos el cual tiene como designación **"0901d19680416953"**, una vez descargado, en la página 288 se selecciona el "rodamientos de bolas 61817" (ver anexo 5). En este rodamiento se saca los siguientes valores en la siguiente tabla:

**Tabla 23.** Rodamiento de bolas SKF

| **Rodamientos de bolas 61817** | | |
|---|---|---|
| Carga límite de fatiga "Pu" | 0,88 | KN |
| Capacidad de carga básica "C" | 19,5 | KN |
| Diámetro interior "d" | 85 | mm |
| Diámetro exterior "D" | 110 | mm |

#### 3.6.2. Lubricación

En la página 101 del catálogo SKF, se debe encontrar la viscosidad nominal $v_1$ y para ello se realiza el siguiente cálculo del diámetro medio, dicha fórmula también se encuentra en la figura 42:

$$d_m = 0{,}5 * (d + D) \tag{36}$$

$$d_m = 0{,}5 * (85\ mm + 110\ mm)$$

$$d_m = 97{,}50\ mm$$

Con este valor se puede observar que el valor de la viscosidad es de 7 $mm^2/_s$ con respecto a las revoluciones por minuto que va a trabajar el molino.

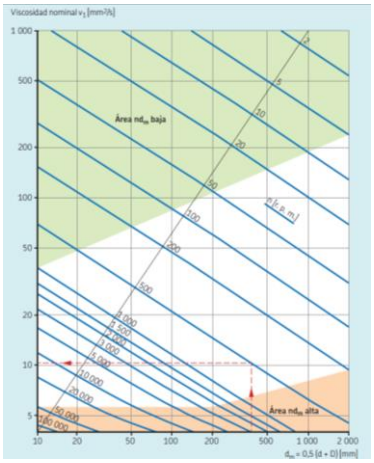



**Figura 42.** Viscosidad nominal SKF

Fuente: Catálogo SKF 0901d19680416953

Por consiguiente, se puede encontrar en la página 100 del catálogo el tipo de lubricante de dicho rodamiento con la viscosidad nominal y con respecto a la temperatura de operación, este grado de viscosidad es “ISO VG 7”.

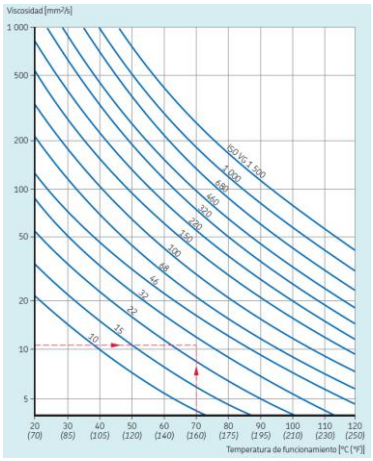



**Figura 43.** Grado de viscosidad SKF

Fuente: Catálogo SKF 0901d19680416953

### 3.6.3. Vida nominal básica

En la página 103, con el uso del grado de viscosidad se puede encontrar la viscosidad cinemática para las condiciones de lubricación.

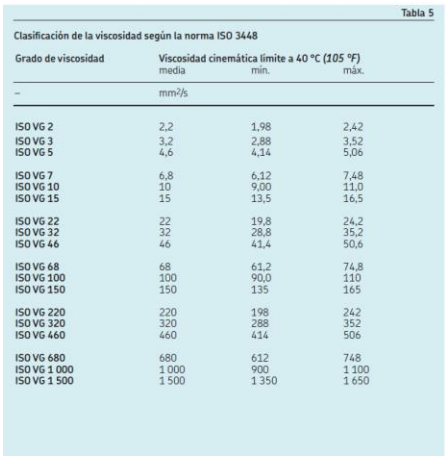


Tabla 5

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448

| Grado de viscosidad | Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F) media | mín. | máx. |
|---|---|---|---|
| – | mm²/s | | |
| ISO VG 2 | 2,2 | 1,98 | 2,42 |
| ISO VG 3 | 3,2 | 2,88 | 3,52 |
| ISO VG 5 | 4,6 | 4,14 | 5,06 |
| ISO VG 7 | 6,8 | 6,12 | 7,48 |
| ISO VG 10 | 10 | 9,00 | 11,0 |
| ISO VG 15 | 15 | 13,5 | 16,5 |
| ISO VG 22 | 22 | 19,8 | 24,2 |
| ISO VG 32 | 32 | 28,8 | 35,2 |
| ISO VG 46 | 46 | 41,4 | 50,6 |
| ISO VG 68 | 68 | 61,2 | 74,8 |
| ISO VG 100 | 100 | 90,0 | 110 |
| ISO VG 150 | 150 | 135 | 165 |
| ISO VG 220 | 220 | 198 | 242 |
| ISO VG 320 | 320 | 288 | 352 |
| ISO VG 460 | 460 | 414 | 506 |
| ISO VG 680 | 680 | 612 | 748 |
| ISO VG 1 000 | 1 000 | 900 | 1 100 |
| ISO VG 1 500 | 1 500 | 1 350 | 1 650 |

**Figura 44.** Clasificación de la viscosidad SKF

Fuente: Manual SKF 0901d19680416953

En la figura 44 mostrada la viscosidad cinemática es de 6,8 $mm^2/_S$.

Como siguiente paso se procede a calcular la vida nominal básica, para esto se emplea la siguiente ecuación [40]:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60*n}\right) * \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (37)$$

Donde:

P: es la carga de diseño, lo que implica que se debe sumar todos los pesos. Estos pesos son: discos porta ejes, martillos, separadores, ejes secundarios y eje principal.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 3150\ RPM}\right) * \left(\frac{19{,}5\ KN}{0{,}353\ KN}\right)^3$$

$$L_{10h} = 891936{,}84\ Horas$$

Estas horas de funcionamiento no están muy altas para el requerimiento del molino de martillos, entonces este rodamiento en sí está en buenas condiciones de trabajo. Aun así, se debe realizar los cálculos hasta el final para así ver mediante una comparación si verdaderamente es el rodamiento adecuado.

### 3.6.4. Condiciones de lubricación

Siguiendo con los cálculos, se debe hallar las condiciones de lubricación con la siguiente ecuación [40]:

$$K = \frac{viscosidad\ real}{viscosidad\ nominal} \tag{38}$$

$$K = \frac{6{,}8\ \frac{mm^2}{s}}{7\ \frac{mm^2}{s}}$$

$$K = 0{,}97$$

### 3.6.5. Factor de contaminación

En el factor de contaminación significa que el rodamiento va a trabajar a unas condiciones típicas, esto quiere decir que va a trabajar en un punto donde va a existir ingreso de partículas desde el exterior. En la página 105 del catálogo, se debe encontrar el factor mencionado tomando en cuenta el diámetro medio calculado con las condiciones establecidas y seleccionando un valor medio del factor.

Tabla 6

**Valores orientativos para el factor $\eta_c$ para distintos niveles de contaminación**

| Condiciones | Factor $\eta_c$[1] para rodamientos con diámetro $d_m$ < 100 | $d_m$ ≥ 100 mm |
|---|---|---|
| **Limpieza extrema**<br>• Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante<br>• Condiciones de laboratorio | 1 | 1 |
| **Gran limpieza**<br>• Aceite lubricante con filtración muy fina<br>• Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida | 0,8 ... 0,6 | 0,9 ... 0,8 |
| **Limpieza normal**<br>• Aceite lubricante con filtración fina<br>• Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida | 0,6 ... 0,5 | 0,8 ... 0,6 |
| **Contaminación ligera**<br>• Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes | 0,5 ... 0,3 | 0,6 ... 0,4 |
| **Contaminación típica**<br>• Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior | 0,3 ... 0,1 | 0,4 ... 0,2 |
| **Contaminación severa**<br>• Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces<br>• Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados | 0,1 ... 0 | 0,1 ... 0 |
| **Contaminación muy severa**<br>• Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de $\eta_c$ están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento | 0 | 0 |

[1] La escala para $\eta_c$ se refiere solo a contaminantes sólidos típicos. No se incluye la contaminación por agua u otros fluidos perjudiciales para la vida del rodamiento. Debido al fuerte desgaste abrasivo en entornos altamente contaminados ($\eta_c$ = 0), la vida útil del rodamiento puede ser significativamente inferior a la vida nominal.

**Figura 45.** Factor de contaminación

Fuente: Catálogo SKF 0901d19680416953

En la figura 45 mostrada, se selecciona como contaminación típica y con el factor de 0,2 ya que se tiene que el $d_m$ calculado sale 97,5 mm siendo una medida menor que 100 según la condición establecida.

### 3.6.6. Factor $a_{SKF}$

Luego se procede a sacar el factor $a_{SKF}$, para ello se dirige a la página 96 del catálogo, en donde se debe tomar en cuenta si es un rodamiento estándar o un rodamiento Explorer, en este caso es el rodamiento estándar. Entonces para entrar en la figura 45, se debe realizar el siguiente calculo:

$$= n_c * \frac{P_u}{P}$$

Donde:

P: es la carga del diseño, es decir, todos los pesos que soporta el rodamiento.

$$= 0{,}2 * \frac{0{,}88\ KN}{0{,}353\ KN}$$

$$= 0{,}50$$

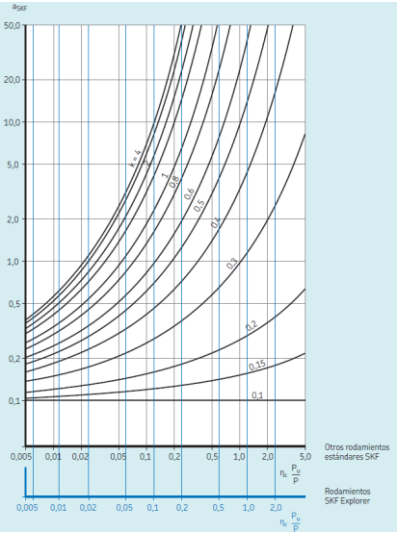



**Figura 46.** Factor $a_{SKF}$

Fuente: Catálogo SKF 0901d19680416953

Ya en la figura 46 mostrada se selecciona el factor de $a_{SKF} = 45$.

### 3.6.7. Vida nominal SKF

Como penúltimo paso, se debe determinar la vida nominal SKF con la siguiente ecuación [40]:

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h} \tag{39}$$

$$L_{10mh} = 45 * 891936{,}84\ Horas$$

$$L_{10mh} = 40137157{,}83\ Horas$$

Esta vida nominal se puede apreciar que esta sobredimensionado, es decir tendrá una vida más larga que el mismo molino.

### 3.6.8. Carga mínima

Existe un criterio de falla en los rodamientos relacionada en el patinaje, esto quiere decir que cuando un rodamiento está trabajando con una carga casi nula, mientras gira tiende a patinar y eso produce internamente que se deteriore. Para ello sirve la ecuación 40, donde determina la carga mínima para que el rodamiento pueda trabajar sin tener ese problema de deteriorarse internamente [40].

$$F_{rm} = K_r * \left(6 + \frac{4*n}{n_r}\right) * \left(\frac{d_m}{100}\right)^2 \tag{40}$$

Donde:

$K_r$: es el factor de cálculo, se puede encontrar en la página oficial de SKF, poniendo la designación del rodamiento en la parte de búsqueda.

$n_r$: es la velocidad de referencia que también se puede encontrar en la misma página oficial de SKF

$$F_{rm} = 0{,}015 * \left(6 + \frac{4 * 3150}{12000}\right) * \left(\frac{97{,}50}{100}\right)^2$$

$$F_{rm} = 0{,}1005$$

El valor de carga mínimo encontrado se realiza una comparación a continuación [40]:

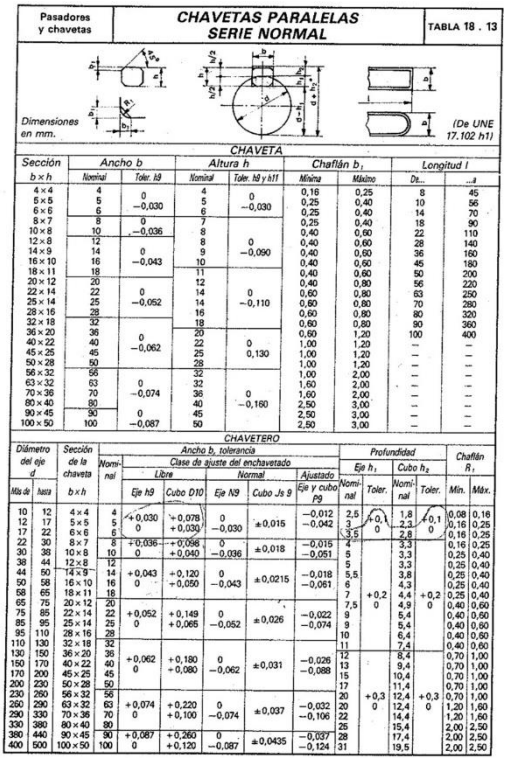
$$0{,}1005 < 0{,}356$$

Como se puede observar en dicha comparación, significa que el rodamiento no va a patinar ni llegar a tener falla alguna, ya que la carga que tiene el molino de martillos es de 0,356 siendo mayor a la carga mínima.

Si la carga mínima hubiera salido mayor que la carga del molino, el rodamiento tendría fallas futuras y no sería el adecuado.

### 3.7. Selección de Chaveta

En la siguiente figura, se presenta la tabla de Larburu 2008, se puede seleccionar con el diámetro calculado la medida de la chaveta.



Pasadores y chavetas

**CHAVETAS PARALELAS SERIE NORMAL**

TABLA 18 . 13

Dimensiones en mm.

(De UNE 17.102 h1)

CHAVETA

| Sección b × h | Ancho b Nominal | Ancho b Toler. h9 | Altura h Nominal | Altura h Toler. h9 y h11 | Chaflán $b_1$ Mínimo | Chaflán $b_1$ Máximo | Longitud l De... | Longitud l ...a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 × 4 | 4 | 0 −0,030 | 4 | 0 −0,030 | 0,16 | 0,25 | 8 | 45 |
| 5 × 5 | 5 | | 5 | | 0,25 | 0,40 | 10 | 56 |
| 6 × 6 | 6 | | 6 | | 0,25 | 0,40 | 14 | 70 |
| 8 × 7 | 8 | 0 −0,036 | 7 | | 0,25 | 0,40 | 18 | 90 |
| 10 × 8 | 10 | | 8 | | 0,40 | 0,60 | 22 | 110 |
| 12 × 8 | 12 | | 8 | 0 −0,090 | 0,40 | 0,60 | 28 | 140 |
| 14 × 9 | 14 | 0 −0,043 | 9 | | 0,40 | 0,60 | 36 | 160 |
| 16 × 10 | 16 | | 10 | | 0,40 | 0,60 | 45 | 180 |
| 18 × 11 | 18 | | 11 | | 0,40 | 0,60 | 50 | 200 |
| 20 × 12 | 20 | | 12 | | 0,40 | 0,80 | 56 | 220 |
| 22 × 14 | 22 | 0 −0,052 | 14 | 0 −0,110 | 0,60 | 0,80 | 63 | 250 |
| 25 × 14 | 25 | | 14 | | 0,60 | 0,80 | 70 | 280 |
| 28 × 16 | 28 | | 16 | | 0,60 | 0,80 | 80 | 320 |
| 32 × 18 | 32 | | 18 | | 0,60 | 0,80 | 90 | 360 |
| 36 × 20 | 36 | 0 −0,062 | 20 | | 0,60 | 1,20 | 100 | 400 |
| 40 × 22 | 40 | | 22 | 0 −0,130 | 1,00 | 1,20 | – | – |
| 45 × 25 | 45 | | 25 | | 1,00 | 1,20 | – | – |
| 50 × 28 | 50 | | 28 | | 1,00 | 1,20 | – | – |
| 56 × 32 | 56 | | 32 | | 1,00 | 2,00 | – | – |
| 63 × 32 | 63 | 0 −0,074 | 32 | | 1,60 | 2,00 | – | – |
| 70 × 36 | 70 | | 36 | 0 −0,160 | 1,60 | 2,00 | – | – |
| 80 × 40 | 80 | | 40 | | 2,50 | 3,00 | – | – |
| 90 × 45 | 90 | 0 −0,087 | 45 | | 2,50 | 3,00 | – | – |
| 100 × 50 | 100 | | 50 | | 2,50 | 3,00 | – | – |

CHAVETERO

| Diámetro del eje d Más de | Diámetro del eje d hasta | Sección de la chaveta b × h | Ancho $b_1$ tolerancia Clase de ajuste del enchavetado Nominal | Libre Eje h9 | Libre Cubo D10 | Normal Eje N9 | Normal Cubo Js 9 | Ajustado Eje y cubo pg | Profundidad Eje $h_1$ Nominal | Profundidad Eje $h_1$ Toler. | Profundidad Cubo $h_2$ Nominal | Profundidad Cubo $h_2$ Toler. | Chaflán $h_1$ Mín. | Chaflán $h_1$ Máx. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 12 | 4 × 4 | 4 | +0,030 0 | +0,078 +0,030 | 0 −0,030 | ±0,015 | −0,012 −0,042 | 2,5 3 3,5 | +0,1 0 | 1,8 2,3 2,8 | +0,1 0 | 0,08 0,16 0,16 | 0,16 0,25 0,25 |
| 12 | 17 | 5 × 5 | 5 | | | | | | | | | | | |
| 17 | 22 | 6 × 6 | 6 | | | | | | | | | | | |
| 22 | 30 | 8 × 7 | 8 | +0,036 0 | +0,098 +0,040 | 0 −0,036 | ±0,018 | −0,015 −0,051 | 4 5 | | 3,3 3,3 | | 0,16 0,25 | 0,25 0,40 |
| 30 | 38 | 10 × 8 | 10 | | | | | | | | | | | |
| 38 | 44 | 12 × 8 | 12 | | | | | | 5 | | 3,3 | | 0,25 | 0,40 |
| 44 | 50 | 14 × 9 | 14 | +0,043 0 | +0,120 +0,050 | 0 −0,043 | ±0,0215 | −0,018 −0,061 | 5,5 6 | | 3,8 4,3 | | 0,25 0,25 | 0,40 0,40 |
| 50 | 58 | 16 × 10 | 16 | | | | | | 7 | +0,2 0 | 4,4 | +0,2 0 | 0,25 | 0,40 |
| 58 | 65 | 18 × 11 | 18 | | | | | | 7,5 | | 4,9 | | 0,40 | 0,60 |
| 65 | 75 | 20 × 12 | 20 | | | | | | 9 | | 5,4 | | 0,40 | 0,60 |
| 75 | 85 | 22 × 14 | 22 | +0,052 0 | +0,149 +0,065 | 0 −0,052 | ±0,026 | −0,022 −0,074 | 9 | | 5,4 | | 0,40 | 0,60 |
| 85 | 95 | 25 × 14 | 25 | | | | | | 10 | | 6,4 | | 0,40 | 0,60 |
| 95 | 110 | 28 × 16 | 28 | | | | | | 11 | | 7,4 | | 0,40 | 0,60 |
| 110 | 130 | 32 × 18 | 32 | | | | | | 12 | | 8,4 | | 0,70 | 1,00 |
| 130 | 150 | 36 × 20 | 36 | +0,062 0 | +0,180 +0,080 | 0 −0,062 | ±0,031 | −0,026 −0,088 | 13 | | 9,4 | | 0,70 | 1,00 |
| 150 | 170 | 40 × 22 | 40 | | | | | | 15 | | 10,4 | | 0,70 | 1,00 |
| 170 | 200 | 45 × 25 | 45 | | | | | | 17 | | 11,4 | | 0,70 | 1,00 |
| 200 | 230 | 50 × 28 | 50 | | | | | | 20 | +0,3 0 | 12,4 | +0,3 0 | 0,70 | 1,00 |
| 230 | 260 | 56 × 32 | 56 | | | | | | 20 | | 12,4 | | 1,20 | 1,60 |
| 260 | 290 | 63 × 32 | 63 | +0,074 0 | +0,220 +0,100 | 0 −0,074 | ±0,037 | −0,032 −0,106 | 22 | | 14,4 | | 1,20 | 1,60 |
| 290 | 330 | 70 × 36 | 70 | | | | | | 25 | | 15,4 | | 2,00 | 2,50 |
| 330 | 380 | 80 × 40 | 80 | | | | | | 28 | | 17,4 | | 2,00 | 2,50 |
| 380 | 440 | 90 × 45 | 90 | +0,087 0 | +0,260 +0,120 | 0 −0,087 | ±0,0435 | −0,037 −0,124 | 31 | | 19,5 | | 2,00 | 2,50 |
| 400 | 500 | 100 × 50 | 100 | | | | | | | | | | | |

**Figura 47.** Factor de seguridad del eje principal

Fuente: Larburu Arrizabalaga, 2008, pág. 518

Para el diámetro de 85 mm, se escoge una chaveta de 25x14 según la figura tomada de la tabla de Larburu 2008.

### 3.8. Análisis y simulación de la carcasa del molino

La estructura del molino es de un acero ASTM A36 con un espesor de 10 mm, el motivo de dicho espesor es para brindar mayor seguridad al personal al momento de comenzar el proceso de molienda.

La carcasa como tal si sufre daños internos, esto afirman los profesionales expertos en este campo, estos daños más se dan en la cámara de la molienda en el momento que ingresa el producto que es el morochillo, también ingresan rocas, pernos inclusive hasta destornilladores. Esto provoca que choquen de manera muy fuerte a la cámara de molienda produciendo así roturas y casos más desastrosos daños al personal por las altas revoluciones que tiene el motor, es por esto que el espesor recomendable para la estructura del molino y tenga un mayor factor de seguridad sea de 10 mm, además este espesor resiste el peso de la cámara de molienda que va compuesto con las chumaceras que son en cada extremo de 358,66 N y al mismo tiempo en el ingreso del producto que es de 295N, a continuación se va a presentar mediante la simulación para corroborar este mencionado espesor.

En la siguiente figura se puede observar la tensión de Von Mises de la estructura, el cual soporta una tensión de 29,63 MPa, por ende, es menor al esfuerzo de fluencia del material que es de 250 MPa, esto quiere decir que no presenta deformación permanente alguna.

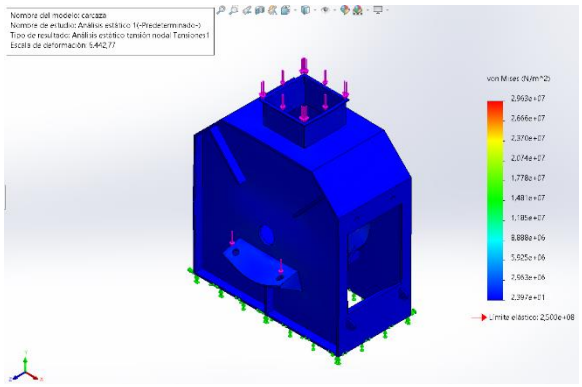



**Figura 48.** Tensión Von Mises de la carcasa

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la figura siguiente, la carcasa presenta un factor de seguridad de 8,4 lo que significa que la carga no hará que el material sobrepase el esfuerzo de fluencia y tenga una larga duración de uso en la empresa.

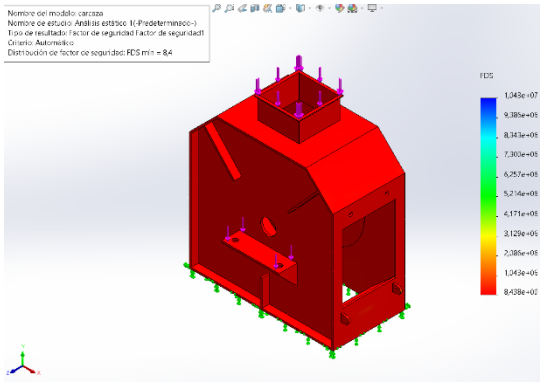



**Figura 49.** Factor de seguridad de la carcasa

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

## 3.9. Diseño de la estructura del molino de martillos

En la estructura del motor se debe tomar en cuenta el peso del motor, el peso de la cámara de molienda, carga del maíz, vibraciones producidas por el trabajo del molino y otros accesorios, logrando obtener una estructura óptima.

### 3.9.1. Perfil de la base del motor

Se selecciona un perfil C: 8x13,75 del catálogo AISC (ver anexo 12) [43] para que pueda resistir el peso del motor que es de 864N, además de las vibraciones que surgen del motor y también por la altura que necesita estar estable con el eje principal de la cámara de molienda.

A continuación, en la figura 50 se indica un diagrama donde se encuentran las reacciones presentes en la base del motor.

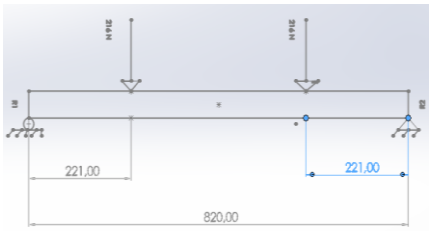



**Figura 50.** Reacciones y pesos presentes en la base del motor

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Desde el catálogo AISC (ver anexo 14) [43] se selecciona la ecuación 41 para encontrar el valor del momento máximo, posteriormente el esfuerzo admisible con la ecuación 42 y la sección del perfil con la ecuación 43, tomado en cuenta el peso del motor distribuido en sus 4 puntos de apoyo.

$$P = \frac{Peso\ del\ motor}{4}$$

$$P = \frac{864\ N}{4} = 216\ N$$

$$Mmáx = P * d \tag{41}$$

Donde:

P: Fuerza $[216\ N]$

d: Distancia $[221\ mm]$

$$Mmáx = 216\ N * 221\ mm$$

$$Mmáx = 47{,}736\ N\ m$$

$$Mmáx = 35{,}2083\ lb.ft$$

$$Fb = 0{,}66 * Fy \tag{42}$$

Donde:

Fb: Esfuerzo admisible $\left[\frac{Klb}{plg^2}\right]$

Fy: del acero ASTM A36, $\left[36\frac{Klb}{plg^2}\right]$

$$Fb = 0{,}66 * 36\frac{Klb}{plg^2}$$

$$Fb = 23{,}76\frac{Klb}{plg^2}$$

$$Sx = \frac{Mmáx}{Fb} \tag{43}$$

Donde:

Sx: sección $[plg^3]$

$$Sx = \frac{35{,}2083\ lb.ft * \frac{12\ plg}{1\ ft} * \frac{1klb}{1000lb}}{23{,}76\ {klb}/{plg^2}}$$

$$Sx = 0{,}017 plg^3$$

El "$Sx$"calculado debe ser menor al del catálogo para cumplir con la carga que soporta el perfil.

$$Sx\ catálogo\ > Sx\ calculado$$

$$9{,}03\ plg^3 > 0{,}017\ plg^3$$

Como se puede apreciar el perfil seleccionado es el adecuado a pesar de su sobredimensionamiento, esto implica que el perfil no sufrirá vibraciones ni tampoco presentará problemas para el peso del motor ni del sistema.

### 3.9.2. Estructura de la base principal

En la siguiente figura se muestra un diagrama donde se encuentran las reacciones presentes en la base principal lateral, por lo que se selecciona un perfil C: 4x7,25 del catálogo AISC (ver anexo 12) [43].

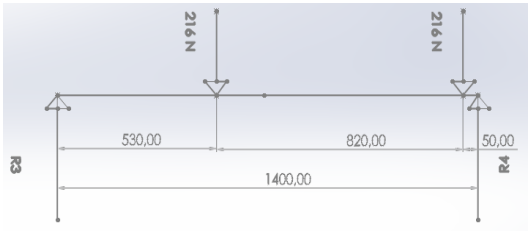



**Figura 51.** Reacciones y pesos presentes en la base principal

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

A continuación, se presenta las ecuaciones 44 y 45 que se puede apreciar en el anexo 15 [43] para los cálculos respectivos de las reacciones, para posteriormente encontrar los valores de: momento máximo, esfuerzo admisible y la sección del perfil.

$$R3 = \frac{P}{l}(l - a + b) \qquad (44)$$

Donde:

P: Fuerza $[216\ N]$

l: Distancia 1

a: Distancia 2

b: Distancia 3

$$R3 = \frac{216\ N}{1{,}4\ m}(1{,}4\ m - 0{,}53\ m + 0{,}05m)$$

$$R3 = 141{,}9428\ N$$

$$R4 = \frac{P}{l}(l - b + a) \tag{45}$$

$$R4 = \frac{216\ N}{1.4\ m}(1{,}4\ m - 0{,}05\ m + 0{,}53m)$$

$$R4 = 290{,}0571\ N$$

Mediante el uso del catálogo AISC (ver anexo 15), se escoge la siguiente ecuación para el cálculo del momento máximo.

$$Mmáx = R3 * a \tag{46}$$

Donde:

a: Distancia

$$Mmáx = 141{,}9428\ N * 0{,}53\ m$$

$$Mmáx = 75{,}2297\ N.m$$

$$Mmáx = 55{,}4865\ lb.ft$$

$$Sx = \frac{Mmáx}{Fb}$$

Donde:

Sx: sección

$$Sx = \frac{55{,}4865\ lb.ft * \frac{12\ plg}{1\ ft} * \frac{1klb}{1000lb}}{23{,}76\ klb/plg^2}$$

$$Sx = 0{,}028 plg^3$$

El esfuerzo calculado debe ser menor al del catálogo para cumplir con la carga que soporta el perfil.

$$Sx\ catálogo\ > Sx\ calculado$$

$$2{,}29\ plg^3 > 0{,}028\ plg^3$$

Esta comparación nos indica que el perfil seleccionado es el indicado para el sistema como estructura de la base principal del molino de martillos.

Seguidamente, en la figura 52 se indica un diagrama donde se encuentran las reacciones presentes en la base principal frontal que soporta la cámara de molienda y el motor. Se selecciona un perfil C: 4x7,25 (ver anexo 12).

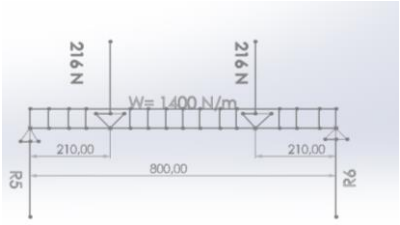



**Figura 52.** Reacciones y pesos presentes en la base principal frontal

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Posteriormente con el uso de las ecuaciones 47 y 48 del catálogo AISC (ver anexos 13 y 14) se realiza el cálculo del momento máximo.

$$M1 = \frac{W * l^2}{8} \quad (47)$$

$$M1 = \frac{1400\ N/m * (0{,}8m)^2}{8}$$

$$M1 = 112\ N.m$$

$$M1 = 82{,}607\ lb.ft$$

$$M2 = P.a \quad (48)$$

$$M2 = 216\ N * 0{,}21\ m$$

$$M2 = 45{,}36\ N.m$$

$$M2 = 33{,}4558\ lb.ft$$

Estos 2 momentos es necesario realizarlos dependiendo la carga, en este caso es una carga distribuida y 2 cargas puntuales, estos momentos se debe sumar para obtener un momento máximo.

$$Mmáx = M1 + M2$$

$$Mmáx = 82{,}607\ lb.ft + 33{,}4558\ lb.ft$$

$$Mmáx = 116{,}0628\ lb.ft$$

$$Sx = \frac{Mmáx}{Fb}$$

$$Sx = \frac{116{,}0628\ lb.ft * \frac{12\ plg}{1\ ft} * \frac{1klb}{1000lb}}{23{,}76\ klb/plg^2}$$

$$Sx = 0{,}0583 plg^3$$

$$Sx\ catálogo > Sx\ calculado$$

$$2{,}29\ plg^3 > 0{,}0583\ plg^3$$

Con esta comparación, se corrobora que el perfil seleccionado como la estructura de la base principal de todo el sistema, no sufrirá vibraciones que alteren el sistema ni tampoco roturas al momento que esté en funcionamiento.

### 3.10. Simulación de la estructura

El peso total del sistema que incluye la carcasa, la cámara de molienda y otros accesorios es de 1120 N en un extremo como se puede observar en la figura 53, mientras que en el otro extremo se ve reflejado el peso del motor del 864 N distribuido en 4 puntos que son

de 216 N (ver figura 54). Estos valores se los proyecta al programa SolidWorks para obtener la tensión de Von Mises y el factor de seguridad.

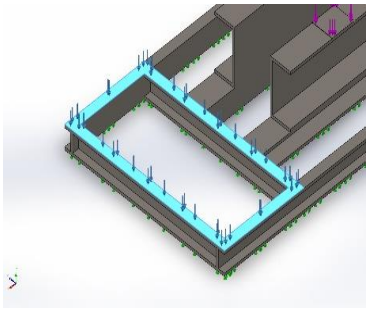


**Figura 53.** Peso del sistema en la estructura

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

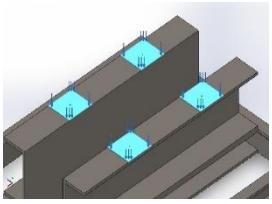


**Figura 54.** Peso del motor en la estructura

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

En la siguiente figura se puede observar que la tensión de Von Mises es de 5,517 MPa en la estructura no presentará deformaciones porque las cargas que soportan son inferiores al esfuerzo a fluencia del material, dando como resultado una estructura firme sin que exista alguna falla por rotura.

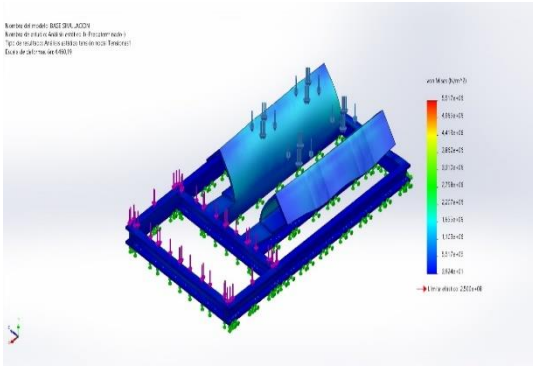


**Figura 55.** Tensión Von Mises en la estructura

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

Se puede observar en la figura 56 que el factor de seguridad de la estructura es de 45, este factor indica que la estructura no presentará falla alguna ni tampoco vibración que afecte el sistema y pueda tener una prolongada vida.

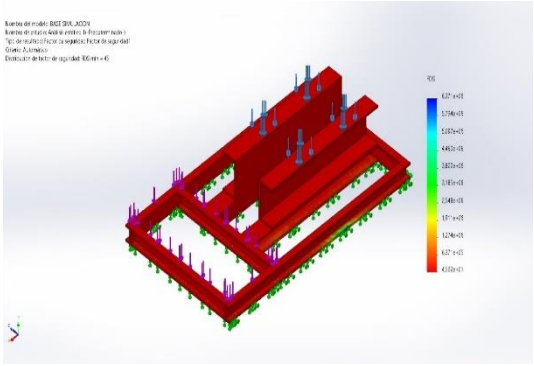


**Figura 56.** Tensión Von Mises en la estructura

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

## 3.11. Soldadura

Para la selección del tipo de electrodo en la soldadura se debe realizar el cálculo del esfuerzo admisible en la base del motor y poder comprobar que los resultados analíticos sean menores al esfuerzo del material multiplicado por un factor de seguridad [34].

$$\frac{P}{h*l} = \sigma_{adm} \leq 0{,}6 * \sigma_{mat} \tag{49}$$

Donde:

P: Carga que soporta$[1120\ N]$

h: Ancho del cordón [3 mm]

l: Longitud del cordón [820 mm]

$\sigma_{mat} = 550\ Mpa\ (ASTM\ A36)$

$$\frac{1120\ N}{820mm * 3mm} = \sigma_{adm} \leq 0{,}6 * 550\ Mpa$$

$$455{,}2\ Pa \leq 330\ Mpa$$

| Número de electrodo AWS* | Resistencia a la tensión, kpsi (MPa) | Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa) | Elongación porcentual |
|---|---|---|---|
| E60xx | 62 (427) | 50 (345) | 17-25 |
| E70xx | 70 (482) | 57 (393) | 22 |
| E80xx | 80 (551) | 67 (462) | 19 |
| E90xx | 90 (620) | 77 (531) | 14-17 |
| E100xx | 100 (689) | 87 (600) | 13-16 |
| E120xx | 120 (827) | 107 (737) | 14 |

**Figura 57.** Designación de electrodos

De la figura 57 se selecciona el electrodo E7018 por resistencia a la tensión y resistencia a la fluencia, se puede observar que el esfuerzo admisible es menor al esfuerzo del material: $455{,}2\ Pa \leq 330\ Mpa$; esto significa que no existirá falla de soldadura.

## 3.12. Diseño y selección del Sistema Eléctrico con sus accesorios

Este diseño es prácticamente realizar mediante un software especializado el respectivo diagrama del encendido e inversión de giro del motor trifásico para el molino de martillos, y en la selección se debe tomar todas las características del motor para así poder seleccionar los componentes correctos, dichos componentes son: fusibles, contactores, y relé térmico.

### 3.12.1. Selección del motor

Para la selección de un motor se debe tomar en cuenta la capacidad de molienda en qq/h y su corriente nominal de acuerdo con las necesidades de la empresa SEYMEC S.A, para esto se selecciona un motor de 30 HP marca SIEMENS con 3517 rpm trifásico de 60 Hz. Estos datos se encuentran en la placa del motor, la cual se puede observar en el anexo 16 y anexo 17.

### 3.12.2. Fusible por seleccionar

Se debe tomar muy en cuenta que las corrientes que manejan el motor deben ser las adecuadas, una sobre carga implica que el motor tienda a sufrir un daño internamente, para ello se debe seleccionar cuidadosamente un fusible sobredimensionado a comparación del motor. Estos datos de corriente se pueden encontrar en la placa de dicho motor, a continuación, mediante el uso de una ecuación se puede determinar el tipo de fusible que se debe adquirir [24].

$$I_F = 1{,}8 * I_N \tag{50}$$

Donde:

$I_F$: corriente para la protección de fusible

$I_N$: corriente nominal extraído de la placa del motor

$$I_F = (1{,}8) * (39{,}6\ A)$$

$$I_F = 71{,}28\ A$$

Se recomienda poner un fusible disponible en el mercado de 70 amperios, estos criterios se los da por tener experiencia en instalación de equipos industriales.

### 3.12.3. Interruptor termo magnético a seleccionar

El interruptor termo magnético sirve para proteger el circuito de sobrecargas y posibles cortocircuitos, es necesario cumplir con la siguiente condición, en donde menciona que los amperios del motor seleccionado (corriente nominal) sea menor o igual al interruptor termo magnético y a su vez el mencionado interruptor sea menor o igual que la corriente admisible máxima. Entonces, esta condición viene expresada de la siguiente manera [24]:

$$I_N \leq I_{TM} \leq I_A$$

Donde:

$I_{TM}$: corriente del interruptor termo magnético

$I_A$: corriente admisible máxima

$$I_N \leq I_{TM} \leq I_A$$

$$39{,}6\ A \leq I_{TM} \leq 1{,}5 * 39{,}6\ A$$

$$39{,}6\ A \leq I_{TM} \leq 59.4\ A$$

Esto quiere decir que el interruptor a seleccionarse es de 50 amperios por disponibilidad en el mercado.

### 3.12.4. Contactor para seleccionarse

Para una correcta selección de contactores, primeramente, se debe fijarse bien en la placa del motor a cuantos amperios trabaja, las tensiones que maneja, y así poder dar una medida mayor en amperios para el contactor y de igual tensión.

Entonces se procede a seleccionar un contactor de 40 HP y con 50 amperios, este contactor permite realizar el sistema de control para el mencionado proyecto.

### 3.12.5. Contactor de arranque trifásico a seleccionarse

Este contactor tiene como principal función el desconectar el voltaje de la bobina en caso de sobrecarga hacia el motor. También para la selección de este tipo de contactor, se debe conocer a que tensión y potencia va a trabajar el motor.

Entonces se procede a seleccionar un contactor de arranque de 25 a 50 hp, con una tensión que va desde: 200 a 575 voltios, siendo un motor trifásico.

### 3.12.6. Relé térmico para seleccionarse

De igual forma, este relé térmico está en función al motor, es decir de cuantos amperios trabaja dicho motor. Es importante tener en la instalación eléctrica este relé térmico, porque su función es proteger al motor cuando se excede de corriente, esta corriente es variable y se lo puede establecer.

El relé térmico para seleccionarse es uno que tenga de 37 a 50 amperios regulables disponibles en el mercado. En el mercado existen diferentes marcas y precios que depende de la accesibilidad del cliente.

### 3.12.7. Pulsadores

Los pulsadores son aquellos elementos que permiten el paso de la corriente eléctrica o la interrupción mientras están en funcionamiento.

Su selección es por colores ya estandarizados, los cuales son: los pulsadores verdes sirven para el encendido y estos por su simbología están normalmente abiertos (NA), los pulsadores rojos son aquellos que apagan la máquina y por lo general en su simbología están en normalmente cerrado (NC).

### 3.12.8. Pulsador de emergencia

Este pulsador es de suma importancia, ya que evita posibles accidentes y protección a la máquina a la hora de puesta en marcha. Cuando es presionado el botón, los contactos de los demás pulsadores cambian de estado, además debe estar este mencionado dispositivo en un lugar visible para el operador y pueda acudir con mayor facilidad evitando desastres futuros.

### 3.12.9. Luces piloto

Las luces piloto indican si la máquina se encuentra funcionando o no, estos dispositivos ya están estandarizados por colores, los cuales indican: verde, la máquina está en funcionamiento y rojo indica que la máquina no está en funcionamiento.

### 3.12.10. Selección de cable para la instalación

En una instalación eléctrica, se debe conocer la tensión que va a ser alimentada al motor y la corriente que maneja dicho motor. Para ello se emplea la siguiente ecuación el cual servirá para la selección adecuada del grosor del cable [41]:

$$I_{cable} = 125\% * I_N \tag{51}$$

Donde:

$I_{cable}$: corriente que fluye en el cable conductor

$$I_{cable} = 125\% * 39{,}6\ A$$

$$I_{cable} = 49{,}5\ A$$

Con este valor se procede a seleccionar en el catálogo actual de "Electro cables" [42], en donde se puede observar en la página 17, el calibre AWG es de 8 con una capacidad de corriente de 50 amperios con respecto a la corriente calculada, por ende, el calibre AWG de 8 es el correcto. Entonces el cable seleccionado es: 8 AWG 75℃ 600V (ver anexo 6).

### 3.12.11. Diagrama del circuito

En la siguiente figura, se puede observar el diagrama realizado en el Software CADe-SIMU, dicho diagrama es de potencia y control con su respectiva inversión de giro del molino de martillos, logrando así el aprovechamiento de los lados del martillo y que sea el desgaste uniforme.

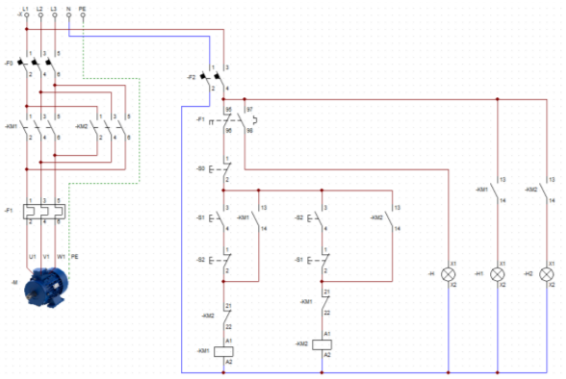


**Figura 58.** Diagrama de potencia y control del molino de martillos

Fuente: Cisneros y Díaz. 2021

# CAPÍTULO IV

Este capítulo trata acerca de los costos de diseño para la futura construcción del proyecto de molino de martillos, donde influye bastante los costos de: materia prima, mano de obra, y costos de fabricación.

## 4.1.Análisis Financiero

Para el análisis financiero de diseño y simulación de un molino de 30 hp, se observa que el proyecto tiene una viabilidad alta de invertir en la construcción de un molino para molienda o trituración del maíz para granjas avícolas, estandarizando este modelo para la empresa SEYMEC S.A y comparando costos de productividad y tecnología elegida en la construcción y la exportación de maquinaria para la molienda de maíz, que influirá en la inversión, costos e ingresos directos e indirectos los cuales son detallados a continuación.

### 4.1.1. Materiales directos

Los materiales directos están relacionados con los costos, estos materiales son utilizados para la construcción del molino. Donde, se puede observar: la mano de obra, materiales mecánicos y eléctricos, como también mecanizado y doblado de piezas de elemento, etc.

#### *4.1.1.1. Costos de Materiales (Materia Prima)*

Los costos de materiales son aquellos elementos que forman parte del molino de trituración de maíz y pueden ser sistemas mecánicos y eléctricos los cuales se detallan a continuación.

**Tabla 24.** Materia prima (materiales mecánicos)

| Cant. | Elemento | Descripción | Material | C. Unit. | C. total |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Chumaceras | Chumacera 61817 SKF | Hierro fundido | 84 | 168,00 |
| 1 | Lámina acero | 6mm 1500x6000 | ASTM -36 | 189 | 189,00 |
| 2 | Criba | 2mm espesor | | 336 | 672,00 |
| 1 | Acople | Acople mecánico | Acero | 996,8 | 996,80 |
| 1 | Lámina acero | 10mm 1500x6000 | ASTM -36 | 323,68 | 323,68 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Lámina acero | 6mm 1500x6000 | ASTM -36 | 211,68 | 211,68 |
| 1 | Eje | Ø 28 mm | 4340 | 22,4 | 22,40 |
| 1 | Eje | Ø 57 mm | 4340 | 33,6 | 33,60 |
| 1 | 1 tubo | Ø 1 1/4" | ASTM -36 | 13,44 | 13,44 |
| 1 | 1 tubo | Ø 2 1/2 " | Acero A-36 | 36,07 | 36,07 |
| 2 | Ángulo | 6 metros 2x3/16 | Acero- A-36 | 26,91 | 53,82 |
| | | | | **Total** | 2.720,49 |

**Tabla 25.** Materia prima (materiales eléctricos)

| Cant. | Elemento | Descripción | C. Unit. | C. total |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Motor | SIEMENS 30 HP 3517 RPM | 1904 | 1.904,00 |
| 1 | Variador de velocidad 30 hp | 30 hp, frecuencia 60 Hz | 7.000 | 7.000,00 |
| 1 | Contactor | Contactor arranque trifásico 25/50 hp | 250 | 250,00 |
| 1 | Contactor | Contactor trifásico 50 Amp. | 80 | 80,00 |
| 2 | Pulsadores | Cutler hammer rojo y verde | 15 | 30,00 |
| 1 | Relé térmico | Gtk-50 | 38 | 38,00 |
| 1 | Cable flexible | Alambre de cobre 8 AWG | 85 | 85,00 |
| 1 | Caja de control | 30x30x15 | 26,78 | 26,78 |
| 1 | Pulsador | P. emergente Schneider | 24,14 | 24,14 |
| 3 | Luz piloto | Luces piloto | 3,5 | 10,50 |
| 2 | Fusibles | 70 amperios | 0,35 | 0,70 |
| | | | **Total** | 9.449,12 |

#### *4.1.1.2. Costos de maquinado*

Los costos de maquinado son los que necesitan de la mano de obra y mecanizado de elementos que requieren alquiler de maquinaria en las diferentes máquinas y herramientas.

**Tabla 26.** Costo indirecto de fabricación

| Máquina | Costo Máquina/hora | Número de horas | C. total |
|---|---|---|---|
| Torno | 50 | 8 | 400,00 |
| Dobladora de láminas | 45 | 6 | 270,00 |
| Corte de Plasma CNC | 70 | 6 | 420,00 |
| Soldadora SMAW | 15 | 24 | 360,00 |
| Barolado | 50 | 5 | 250,00 |
| Amoladora | 6 | 8 | 48,00 |
| Taladro de pedestal | 35 | 6 | 210,00 |
| | | **Total, USD** | 1958,00 |

#### *4.1.1.3. Costos de montaje*

Para los costos de montaje, se debe incluir la mano de obra y ensamble del molino de martillos para el sistema mecánico y eléctrico.

En el ensamble de la maquinaria de la parte mecánica se requiere de 2 personas por 5 días. Para la instalación eléctrica se requiere de 1 persona por un día laborable, considerando que el salario básico del 2021 es de USD 400 al mes y USD 18,18 por día.

**Tabla 27.** Costo indirecto de fabricación

| Ensamble de sistema | Número de personas | Costo de mano de obra/día | Número de días | C. Total |
|---|---|---|---|---|
| Ing. Mecánico (Supervisor) | 1 | 120 | 20 | 2400,00 |
| Técnico Mecánico de Construcción | 2 | 60 | 16 | 1920,00 |
| Técnico Eléctrico | 2 | 60 | 4 | 480,00 |
| Ayudante | 2 | 40 | 4 | 320,00 |

| Pruebas Funcionamiento | Descripción | Costo de mano de obra/día | Número de días | C. Total (USD) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Supervisor | 120 | 3 | 360,00 |
| 1 | Mecánico | 60 | 3 | 180,00 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Eléctrico | 60 | 3 | 180,00 |
| | Planos, análisis y diseño | 100 | 20 | 2000,00 |
| | | | **Total** | 7840,00 |

### 4.1.2. Materiales indirectos o complementarios

Los costos complementarios o indirectos son los valores que están relacionados con la construcción del molino de martillos y que se presentan durante el proceso de la construcción de manera indirecta.

#### *4.1.2.1. Costos materiales*

Los costos de materiales indirectos para la construcción del molino van relacionados con los materiales que se utilizan, pero no interviene en el funcionamiento del molino de martillos.

**Tabla 28.** Costos materiales indirectos

| Descripción | C/U | Cant. | C. total |
|---|---|---|---|
| Pintura para metal | 26,71 | 1 | 26,71 |
| Disco de desbaste | 1,71 | 2 | 3,42 |
| Disco de corte | 7 | 10 | 70,00 |
| Electrodo caja 7018 | 23,42 | 1 | 23,42 |
| Thinner | 31,1 | 1 | 31,10 |
| Riel | 1,35 | 1 | 1,35 |
| Cepillo copa | 14,56 | 1 | 14,56 |
| Tizas industriales | 0,21 | 5 | 1,05 |
| Canaleta 12x20 dexon | 4,8 | 1 | 4,80 |
| | | **Total, USD** | 176,41 |

#### *4.1.2.2. Gastos imprevistos*

Los gastos imprevistos constituyen básicamente con la movilidad para la adquisición de los diferentes materiales como es el transporte vehicular. En este caso al ser simulación estos no se detallan.

### 4.2. Inversión de la Máquina

Luego de proceder a realizar los análisis financieros de costos directos e indirectos, detallados anteriormente se procede a realizar el resumen de costos. Tomando en cuenta los gastos administrativos de 15% y la utilidad de un 30%, obteniendo el precio de venta detallado en la tabla 29.

**Tabla 29.** Resumen de costos

| **RESUMEN COSTOS** | | |
|---|---|---|
| **MATERIA PRIMA** | **(+)** | **12.169,61** |
| **MANO DE OBRA DIRECTA** | **(+)** | **7840,00** |
| **COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN** | **(+)** | **2134,41** |
| **COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN** | | **21993,56** |
| GASTOS ADMINISTRATIVOS Y DE VENTA (15%) | | 3299,03 |
| UTILIDAD (30 %) | | 6598,07 |
| PRECIO DE VENTA | | 31890,66 |

### 4.3. Análisis Financiero De La Inversión del Molino de Martillos

Para el análisis financiero se utilizará el TIR y el VAN. Las cuales se relacionan de forma directa con el flujo de caja de los negocios con la finalidad de dar precisión en los cálculos del tiempo y viabilidad del proyecto para la recuperación de su inversión inicial.

El cálculo del VAN y TIR se realizó en el programa Microsoft Excel, programa que cuenta con cálculo y lenguajes de programación macro los cuales permiten trabajar con datos numéricos.

**Tabla 30.** VAN y TIR

| | | |
|---|---|---|
| DATOS | INVERSIÓN INICIAL | 31890,66 |
| | CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN | 20 qq/hora |
| | TASA DE DESCUENTO | 18% |
| | COSTO qq | 1,50 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | PRODUCCIÓN DIARA 100% | 160 |
| | | | MENSUAL | 4800 |
| | | | ANUAL | 57600,00 |
| PERÍODO | PRODUCCIÓN ANUAL % | PRODUCCIÓN qq | FLUJO DE EFECTIVO | VALOR PRESENTE |
| 0 | | | -31890,662 | |
| 1 | 30% | 17280,00 | 25920,00 | 21966,10 |
| 2 | 40% | 23040,00 | 34560,00 | 24820,45 |
| 3 | 50% | 28800,00 | 43200,00 | 26292,85 |
| 4 | 60% | 34560,00 | 51840,00 | 26738,50 |
| 5 | 70% | 40320,00 | 60480,00 | 26436,37 |
| | | | | 126254,27 |
| VAN | | | 94363,61 | 94363,61 |
| TIR | | | 101% | |

Los resultados de la tabla 30, se puede observar que el proyecto es factible y la ganancia se verá reflejado en 5 años de USD 94363,61.

### 4.4. Análisis Financiero de comparación de importación de un Molino de Martillos

Para el análisis financiero de una importación de un molino de martillos se utilizará el TIR y el VAN. Tomando los datos de venta de la empresa española El Rosal, la cual tiene como representante a la empresa ecuatoriana SEYMEC S.A. Para la inversión inicial el precio establecido está en dólares USD.

**Tabla 31.** Comparación de importación

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| DATOS | | | INVERSIÓN INICIAL | 54581,60 |
| | | | CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN | 20 qq/hora |
| | | | TASA DE DESCUENTO | 18% |
| | | | COSTO qq | 1,50 |
| | | | PRODUCCIÓN DIARA 100% | 160 |
| | | | MENSUAL | 4800 |
| | | | ANUAL | 57600,00 |
| PERÍODO | PRODUCCIÓN ANUAL % | PRODUCCIÓN qq | FLUJO DE EFECTIVO | VALOR PRESENTE |
| 0 | | | -54581,600 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 30% | 17280,00 | 25920,00 | 21966,10 |
| 2 | 40% | 23040,00 | 34560,00 | 24820,45 |
| 3 | 50% | 28800,00 | 43200,00 | 26292,85 |
| 4 | 60% | 34560,00 | 51840,00 | 26738,50 |
| 5 | 70% | 40320,00 | 60480,00 | 26436,37 |
| | | | | 126254,27 |
| VAN | | | 71672,67 | 71672,67 |
| TIR | | | 59% | |

Los resultados de la tabla de análisis de costo de importación, refleja que el proyecto es factible y se obtendrá una ganancia en 5 años de USD 71672,67.

Para esto se puede observar que, de acuerdo con la tabla 30 y 31 es más factible la construcción de un molino de martillos ya que la ganancia en 5 años es mayor que a la importación.

VAN de construcción= USD 94363,61

VAN de importación= USD 71672,67

## CONCLUSIONES

- Se identificó la necesidad de la empresa, la cuál era: los cálculos respectivos del número de martillos que es 24 para su producción de 20 quintales/hora, el número de discos porta ejes que son 3, número de separadores martillos que son 32, número de separadores de discos que son 2, los respectivos diámetros del eje secundario que viene siendo de 27mm y del eje principal de 85mm, obteniendo un equipo para la empresa estandarizado.

- Se determinó que la metodología utilizada es inductiva y deductiva, observando que la empresa SEYMEC S.A carece de diseño y simulación para dar garantía y satisfacción a sus clientes y abarcar el mercado avícola en la construcción, se proporcionó un factor de seguridad mínimo de 3 en los cálculos y simulación para que el molino de martillos tenga una larga vida.

- Se logró diseñar los elementos y componentes que la empresa necesita en la fabricación de molinos de martillos, estos elementos son: martillos, discos, ejes, separadores y chumaceras; por otra parte, en la tabla 16 se selecciona como alternativa un molino de martillos de 30 hp con una capacidad de molienda de 20 qq/h.

- Se seleccionó diferentes tipos de materiales para: el martillo un acero CHRONIT 400 soportando una fuerza centrífuga de 11047,7 N; discos porta ejes con un acero A36 que van a soportar las fuerzas centrífugas de 16577,22 N en sus 4 direcciones; eje principal y ejes secundarios con un acero 4340 soportando las reacciones en los discos porta ejes y todos los pesos en conjunto de 356,11 N.

- Se validó los cálculos de factores de seguridad obtenidos mediante el uso del SOLIDWORKS del: martillo, disco porta ejes, eje principal y ejes secundarios; evaluando las fuerzas centrífugas de 11047,7 N y 16577,22 N respectivamente y obteniendo un margen de error tanto analíticamente como de simulación del 2,92%, siendo este valor óptimo para el proceso de trituración.

- Se analizó y se estableció los indicadores financieros y de rentabilidad del TIR y VAN para la inversión de un molino de martillos, que tiene un precio de USD 31890,66, con un VAN= 94363,61 y el TIR=101% respectivamente, dando como resultado un producto de: calidad, óptimo, mayor durabilidad, y a un precio accesible.

## RECOMENDACIONES

- Para el diseño de los componentes que forman parte del molino de martillos se determinó un factor de seguridad mínimo de 3, dentro de los cálculos para obtener una disminución en el precio en las proformas realizadas a la hora de la construcción futura.

- Para la selección del motor debemos realizar los cálculos, observando: las necesidades del cliente, capacidad de molienda, corriente nominal y revoluciones por minuto para el funcionamiento adecuado.

- Dentro del diseño del molino es necesario utilizar el software Solid Works, ya que ayuda a la validación de los cálculos realizados teóricamente en los esfuerzos, momentos y factor de seguridad.

- Es recomendable trabajar en una sola versión de Solid Works para evitar fallas de actualizaciones.

- Se debe realizar un ensayo de ruptura del morochillo con unas 20 mediciones obteniendo valores aproximados y reales.

- Para el cálculo de los ejes primario y secundario es importante realizar los diagramas de cuerpo libre teóricos y corroborar con el programa Solid Works.

- Para la simulación se debe tener los datos específicos de los materiales a trabajar como, resistencia a la fluencia, elongación, esfuerzo máximo entre otros.

## REFERENCIAS

[1] Reyes Domo, E. S. (2020). Artículo Científico: Plan Estratégico de innovación en el área de producción para el mejoramiento de la rentabilidad económica de la Industria Avícola.

[2] Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L. (2009). Diseño y construcción de un molino de martillos (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2009).

[3] Cotabarren, I., Fernández, M. P., Di Battista, A., & Piña, J. (2020). Modeling of maize breakage in hammer mills of different scales through a population balance approach. Powder Technology.

[4] Maldonado Cevallos, K. A. (2017). Investigación sobre el impacto de una dieta compuesta por productos endémicos del Ecuador (quinua, chocho, maíz, cacao y guayusa) en el desarrollo integral del ser humano (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2017).

[5] ThyssenKrupp Aceros y Servicios S.A. Catálogo Comercial. SAE-4340.

[6] Gaitán Hernández, D. F. (2018). Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa Industria Recuplast SAS.

[7] Churo Quimbijurco, C. O., & Guamushig Catota, S. X. (2020). Diseño y construcción de molino eléctrico triturador para la reutilización de resina poliéster en esculturas religiosas con capacidad de 25 kg/h (Bachelor's thesis).

[8] Asociación de Academias De La Lengua Española (20 de septiembre). Real Academia Española. https://dle.rae.es/molino

[9] Gaitán Hernández, D. F. (2018). Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa Industria Recuplast SAS.

[10] Andrade, V., Toalombo, P., Andrade, S., & Lima, R. (02 de Febrero de 2017). Evaluación de parámetros productivos de pollos Broilers Coob 500 y Ross 308 en la Amazonia de Ecuador. *REDVET, 18*(02), 6-9. Recuperado el 24 de Septiembre de 2020.

[11] Carrera Andrade, J., Viteri Miranda, V., & Regatto Bonifaz, J. (Mayo de 2018). Estudio de mercado sobre la caracterización de los consumidores de carne de pollo en la zona urbana del Cantón Milagro. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 2-10. Recuperado el 24 de Septiembre de 2020, de https://www.eumed.net/rev/cccss/2018/05/consumidores-carne-pollo.html

[12] Marín Arias, S. A., & Velarde Zambrano, A. O. (2019). *Silla de Ruedas controlada por controles inerciales.* Recuperado el 24 de Septiembre de 2020.

[13] Moreno, F., Salazar, W., & Sáenz, L. (2005). Evaluación del comportamiento mecánico a la fatiga en aceros AISI 4340 y AISI 4140 tratados térmicamente con recocidos y normalizados. *Ingeniería UC, 12*(003), 5-7. Recuperado el 24 de Septiembre de 2020.

[14] RENOLD. (2018). Acoplamientos Gearflex. En RENOLD, *Manual* (Vol. 02, págs. 17-24). Recuperado el 24 de Septiembre de 2020.

[15] Rodríguez, D., Erazo, J., & Narváez, C. (23 de Septiembre de 2019). Técnicas cuantitativas de investigación de mercados aplicadas al consumo de carne en la generación millennial de la ciudad de Cuenca (Ecuador). *Espacios*, 3-12. Recuperado el 24 de Septiembre de 2020.

[16] Toapanta Mullo, A. D. (09 de Abril de 2018). Estudio de la factibilidad para la creación de una granja avícola de crianza y faenamiento de pollos en la parroquia Gonzáles Suárez- Comunidad Pijal. *FICA*, 4-6. Recuperado el 24 de Septiembre de 2020.

[17] A. Guarinos Ferrer, «Evolución de una Tipología Estructural,» de *El Molino de Viento*, Valencia, 2019, pp. 21-115.

[18] Pérez Martín, Enrique, 2008. *Estudio histórico-tecnológico y representación gráfica de los molinos de viento de la Mancha, en la España de los siglos XVI al XIX, mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (DAO)* [en línea]. Tesis doctoral. Madrid: Universidad politécnica de Madrid. Disponible en: http://oa.upm.es/1270/1/ ENRIQUE_PEREZ_MARTIN_A.pdf

[19] Zarouala, Ben y Oulad, Rachad, 2010. *Modelado y control de aerogeneradores flexibles* [en línea]. Trabajo fin de máster. Sevilla: Escuela técnica superior de ingeniería. Disponible en: http://bibing. us.es/proyectos/abreproy/70162/

[20] Fernández Díez, Pedro, 1993. *Energía eólica* [en línea]. Universidad de Cantabria. ISBN 9788481020199. Disponible en: http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6

[21] Sánchez Sibaja, Alexander, 2011. *Modelado computacional de un generador eólico basado en una turbina Savonius modificada* [en línea]. Tesis Doctoral. México D. F.: Instituto politécnico Nacional. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22707?show=full

[22] Rodrigálvarez Sibón, Adrián, 2018. *Modelado y control de un aerogenerador conectado a la red mediante un DFIG* [en línea]. Trabajo fin de grado. Madrid: Universidad politécnica de Madrid. Disponible en: http://oa.upm.es/50349/1/TFG_ADRIAN_RODRIGALVAREZ_SIBON.pdf

[23] B. Rodríguez, S. Urbina, A. Serrano, K. Castro y M. Méndez, «Molinos de Rodillos,» de *Molinos de Rodillo*, 2014, pp. 2-10.

[24] D. C. Bermeo Martínez, «Diseño y Construcción de un Molino de Martillos triturador de Granos para Granjas Avícolas,» *Repositorio Dspace,* pp. 1-4, 2014.

[25] Miranda, C (Septiembre 2018). "El negocio de alimentos balanceados, aún es una actividad rentable". Maíz y Soya, pp. 15-16.

[26] Navarrete, E (Julio, Agosto, Septiembre 2020). "Importancia de la producción avícola en el contexto nacional". Maíz y Soya, pp. 5.

[27] Ubilla, A (Mayo 2019). "Hubo consenso en la definición del nuevo precio del maíz". Maíz y Soya, pp. 10.

[28] E. M. Naranjo Vargas, J. R. Moyano Arévalo, C. A. Padilla Padilla y C. J. Santillán Mariño, «Análisis y diseño de un molino eléctrico de granos económico para PYMES.,» *Ciencia Digital*, vol. 3, nº 2, pp. 2-16, 04 Abril 2019.

[29] E. Flórez Solano, N. Cardona Duarte y C. Clavijo Ovalle, «Diseño de un Molino de Martillos para la Producción de Pegamento Cerámico,» *Dspace*, vol. 2, nº 2, pp. 3-8, 20 Noviembre 2014.

[30] L. Atarama Valdiviezo, «Sistematización de Diseño de Molinos de Martillos fijos para Granos,» de *Sistematización de Diseño de Molinos de Martillos fijos para Granos*, Piura, Pirhua, 2018, pp. 111-230.

[31] M. Mundo, «Material Mundo,» 2019. [En línea]. Available: https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/. [Último acceso: 18 Diciembre 2020].

[32] E. Naranjo, J. Moyano y C. Santillán, «Diseño y Optimización del Tamaño de Grano Triturado para Alimentación Avícola para Criaderos y Suministros de Balanceado,» 2019. [En línea]. Available: https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/6223. [Último acceso: 18 Enero 2021].

[33] P. Chucuya, «Diseño de un Sistema de Molienda de Maíz para la Empresa "El Gran Pollón" TACNA,» 2018.

[34] R. Budynas y K. Nisbett, «Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México D.F., The McGraw-Hill, 2008, pp. 282-860.

[35] Bohler, «Bohler,» 2014. [En línea]. Available: www.bohlerperu.com. [Último acceso: 18 Diciembre 2020].

[36] Larburu Arrizabalaga, N. (2008). *Máquinas Prontuario.* Madrid: Paraninfo.

[37] InColor, «InColor,» 2020. [En línea]. Available: https://www.incolorec.com.ec/sitio/productos/70. [Último acceso: 20 Marzo 2021].

[38] Bueche, F. (2003). *Física general* (Vol. Novena). México: McGrawHill.

[39] R. C. Hibbeler, Ingeniería Mecánica- Estática, Decimosegunda ed., México: Pearson, 2010, p. 523.

[40] *Selección de Rodamientos SKF*. [Película]. EstalinJRM, 2020.

[41] A. Salcedo, «Electricidad y algo más,» Abril 2015. [En línea]. Available: http://alirafasalcedo.blogspot.com/2015/05/conductor-y-proteccion-para-motores.html. [Último acceso: 21 Marzo 2021].

[42] ElectroCables, «ElectroCables,» 2018. [En línea]. Available: https://www.electrocable.com/. [Último acceso: 21 Marzo 2021].

[43] «Manual of Steel Construction Allowable Stress Desing» ninth edition, pp. 1-40, PP. 1-41.