



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO TRITURADOR DE JENGIBRE PARA LOS AGRICULTORES DE LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 5”

Autor:

Vásquez García Aarón Medardo

Director de proyecto de Investigación:

Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández M.Sc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Aarón Medardo Vásquez García**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f. 

Aarón Medardo Vásquez García
C.C# 1207458991

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández M.Sc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Aarón Medardo Vásquez García**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO TRITURADOR DE JENGIBRE PARA LOS AGRICULTORES DE LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 5**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas en efecto.



Firmado electrónicamente por:
**YUSIMIT KARINA
ZAMORA
HERNANDEZ**

f. _____

Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández M.Sc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente me permito certificar, que el señor **Aarón Medardo Vásquez García**, estudiante egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la modalidad presencial, una vez que finalizó el proyecto de investigación titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO TRITURADOR DE JENGIBRE PARA LOS AGRICULTORES DE LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 5**”, tengo a bien informar que la respectiva revisión se realizó por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 4%.

Se adjunta imagen del Sistema Urkund.



Document Information

Analyzed document	PROYECTO DE TITULACIÓN AARÓN MEDARDO VÁSQUEZ GARCÍA.pdf (D137974337)
Submitted	2022-05-25T13:49:00.0000000
Submitted by	Zamora Hernandez Yusimit Karina
Submitter email	yzamorah@uteq.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	yzamorah.uteq@analysis.urkund.com



Firmado electrónicamente por:
**YUSIMIT KARINA
ZAMORA
HERNANDEZ**

f. _____

Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Diseño y simulación de un molino triturador de jengibre para los agricultores de la zona de planificación 5”

Presentado a la comisión académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:



Firmado electrónicamente por:
**CRISTIAN PAUL
TOPA
CHUQUITARCO**

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Cristian Paul Topa Chuquitarco M.Sc.

1804259743 DIEGO
JAVIER PUNINA
GUERRERO

Digitally signed by 1804259743 DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO
DN: 1.3.6.1.4.1.37442.10.4=1804259743, o=PUNINA GUERRERO
DIEGO JAVIER, givenName=DIEGO JAVIER,
2.5.4.97=1804259743001, c=EC, serialNumber=1804259743,
sn=PUNINA GUERRERO, cn=1804259743 DIEGO JAVIER
PUNINA GUERRERO, email=dieguin_3520@hotmail.com,
2.5.4.13=Certificado para Persona Natural con RUC,
st=IUNGURAHUA, I=AMBATO, ou=Certificado de
Representante Legal de Persona Juridica EC
Adobe Reader version: 11.0.23

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Diego Javier Punina Guerrero M.Sc.



Firmado electrónicamente por:
**EDISON MARCELO
MANCHENO PADILLA**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Edison Marcelo Mancheno Padilla M.Sc.

QUEVEDO – LOS RÍOS - ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a las autoridades y personal que conforman la prestigiosa Universidad Técnica Estatal de Quevedo, plantel que me acogió todos estos años de estudios y por todas las experiencias vividas.

A cada uno de los distintos profesores que inculcaron y me formaron como profesional a través de la enseñanza teórica, práctica y distintas experiencias, a lo largo de tan prestigiosa carrera, como lo es ingeniera mecánica.

De igual manera quiero expresar mi más grande agradecimiento a mi tutora y acompañante en este proceso de titulación la Ing. Yusimit Zamora, que con su confianza y experiencia guío en este proceso

A mi grupo de amigos y compañeros que dentro y fuera del aula afrontamos muchas situaciones, unas más complicadas que otras y que con el compañerismo que nos caracterizaba supimos salir adelante, en nuestro desarrollo como profesionales.

Aarón Medardo Vásquez García.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada:

Primeramente, a Dios y la virgen por permitirme llegar hasta donde estoy ahora, a mis padres Lorena García y Héctor Vásquez que fueron mi apoyo incondicional a lo largo de todo el camino de mi formación como Ingeniero Mecánico a mi abuelo José García (+) que formó gran parte de mi educación básica, a mis hermanos que me brindaron su apoyo en todo el proceso estudiantil.

A mis sobrinas que me inspiran a ser mejor y formarme cada día, a cada uno de mis amigos y distintos familiares que me brindaron su apoyo.

Aarón Medardo Vásquez García

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad el diseño y simulación mediante un software CAD/CAE para el desarrollo de un molino de jengibre para los agricultores de la Zona 5 en el Ecuador. Como primer paso se deberá tener en consideración las propiedades del producto a triturar (jengibre) que al ingresar a el equipo no deberá tener humedad. Para seleccionar el diseño del molino se utilizó el método de criterios ponderados y así compararlos con otros posibles diseños. Fue efectuado el dimensionamiento del equipo y se pudo validar su comportamiento mecánico-estructural mediante la simulación en el software SolidWorks, donde se alcanzaron resultados de factores de seguridad positivos por encima del valor mínimo recomendado (1).

El material considerado para los elementos que estarán en contacto con la materia prima fue el acero inoxidable de grado alimenticio AISI 304 y los demás elementos de acero A36. El eje principal del molino tiene una velocidad de rotación de 2 500 rpm, llegando a tener una capacidad de hasta 200 kg/h. El principio de funcionamiento del equipo consiste en ingresar el jengibre que se desea triturar por la tolva, luego pasará por la cámara de trituración en donde se ubica el conjunto triturador, para después dar paso al proceso de molienda, dejando caer las partículas por la criba localizada en la parte inferior del molino. En caso de construcción el tiempo de vida útil de los elementos sometidos a desgaste del molino triturador será mayor a los 5 años considerando el uso y mantenimiento adecuado.

Palabras claves: Molino de martillos, jengibre, SolidWorks, validación.

ABSTRACT

The purpose of this study is the design and simulation using CAD/CAE software for the development of a ginger mill for the farmers of Zone 5 in Ecuador. As a first step, the properties of the product to be crushed (ginger) should be taken into consideration, which should not have moisture when entering the equipment. To select the design of the mill, the weighted criteria method was used to compare it with other possible designs. The sizing of the equipment was carried out and its mechanical-structural behavior was validated through simulation in SolidWorks software, where positive safety factor results were achieved above the minimum recommended value (1).

The material considered for the elements that will be in contact with the raw material was AISI 304 food grade stainless steel and the other elements of A36 steel. The main shaft of the mill has a rotation speed of 2,500 rpm, reaching a capacity of up to 200 kg/h. The principle of operation of the equipment consists of entering the ginger to be crushed through the hopper, then it will pass through the crushing chamber where the crusher assembly is located, to then start the grinding process, allowing the particles to fall through the screen located at the bottom of the mill. In case of construction, the useful life time of the elements subject to wear of the crushing mill will be more than 5 years considering the proper use and maintenance.

Keywords: Hammer mill, ginger, SolidWorks, validation.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	i
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iii
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
CÓDIGO DUBLÍN	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Problema de Investigación.....	3
1.1.1. Planteamiento del problema.	3
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General.	4
1.2.2. Objetivos Específicos.	4
1.3. Justificación.	5
CAPÍTULO II - FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1. Marco conceptual.....	7
2.1.1. El jengibre.	7
2.1.2. Equipos para la reducción de tamaño en la industria alimenticia.....	8
2.2. Marco referencial.....	13
2.2.1. La agricultura en Ecuador haciendo énfasis al jengibre.....	13
2.2.2. Diseño de sistemas mecánicos.....	19
2.2.3. Motor eléctrico y controles.....	23
2.2.3.1. Arranque manual y magnético en motores monofásicos y trifásicos.	24
2.2.4. Fundamentos de diseño.	26
2.2.5. Consideraciones fundamentales de diseño.	27

2.2.6.	Las computadoras en el diseño.....	29
2.2.7.	Propiedades de los aceros que constituirán el equipo.....	30
2.2.8.	Seguridad en el diseño y la fabricación de máquinas agrícolas aplicadas al diseño de un molino triturador de jengibre.	32
CAPÍTULO III - METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		35
3.1.	Localización.....	36
3.2.	Tipos de investigación.....	36
3.2.1.	Investigación descriptiva.....	36
3.2.2.	Investigación de campo.....	36
3.2.3.	Investigación bibliográfica.....	36
3.3.	Tipos de métodos de investigación.....	37
3.3.1.	Método analítico.....	37
3.3.3.	Método científico.....	37
3.3.3.	Método experimental.....	37
3.4.	Fuentes de recopilación de información.....	37
3.4.1.	Fuentes primarias.....	37
3.4.2.	Fuentes secundarias.....	37
3.5.	Diseño en la investigación.....	38
3.6.	Instrumentos de investigación.....	38
3.7.	Tratamiento de datos.....	38
3.8.	Recursos humanos y materiales.....	39
3.8.1.	Equipos de oficina.....	39
CAPÍTULO IV- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		40
4.1.	Parámetros de selección según diversas características.....	41
4.1.1.	Criterio A: Calidad de la molienda.....	41
4.1.2.	Criterio B: Contaminación debido a la oxidación del material triturador.....	41
4.1.3.	Criterio C: Distancia mínima de operación.....	41
4.1.4.	Criterio D: Costos empleados en la manufactura.....	41
4.1.5.	Criterio E: Facilidad de mantenimiento.....	42
4.2.	Método de criterios ponderados para la selección del molino.....	42
4.3.	Diseño y selección del molino triturador de jengibre.....	42
4.4.	Parámetros de diseño de un molino de martillos.....	43
4.4.1.	Diseño de los martillos.....	43

4.4.2.	Dimensionamiento de separadores de los martillos.	50
4.4.3.	Dimensionamiento y validación de los ejes secundarios.....	53
4.4.4.	Dimensionamiento y validación de los discos.....	59
4.4.5.	Selección del motor.	67
4.4.6.	Sistema de transmisión del molino.....	75
4.4.7.	Diseño del eje principal.	79
4.4.8.	Selección de la chumacera.....	85
4.4.9.	Análisis de la mesa.	86
4.4.10.	Diseño de la tolva de entrada.....	88
4.4.11.	Diseño de la tolva de salida.	91
4.4.12.	Selección de pernos.	92
4.4.13.	Uniones soldadas.	93
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		94
5.1.	Conclusiones.....	95
5.2.	Recomendaciones.	96
CAPÍTULO VI - BIBLIOGRAFÍA.....		97
6.1.	Bibliografía.....	98
CAPÍTULO VI - ANEXOS.....		102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características del jengibre.	7
Figura 2. Molino de discos eléctrico.	9
Figura 3. Molino de martillos.	10
Figura 4. Molino de rodillos.	11
Figura 5. Molino combinado.	12
Figura 6. Chumacera con rodamiento de bolas, también llamado cojinete montado.	21
Figura 7. Combinación de bandas en V, un reductor y un sistema de transmisión por cadenas.	21
Figura 8. Geometría básica de una transmisión por bandas.	22
Figura 9. Transmisión por cadena de rodillos.	23
Figura 10. Forma general de la curva de operación de un motor.	23
Figura 11. Arrancadores manuales.	24
Figura 12. Arrancadores magnéticos para motores trifásicos.	24
Figura 13. Control reversible para un motor trifásico.	25
Figura 14. La aplicación del CAD - CAM en la ingeniería.	29
Figura 15. Ubicación geográfica de la zona de planificación 5.	36
Figura 16. Dimensiones asignadas a los martillos.	43
Figura 17. Radio de giro del molino.	45
Figura 18. Radio de giro asimilado en el proceso de pre - dimensionamiento.	46
Figura 19. Fuerzas que actúan en el martillo.	46
Figura 20. Análisis de esfuerzos mediante el criterio de fallos de Von Mises de los martillos.	48
Figura 21. Factor de seguridad de los martillos.	48
Figura 22. Especificación de cómo se distribuye los ejes secundarios en el molino.	50
Figura 23. Conjunto triturador.	51
Figura 24. Distribución de los martillos, en función de los separadores.	51
Figura 25. Longitud, diámetro interno y externo de los separadores del conjunto triturador.	52
Figura 26. Sujeción eje secundario - discos.	52
Figura 27. Elementos característicos del conjunto triturador.	53
Figura 28. Fuerzas que actúan sobre el eje secundario.	54
Figura 29. Diagrama de fuerzas en el eje secundario representado en SAP 2000.	54

Figura 30. Diagrama de fuerzas cortantes, indicando el cortante máximo, representado en SAP 2000.....	55
Figura 31. Diagrama de momento flector, indicando el momento máximo, representado en SAP 2000.....	55
Figura 32. Esfuerzos presentes observados mediante el círculo de Mohr.....	56
Figura 33. Apoyos y cargas asignadas al eje secundario en SolidWorks Simulation.	57
Figura 34. Apoyos y cargas asignadas al eje secundario en SolidWorks Simulation.	58
Figura 35. Factor de seguridad del eje secundario.	58
Figura 36. Desplazamientos del eje secundario debido a las cargas asignadas.....	59
Figura 37. Dimensiones de los discos.	59
Figura 38. Reacciones que soportan los discos.	60
Figura 39. Reacciones resultantes en el disco a 0°.....	60
Figura 40. Reacciones resultantes en el disco a 90°.....	61
Figura 41. Reacciones resultantes en el disco a 270°.....	61
Figura 42. Esfuerzos encontrados en el DISCO D.....	62
Figura 43. Factor de seguridad en el DISCO D.....	62
Figura 44. Esfuerzos en el disco C.	63
Figura 45. Factor de seguridad en el disco C.	64
Figura 46. Esfuerzos en el disco B.	64
Figura 47. Factor de seguridad en el disco B.	65
Figura 48. Esfuerzos en el disco A.....	66
Figura 49. Factor de seguridad en el disco A.	66
Figura 50. Motor WEG.	70
Figura 51. Diagrama de fuerza y control.....	70
Figura 52. Portafusibles.....	71
Figura 53. Disyuntor.....	71
Figura 54. Contactor.....	72
Figura 55. Relé Térmico.....	72
Figura 56. Relé Unipolar.	73
Figura 57. Motor.....	73
Figura 58. Pulsadores.	74
Figura 59. Foco piloto.	74
Figura 60. Representación sistema poleas.....	75
Figura 61. Banda tipo 3VX.	75

Figura 62. Distancia entre centro establecido en el predimensionamiento.	77
Figura 63. Valores obtenidos del sistema de transmisión.	78
Figura 64. Fuerzas actuando en el sistema de transmisión.....	79
Figura 65. Diagrama de fuerzas en el conjunto triturador, junto con el eje principal.	80
Figura 66. Fuerzas que actúan en el eje principal.	81
Figura 67. Cargas Y asignadas al eje en SAP 2000.	82
Figura 68. Reacciones resultantes en la coordenada Y.	82
Figura 69. Fuerza cortante máxima en la coordenada Y.	82
Figura 70. Momento flector máximo en la coordenada Y.	82
Figura 71. Cargas Z asignadas al eje en SAP 2000.....	83
Figura 72. Reacciones resultantes en la coordenada Z.....	83
Figura 73. Diagrama de fuerza cortante en la coordenada Z.....	83
Figura 74. Diagrama de momento flector en la coordenada Z.	83
Figura 75. Vista isométrica de una chumacera UCP 208-24.....	86
Figura 76. Mesa de soporte del molino.	87
Figura 77. Cargas asignadas sobre la estructura.....	87
Figura 78. Límites de flexión y tensión axial en la mesa.	87
Figura 79. Factor de seguridad en la mesa.	88
Figura 80. Ángulo de inclinación de la tolva.	88
Figura 81. Análisis de esfuerzo de Von Mises de la tolva de entrada.....	89
Figura 82. Análisis de desplazamiento de la tolva.	90
Figura 83. Factor de seguridad de la tolva.	90
Figura 84. Tolva de salida.	91
Figura 85. Perno ASTM F593 3/4.....	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 1).....	44
(Ecuación 2).....	45
(Ecuación 3).....	45
(Ecuación 4).....	45
(Ecuación 5).....	46
(Ecuación 6).....	47
(Ecuación 7).....	47
(Ecuación 8).....	49
(Ecuación 9).....	49
(Ecuación 10).....	50
(Ecuación 11).....	52
(Ecuación 12).....	55
(Ecuación 13).....	55
(Ecuación 14).....	56
(Ecuación 15).....	57
(Ecuación 16).....	57
(Ecuación 17).....	67
(Ecuación 18).....	68
(Ecuación 19).....	69
(Ecuación 20).....	69
(Ecuación 21).....	76
(Ecuación 22).....	77
(Ecuación 23).....	77
(Ecuación 24).....	78
(Ecuación 25).....	80
(Ecuación 26).....	80
(Ecuación 27).....	84
(Ecuación 28).....	84
(Ecuación 29).....	84
(Ecuación 30).....	85
(Ecuación 31).....	92
(Ecuación 32).....	93

(Ecuación 33)..... 94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cultivos perdidos en Ecuador al año 2017.	14
Tabla 2. Condiciones agroecológicas del cultivo de jengibre.	15
Tabla 3. Tabla nutricional del jengibre en gramos.	19
Tabla 4. Composición química del acero AISI 304.....	30
Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero AISI 304.....	31
Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.	31
Tabla 7. Composición química del acero ASTM A36.	31
Tabla 8. Matriz de criterios ponderados.	42
Tabla 9. Cargas asignadas en el disco D.	61
Tabla 10. Cargas asignadas en el disco C.....	63
Tabla 11. Cargas asignadas en el disco B.....	64
Tabla 12. Cargas asignadas en el disco A.	65
Tabla 13. Factor f dependiente de la velocidad tangencial.....	67
Tabla 14. Especificaciones motor WEG 5HP seleccionado.....	70
Tabla 15. Resumen de diseño.	79
Tabla 16. Duración recomendada para rodamientos.	85
Tabla 17. Propiedades del jengibre.....	89
Tabla 18. Dimensiones estándar de perno de cabeza hexagonal ASTM F593 3/4.....	92
Tabla 19. Valores límites de la garganta de soldadura.	93
Tabla 20. Resistencia del electrodo 308L.....	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Frecuencias de mantenimiento.	104
Anexo 2. Ficha técnica del molino de martillos seleccionado.	105
Anexo 3. Investigación de campo utilizado para conocer las principales características de los molinos considerados en la matriz de ponderación.	105
Anexo 4. Vistas generales del molino en el software CAD SolidWorks.	106
Anexo 5. Eficiencia mecánica del molino.	107
Anexo 6. Eficiencia promedio de un motor trifásico.	107
Anexo 7. Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta. [17]	107
Anexo 8. Descripción de correa 3VX - 370 para una longitud primitiva de 35,70 in [30].	108
Anexo 9. Factor de concentración de esfuerzos (Kt) [16].	108
Anexo 10. Factores de diseño (N) [16].	108
Anexo 11. Resistencia a la fatiga modificada (Sn) [16].	109
Anexo 12. Factor de material (Cm) [16].	109
Anexo 13. Factor de tipo de esfuerzo Cst [16].	109
Anexo 14. Factores de confiabilidad aproximados (CR) [16].	109
Anexo 15. Factor por tamaño Cs [16].	110
Anexo 16. Corriente soportado por los cables de cobre.	110
Anexo 17. Carga dinámica máxima soportado por chumaceras $d=38,10$ mm [30].	110
Anexo 18. Propiedades del material F593.	111

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Diseño y simulación de un molino triturador de jengibre para los agricultores de la zona de planificación 5.			
Autor:	Vásquez García Aarón Medardo			
Palabras claves:	Molino de martillos	Jengibre	SolidWorks	Validación
Fecha de publicación:	Diciembre 2022			
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2022			
Resumen:	<p>Resumen. - El presente estudio tiene como finalidad el diseño y simulación mediante un software CAD/CAE para el desarrollo de un molino de jengibre para los agricultores de la Zona 5 en el Ecuador. Como primer paso se deberá tener en consideración las propiedades del producto a triturar (jengibre) que al ingresar a el equipo no deberá tener humedad. Para seleccionar el diseño del molino se utilizó el método de criterios ponderados y así compararlos con otros posibles diseños. Fue efectuado el dimensionamiento del equipo y se pudo validar su comportamiento mecánico-estructural mediante la simulación en el software SolidWorks, donde se alcanzaron resultados de factores de seguridad positivos por encima del valor mínimo recomendado (1).</p> <p>El material considerado para los elementos que estarán en contacto con la materia prima fue el acero inoxidable de grado alimenticio AISI 304 y los demás elementos de acero A36. El eje principal del molino tiene una velocidad de rotación de 2 500 rpm, llegando a tener una capacidad de hasta 200 kg/h. El principio de funcionamiento del equipo consiste en ingresar el jengibre que se desea triturar por la tolva, luego pasará por la cámara de trituración en donde se ubica el conjunto triturador, para después dar paso al proceso de molienda, dejando caer las partículas por la criba localizada en la parte inferior del molino. En caso de construcción el tiempo de vida útil de los elementos sometidos a desgaste del molino triturador será mayor a los 5 años considerando el uso y mantenimiento adecuado.</p> <p>Abstract. - The purpose of this study is the design and simulation using CAD/CAE software for the development of a ginger mill for the farmers of Zone 5 in Ecuador. As a first step, the properties of the product to be crushed (ginger) should be taken into consideration, which should not have moisture when entering the equipment. To select the design of the mill, the weighted criteria method was used to compare it with other possible designs. The sizing of the equipment was carried out and its mechanical-structural behavior was validated through simulation in SolidWorks software, where positive safety factor results were achieved above the minimum recommended value (1).</p> <p>The material considered for the elements that will be in contact with the raw material was AISI 304 food grade stainless steel and the other elements of A36 steel. The main shaft of the mill has a rotation speed of 2,500 rpm, reaching a capacity of up to 200 kg/h. The principle of operation of the equipment consists of entering the ginger to be crushed through the hopper, then it will pass through the crushing chamber where the crusher assembly is located, to then start the grinding process, allowing the particles to fall through the screen located at the bottom of the mill. In case of construction, the useful life time of the elements subject to wear of the crushing mill will be more than 5 years considering the proper use and maintenance.</p>			
Descripción:	117 hojas: Dimensiones 29 x 21 cm: CD - ROM			
URL:				

INTRODUCCIÓN

El jengibre es un tubérculo proveniente del continente asiático. En China e India se ha usado para fines medicinales desde hace miles de años. Desde entonces se realiza la siembra a lo largo de distintos países dado sus múltiples usos, Ecuador no es la excepción además de que gran parte de la producción nacional se lo importa a países como Colombia y Estados Unidos.

Varios países de Latinoamérica han implementado a su economía el cultivo, comercialización e industrialización del jengibre.

A nivel del Ecuador, su cultivo se ubica principalmente en las provincias de Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas y Macas, dadas sus condiciones climáticas, su uso está enfocado en aspectos relacionados con la medicina y se suele comercializar mayoritariamente en polvo, para el procesamiento de medicamentos y comestibles.

Para la molienda de jengibre se necesitan máquinas que permitan triturar la materia prima a calidades ajustables (partículas finas, medianas y gruesas); por tal motivo, se diseñó un molino triturador de jengibre de martillos con el fin de moler el producto a tamaños ajustables.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de Investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Los agricultores dedicados a la cosecha del jengibre tienen poca información o graves problemas al momento de adquirir un molino que les permitan procesar su materia prima de forma óptima, ya que generalmente las máquinas trituradoras están pensadas para otro tipo de productos.

A nivel nacional, las máquinas dedicadas al procesamiento del jengibre son costosas y están orientadas a las grandes empresas, imposibilitando a los agricultores que no cuentan con los recursos necesarios para adquirir dichas maquinarias y así automatizar su proceso de molienda.

El presente trabajo de investigación propone diseñar y simular un molino triturador para jengibre, accesible a los agricultores que les permita procesar correctamente la materia prima y así puedan ofrecer el producto molido y así cumplir con los estándares de calidad establecidos.

1.1.1.1. Diagnóstico.

En el país, las disponibilidades de molinos eléctricos dedicados al procesamiento del jengibre son meramente escasos en el sector agrícola y se prefiere optar por otras alternativas, como el uso de molinos manuales, donde el tiempo de trituración y el gasto humano son elevados, comparados con otros procesos de molienda.

1.1.1.2. Pronóstico.

Los pequeños agricultores dedicados al cultivo del jengibre cuentan con un presupuesto limitado al momento de adquirir maquinarias para poder procesar su materia prima, entre ellas el jengibre por lo que suelen utilizar molinos manuales poco eficientes, ocasionando una reducción considerable de la utilidad generada.

El diseño y validación de un molino de jengibre permitirá obtener una máquina resistente y económica, pudiendo así ser accesibles para las personas que se dedican a la cosecha y siembra de jengibre.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Se podrá diseñar un molino de jengibre que pueda cumplir con los requerimientos de los agricultores de la zona de planificación 5?

1.1.3. Sistematización del problema.

- ¿Cuál sería la alternativa de un molino triturador idóneo para realizar la molienda de jengibre?
- ¿El estudio analítico permitirá obtener un equipo que cumpla con las capacidades preestablecidas en la investigación?
- ¿Se podría utilizar los principios de diseño de máquinas para dimensionar todos los componentes que conforman el equipo?
- ¿Será necesario efectuar la respectiva validación a los componentes que conforman el molino triturador mediante un software de ingeniería?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Diseñar una máquina trituradora de jengibre utilizando criterios de diseño de máquinas para los agricultores de la zona de planificación 5.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Justificar mediante el método de criterio ponderados la selección de un molino triturador de jengibre.
- Sintetizar la información recopilada sobre el principio de funcionamiento, sistema de transmisión, velocidad de operación y las partes que conforman el molino seleccionado.
- Establecer el diseño conceptual del molino mediante el modelado CAD en el software SolidWorks.
- Evaluar la resistencia de los elementos que conforman el equipo utilizando simulación por partes a través de SolidWorks Simulation.

1.3.Justificación.

La siembra de jengibre ha tenido un aumento considerable debido a su alta demanda que ha presentado a lo largo de la última década, esto se da por tener múltiples beneficios y diferentes usos , todo lo mencionado le da un buen valor comercial actualmente, también parte de este aumento de su consumo se dio por la crisis sanitaria del Covid-19 ya que el mismo se usa para su tratamiento, sin embargo no se cuenta con una máquina que permita a los productores ofrecer el producto en otra presentación que no sea la natural , pudiendo generar así la facilidad de comercializar el jengibre molido , a la par de que la maquina esté al alcance de los agricultores con escasos recursos económicos .

Al tener este tipo de herramienta los agricultores podrán vender el jengibre molido a un mayor valor comercial, debido a que este ya cuenta con un proceso de sector secundario, en el cual se realiza la transformación de un recurso natural (jengibre) para convertirlo en un producto que cubra diferentes necesidades de consumo.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. El jengibre.

El jengibre (*Zingiber officinale* Rosc., shengjiang) es una especia y planta medicinal utilizada desde antiguo procedente de Asia Central y el Sudeste Asiático. Esta planta con rizoma de la familia de las zingiberáceas, similar a un lirio, se cultiva en todas las regiones tropicales y subtropicales [1].

El jengibre contiene una gran cantidad de alcohol. Este hecho explica la formación del llamado hábito del jengibre al que la víctima se convierte en esclava en cuanto al hábito del whisky, el opio o el tabaco. La indulgencia en este hábito es más peligrosa porque se supone que el jengibre es inofensivo [2].

2.1.1.1. Morfología del jengibre.

El jengibre es una planta vivaz resistente con un vigoroso rizoma rastrero horizontal que presenta tuberosidades y ramificaciones (Ver Figura 1). Del rizoma surgen falsos tallos y brotes con flores. Los rizomas, utilizados para fines terapéuticos y alimenticios, se recogen entre 9 y 10 meses después de la plantación. Después de lavarse bien, el jengibre se deja secar algunos días al sol. De toda la planta sólo se utilizan las «manos» del rizoma, de unos 10 cm de longitud. Los rizomas jóvenes se utilizan frescos, mientras que los más viejos se secan y presentan un sabor mucho más fuerte. El jengibre posee un característico aroma perfumado y refrescante con un toque de limón. Su sabor es especiado, picante y penetrante, con un toque ligeramente dulzón [1].

Figura 1. Características del jengibre.



FUENTE: U. SIEDENTOPP

2.1.1.2. Una planta importante en la historia de la medicina.

La raíz del jengibre se utiliza desde hace mucho tiempo en la medicina popular como condimento y medicamento beneficioso y eficaz. [1]

En China, el jengibre se conoce al menos desde la dinastía Zhou (siglo XI a.C., año 221 a.C). Dioscórides, el farmacólogo más conocido de la antigüedad (siglo I d.C), se refirió al jengibre en su obra más importante, la Materia Médica. El jengibre es una planta particular de las hojas verdes se realizan infinitas cosas, como usamos de la ruda en nuestro país,.[1].

En la medicina natural, las enfermedades neurológicas, los estados de dolor, la insuficiencia circulatoria, los trastornos digestivos, las náuseas y los vómitos se consideran indicaciones clásicas para el uso del jengibre. En la medicina natural centroeuropea está extendido su uso para la neurastenia, enteritis crónica, tos, trastornos ginecológicos reuma y faringitis. También se utiliza para los vértigos, náuseas y mareos de viaje, trastornos circulatorios y del riego sanguíneo, dolores y espasmos musculares, así como para los trastornos gástricos y digestivos. Desde la antigüedad, el jengibre también se considera un afrodisíaco. Es especialmente apreciado en caso de sensibilidad al frío, defensas bajas y debilidad motora [1].

2.1.1.3. Aplicaciones farmacológicas diversas.

El jengibre es antiemético, positivamente inotrópico, colagogo y estimulante del tono muscular y el peristaltismo intestinales. El jengibre en polvo, en dosis de 2g., es un potente antiemético, al parecer superior a la difenhidramina (dosis terapéutica 100 mg). Para preparar una infusión en caso de trastornos dispépticos se vierte 1 taza de agua hirviendo sobre 0,5 – 1,5 g del producto pulverizado de forma gruesa y, tras 5-10 min, se cuela con un colador de té [1].

2.1.2. Equipos para la reducción de tamaño en la industria alimenticia.

La industria alimentaria es una actividad económica del sector secundario, donde se elabora productos comestibles y bebibles para el consumo humano y animal, estos pueden ser de origen mineral, vegetal y animal. En esta industria la materia prima se transporta, almacena y puede ser procesada o no; cumple estrictamente normas de higiene y conservación de alimentos, leyes alimentarias [3].

Esta industria se puede dividir en otras más, según el producto alimenticio ofrecido, ejemplo, pesquera, cárnica, lácteas, de bebidas, de sector agro, entre otras. En la mayoría aplica un proceso de molienda, por ejemplo, en las pesqueras y cárnicas, en las de bebidas a base de caña, en las harinas de soya, maíz, etc [3].

En general, los equipos que se usan en las granjas se clasifican en cuatro tipos:

Molino de discos, molino de martillos, molino de rodillos y molinos combinados [4].

2.1.2.1. Molino de discos.

El molino de discos (ver Figura 2), llamado también molino de platos, consiste en unos discos, usualmente dos, de 102 mm a 1524 mm de diámetro que se frotan uno al otro. Los discos pueden estar en posición vertical u horizontal; para los molinos agrícolas, se usan por lo general los de posición vertical. Si se usan dos platos, uno se mueve en un eje y el otro estará fijo o se mueve en dirección contraria [3].

El molino de discos es particularmente bueno para una molienda gruesa y, en algunos casos, para una molienda media; sin embargo, para una molienda media de avena, resulta más costoso que con un molino de martillos. La molienda fina es más costosa con un molino de discos que con un molino de martillos [3].

Los mecanismos predominantes de reducción de partícula en este tipo de molinos son por compresión y cizalladura. El tamaño de partícula final del producto viene marcado por el tipo de disco, espacio entre los discos y la velocidad de giro del eje [5].

Figura 2. Molino de discos eléctrico.

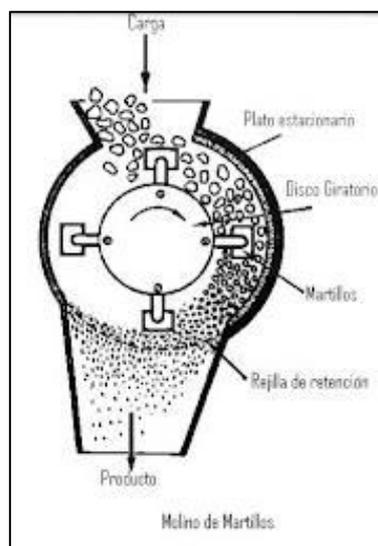


FUENTE: F. S. NOGUÉS, D. GARCÍA-GALINDO Y A. REZEAU.

2.1.2.2. Molino de martillos.

El molino de martillos actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. El molino cuenta con una cámara de desintegración, una boca de entrada del material en la parte superior y una boca de descarga cerrada por una rejilla. En el interior de la cámara hay un eje, que gira a gran velocidad y perpendicularmente a él van montados articuladamente los elementos de percusión (martillos) los cuales por la fuerza centrífuga que se genera al girar el eje, se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo [6].

Figura 3. Molino de martillos.



FUENTE: C. A. CLAVIJO OVALLE Y N. CARDONA DUARTE.

El material a moler ingresa por la boca de entrada y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, donde es golpeado por los martillos, chocando con las paredes de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos. Esto ocurre continuamente hasta que la materia prima pueda pasar por la criba de descarga. El tamaño de salida de los materiales triturados puede variarse cambiando la rejilla de salida [6].

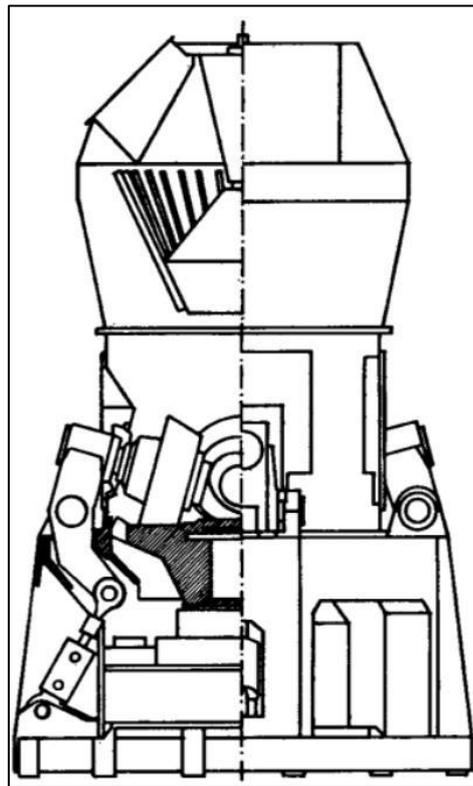
2.1.2.3. Molino de rodillos.

Los molinos de rodillos tienen un consumo específico de energía menor que en los molinos por acción de la gravedad, y exigen menos espacio por unidad y por caudal y costes de inversión sustancialmente más bajos. Estos tipos de molinos están estructurados como molinos aireados. Con separadores de aire dispuestos en su interior, estos molinos suelen actuar casi siempre en circuito cerrado como molinos secaderos [7].

Actualmente, los molinos por rodadura se construyen para caudales que rebasan las 30 t/h para crudo de cemento (molino Loesche, molino de rodillos gemelos de Polysius, molino Pfeiffer MPS) [7].

El principio de trabajo de los molinos por rodadura se basa en que, sobre una placa de molienda horizontal giratoria o bandeja ruedan de dos a cuatro rodillos cónicos de molienda, cuyos ejes están fijados a palancas oscilantes [7].

Figura 4. Molino de rodillos.



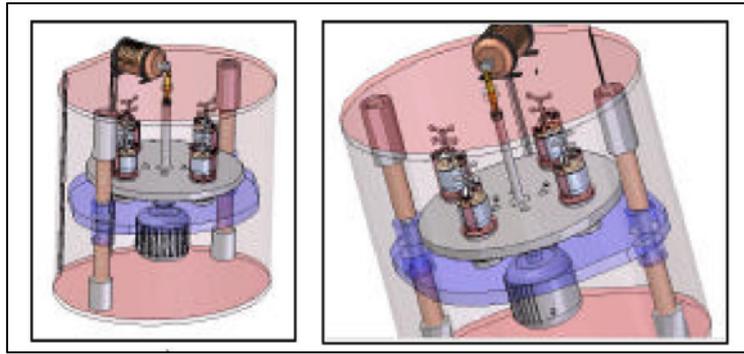
FUENTE: W. DUDA

En los molinos pequeños esos ejes van unidos a muelles (molinos accionados por muelles) mientras que en las grandes unidades la presión de molienda, es decir, la compresión del rodillo de molienda sobre el material se produce hidráulicamente [7].

2.1.2.4. Molinos combinados.

En la actualidad se trabaja de manera ardua en la construcción de un sistema para la producción de aleación mecánica con porcentajes de pérdidas de energía realmente bajos. Una de las soluciones planteadas es la combinación de movimientos axial y centrífugo de una manera controlable y variable [8].

Figura 5. Molino combinado.



FUENTE: H. JARAMILLO, J. GRUESO, D. HERRERA, A. SÁNCHEZ Y H. SÁNCHEZ.

Además de las pérdidas mecánicas comúnmente conocidas, la pérdida de energía es notoria por desgaste, tanto en las jarras manifestándose por medio de surcos y en los medios molidores que se terminan por destruir con el uso continuo [8].

2.1.2.5. Criterios de selección de un molino.

Una correcta selección del molino permite: minimizar los costes de operación y mantenimiento, alcanzar un correcto funcionamiento sin interrupciones y obtener un producto molido con los requerimientos necesarios para la aplicación a la cual va destinada [5], [9].

En primer lugar, se debe elegir el tipo de molino cuya acción de molienda sea idónea tanto para las características físicas como para el comportamiento de ruptura que va a experimentar dicho material. En este sentido se deben tener en cuenta [5]:

- Tipo de biomasa: propiedades mecánicas y físicas [5].
- Rango de tamaño de partícula a la entrada y a la salida [5].
- Coste o consumo energético de molienda del recurso [5].

Posteriormente, se deben evaluar los factores de operación que puedan influir en la eficiencia del proceso de molienda y determinar los volúmenes de producción para el dimensionamiento del equipo. Los factores a considerar son [5]:

- Posibles impurezas en el material que deterioren el molino [5].
- Costes de inversión y de mantenimiento [5].
- Tiempo y frecuencia de las reparaciones [5].

Por último, para cada tipo de molino, se deben tener en cuenta tanto los rangos de tamaño de partícula admisibles en la entrada como los requerimientos necesarios a la salida. El producto molido presenta diferentes características en función del tipo de molino empleado [5].

2.2. Marco referencial.

2.2.1. La agricultura en Ecuador haciendo énfasis al jengibre.

Ecuador es un país agricultor por excelencia, su geografía y su clima son idóneos para el cultivo de una infinidad de plantas y árboles. El Diario El Universo (2016) en su artículo “La agricultura en el Ecuador” establece que esta es una actividad primaria, consistiendo en la siembra y cultivo de alimentos que pueden ser ingeridos en su estado natural o procesados mediante su industrialización. Este sector permite solventar las necesidades alimentarias del país e incluso ofrecer el excedente al exterior; sin embargo, a pesar de su importancia, no ha tenido un desarrollo adecuado por falta de apoyo a los pequeños agricultores [10].

Para favorecer al desarrollo agrícola del país se han ejecutado planes dirigidos a los productores. El Ministerio de Agricultura Ganadería (MAG, 2016) indica que para aportar a la diversificación y fortalecimiento del sector agrícola se han entregado kits agrícolas a productores, realizándose también estudios de mercados y análisis para la inclusión de nuevos productos como el jengibre entre la oferta exportable. Sin embargo, estos programas aún no han permitido cubrir las necesidades de los productores [10].

Según el Gobierno de la Provincia de Manabí (2017) alrededor del país los productores afrontan problemas como la falta de acceso a financiamiento y otros servicios, además de una limitada inversión debido a ingresos que apenas cubren los costos. Por ello, es importante la diversificación de su oferta inclinándose a cultivos que presenten gran potencial para su oferta y que le generen un retorno significativo que les permita seguir produciendo, evaluándose en este apartado al jengibre. Sumado a estos problemas, también se encuentran aquellos relacionados a los cambios de clima, plagas, enfermedades, errores en la planificación y demás que ponen en riesgo, no sólo la producción de jengibre, sino también la de otros productos agrícolas. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC, 2018) presenta cifras de cultivos que al año se pierden en el agro por estos factores, en ciertos casos evitables con una planificación eficiente [10].

Tabla 1. Cultivos perdidos en Ecuador al año 2017.

Factores	Hectáreas	
	Cantidad	Participación
Sequía	9 324,00	7,01%
Helada	7 493,00	5,64%
Plagas	51 860,00	39,00%
Enfermedades	13 521,00	10,17%
Inundación	20 539,00	15,45%
Otra razón	30 221,00	22,73%
Total	132 959,00	100,00%

FUENTE: G. M. ESPÍN ESTRELLA Y F. R. ZAMBRANO VERDESOTO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

2.2.1.1. Situación de productores de jengibre nacionales.

El jengibre es un producto que se cultiva en zonas específicas que cumplen los parámetros climáticos para un desarrollo adecuado de la raíz. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (2015) éste exige un clima tropical o subtropical, a una altura entre los 400 a 800 m. sobre el nivel del mar y una temperatura de 25 a 30 °C, ganando un tamaño entre 50 a 100 cm de alto. Este clima justifica su cultivo en zonas tanto de la Sierra y Costa ecuatoriana ampliando así el campo de acción de los productores [10].

2.2.1.2. Cultivo y procesamiento.

Dentro de las zonas de producción en el cual se puede cultivar jengibre, atraviesa las siguientes etapas [10]:

- Calificación de la semilla, escogiendo los tubérculos más gruesos para obtener mejor rendimiento. Los trozos de jengibre para siembra son 90 gramos [10].
- Luego se utilizan mesas de cultivos, esperando dos semanas aproximadamente hasta el apareamiento de brotes [10].
- Se procede a desinfectar la semilla con cal o algún otro producto [10].
- El terreno se deshierba y ara para formar los surcos [10].
- Se siembra la semilla con espacio entre 25 cm. a 30 cm. y de surco a surco se debe mantener un metro. Por hectárea es necesario 40 quintales de jengibre [10].

- El control de maleza es mensual, ya sea manual o por fumigación. La fertilización es cada dos meses y el aporque, es decir la realización de un muro de tierra por planta para el desarrollo óptimo del tubérculo, es cada dos o tres meses [10].
- Cuando las lluvias son escasas, se realiza el riego unas dos veces por semana [10].
- En 8 a 9 meses, según los controles, el jengibre estará listo para su cosecha [10].
- El proceso de cosecha se realiza extrayendo la planta desde la raíz, colocando la raíz en gavetas para su posterior lavado a presión [10].
- Se procede a separar el producto para su transformación o comercialización directa [10].

2.2.1.3. Condiciones agroecológicas del cultivo.

Tabla 2. Condiciones agroecológicas del cultivo de jengibre.

Parámetros	Descripción
Precipitación	De 2 000 a 4 000 mm anuales
Temperatura	De 18 a 26 °C promedio anual
Humedad relativa	De 80% a 90% promedio anual
Viento	No afecta
Luminosidad	El jengibre desarrolla muy bien plena luz
Altitud	De 200 a 1 500 m.s.n.m

FUENTE: N. M. VÉLEZ LÓPEZ.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

- **Suelo:** Los mejores suelos para el cultivo del jengibre son aquellos de tipo aluvial, los mismos que deben tener buen drenaje, además, al igual que la mayoría de cultivos requiere que se tenga un buen contenido de materia orgánica [11].
- **Clima:** El jengibre se adapta bien en los suelos cálidos húmedos tropicales.

2.2.1.4. Producción del jengibre en el Ecuador.

El jengibre es un producto que se cultiva en un clima tropical o subtropical, a una altura entre los 400 a 800 m sobre el nivel del mar y a una temperatura de 25 a 30°. Este clima justifica el cultivo de esta raíz tanto la sierra como en la costa ecuatoriana, ampliando el campo de acción de los productores. Según el Ministerio de Cultura y Patrimonio las áreas de producción en Ecuador son [12]:

- Manabí [12].
- Cotopaxi [12].
- Esmeraldas, específicamente el cantón San Lorenzo, Quinindé y La Concordia [12].
- Santo Domingo de los Tsáchilas [12].
- Los Ríos, específicamente en Quevedo y Valencia [12].
- Guayas en el cantón El triunfo [12].
- Pichincha [12].

Las granjas de cultivos de jengibre en el país tienen alrededor de ocho a trece hectáreas, la producción de este producto es de 18 a 20 toneladas métricas por hectárea, es decir, 1.420 a 1.600 cajas de treinta libras por hectárea [12].

En el Ecuador aproximadamente existen más de 100 hectáreas de jengibre, las que producen 160000 cajas de jengibre anuales [12].

El Ecuador posee condiciones climáticas favorables para sembrar y cosechar jengibre durante todo el año, sin embargo, las mejores cosechas del rizoma se dan en los meses de octubre a marzo. La cosecha del jengibre inicia cuando las hojas de las plantas se hayan secado, y se compruebe la madurez del jengibre, esto es entre los 7 y 9 meses del sembrío [12].

2.2.1.5. Variedades del producto.

Existen 5 tipos de jengibre entre los cuales tenemos [12]:

- El Jamaiquino, el jengibre muestra una coloración azulada al ser cortado y a la vez es duro y de baja calidad [12].
- El Asiático el jengibre tiene la coloración amarilla en su pulpa, y es de la mejor calidad [12].
- El Calicut considerado el de más baja calidad [12].
- El Hawaiano, vigoroso y productivo [12].
- La Brasileña que tienen altos rendimientos y contienen un porcentaje elevado de agua [12].

Para distinguir las variedades se usan diferencias en sus características como color externo, rendimiento, color interno, contenido de agua, pungencia y sabor (amargura) (contenido de oleorresina). Algunas de estas diferencias pueden ser reconocidas sólo por análisis de laboratorio [12].

2.2.1.6. Importancia del jengibre como derivado.

Con los rendimientos económicos que se pueden obtener con los derivados del jengibre, los productores actuales de jengibre podrían verse motivados a incrementar sus cultivos, e incluso enfocarse no sólo en derivados como el té, sino también en la fabricación de otros que ya han sido producidos como aceites, bebidas, confitería. Además, los agricultores que se dedican a cultivar otros alimentos podrían ver como una oportunidad la producción de esta raíz, siendo una de las ventajas su ciclo corto de cosecha ubicado entre 8 a 9 meses [12].

Es decir que, en menos de un año, un agricultor podría obtener la inversión realizada en sus cultivos de jengibre [12].

La ventaja de los cultivos de ciclo corto es que brindan un retorno más acelerado de la inversión en comparación a productos como cacao y café que, a pesar de ocupar una extensión considerable de suelo agrícola en Ecuador, los agricultores deben esperar más de un año para la cosecha, limitando su inversión en nuevas plantaciones, contratación de mano de obra y generando otros problemas [12].

El aprovechar este alto potencial que el jengibre ofrece favorecería el desarrollo económico de pequeños productores, incrementaría la demanda de mano obra en todas las etapas desde el cultivo hasta el procesamiento, conociéndose que la agricultura genera un volumen significativo de plazas de trabajo. Montero, Sumba y Salvador (2016) menciona que en Ecuador este sector genera un 25% de las plazas de trabajo en el país, aportando así desarrollo económico y generación de riqueza, especialmente en el sector rural [12].

Sin embargo, en Ecuador continúa existiendo un enfoque hacia productos tradicionales. Los indicadores dicen que nueve productos, entre ellos el banano, café y cacao, ocupan el 46% de la superficie cultivada en el país, distribuyéndose el restante en los categorizados como no tradicionales [12].

2.2.1.7. Industrialización del jengibre.

El Jengibre se cosecha y luego pasa por una serie de etapas básicas para cualquier proceso que se le dé, las cuales son el limpiado eliminando la tierra suelta, el lavado con agua potable y el pelado parcial o completo. El pelado se puede hacer en máquinas abrasivas o en tambores rotatorios. Esta operación debe hacerse con mucho cuidado para no destruir las células que contienen los aceites esenciales [13].

- **Jengibre deshidratado:** El Jengibre deshidratado se obtiene de un proceso de aplicación de calor para reducir el contenido de humedad del rizoma de un 70-75% hasta un 10%. La materia prima puede utilizarse pelada y sin pelar. En la mayoría de los casos se hace una reducción de tamaño antes del secado con el fin de facilitar la eliminación de agua y mejorar la calidad del proceso. Pero también puede secarse entero [13]. El secado puede hacerse con secadores solares o con hornos de aire caliente. Al usar los hornos se tiene un proceso más controlado y el producto final tiene una mejor calidad [13].
- **Extracción de Aceites Esenciales de Jengibre:** La extracción de los aceites esenciales del Jengibre se hace mediante un proceso de destilación con/al vapor de la especia deshidratada (rizomas secos, sin pelar y recién triturados de la planta). El aceite esencial obtenido es de un color amarillo-verdoso, viscoso, difícilmente soluble en alcohol e insoluble en agua. El aceite de jengibre se utiliza ampliamente como sustancia soporífera en diversas bebidas alcohólicas y no alcohólicas. [13].
- **Obtención de Oleorresina:** La oleorresina es el componente que se extrae de la especie molida usando agentes solventes como acetona, alcohol y etileno diclorado. La oleorresina de jengibre se utiliza en panadería, pastelería y como aditivo en muchas clases de productos cárnicos, encurtidos etc. Tiene un empleo considerable en ciertas bebidas y vinos, frecuentemente se mezcla con oleorresina de caspio para mejorar el sabor y el picante de la cerveza [13].
- **Jengibre Preservado:** Para este tipo de producto se utiliza el rizoma verde por contener menor grado de pungencia. Este se mantiene sin pelar y se conserva en jarabe, sometiéndolo a ebullición en jarabes (soluciones concentradas de azúcar) de diferentes concentraciones hasta lograr que se cristalice o que alcance la concentración deseada. [13].

2.2.1.8. Composición química.

Tabla 3. Tabla nutricional del jengibre en gramos.

NUTRIENTES DEL JENGIBRE	UNIDAD	VALOR POR 100 G
GENERALES		
Agua	G	78,89
Energía	Kcal	80
Proteína	G	1,82
Total, de líquidos (grasas)	G	0,75
Fibra	G	2
MINERALES		
Calcio, Ca	Mg	16
Hierro, Fe	Mg	0,6
Magnesio, Mg	Mg	43
Fósforo, P	Mg	34
Potasio, K	Mg	415
VITAMINAS		
Vitamina C	Mg	5
Tiamina	Mg	0,025
Vitamina E	Mg	0,26

FUENTE: L. H. LÓPEZ LOZA Y I. K. CARRANZA GUACHAMBO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Entre los componentes de mayor importancia identificados, se puede señalar: mono y sesquiterpenos, cafeno, β -felandreno, curcumeno, cineol, acetato de geranil, terfineol, terpenos, hay una ligera cantidad de shogaol identificado en tubérculos disecados [13].

2.2.2. Diseño de sistemas mecánicos.

Un sistema mecánico es una unión sinérgica de elementos de máquinas. Es sinérgica porque como diseño representa una idea o un concepto mayor que la suma de las partes individuales. El diseño de sistemas mecánicos requiere flexibilidad considerable y creatividad para obtener buenas soluciones [15].

Para diseñar sistemas mecánicos excelentes, el ingeniero debe tener una cierta disposición y experiencia respecto a los elementos de máquinas. El estudio del diseño y la selección de los elementos de máquina ofrecen una apreciación de las resistencias y limitaciones de los tipos de componentes [15].

El diseño de elementos de sistemas mecánico es un proceso que establece un conjunto de especificaciones técnicas que satisfacen a otro conjunto de requerimientos y restricciones. Desde que aparecen las computadoras y se vislumbra su utilidad en este campo, se convierte en una herramienta indispensable para el cálculo de los elementos y sistemas mecánicos [16].

2.2.2.1. Ejes.

A causa del desarrollo simultáneo de los esfuerzos cortantes torsionales y los esfuerzos flexionantes, el análisis de esfuerzos en un eje implica casi siempre emplear un método de esfuerzos combinados. También pueden desarrollarse esfuerzos cortantes verticales y esfuerzos normales directos, por cargas axiales. Estos esfuerzos pueden dominar en ejes muy cortos, o en porciones del eje donde no existen flexión ni torsión [17].

Los engranes, las poleas, las catarinas y otros elementos sostenidos comúnmente por los ejes, ejercen fuerzas sobre el eje, y causan momentos flexionantes. Lo que sigue es una descripción de los métodos para calcular esas fuerzas en algunos casos. En general, tendrá que aplicar los principios de estática y de dinámica para calcular las fuerzas sobre determinado elemento en particular [17].

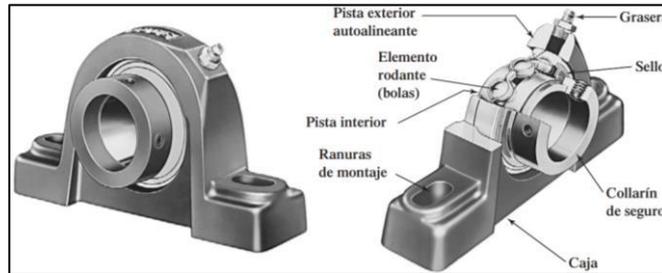
2.2.2.2. Chumacera o cojinete montado.

En muchos tipos de maquinaria pesada, y en maquinarias especiales producidas en pequeñas cantidades, se seleccionan chumaceras (rodamientos montados), y no rodamientos sueltos. Las chumaceras proporcionan un medio de sujetar la unidad del rodamiento en forma directa al armazón de la máquina, con tornillos, y sin introducirlos en un hueco maquinado de una caja, como se requiere en el caso de los rodamientos no montados [17].

Los fabricantes definen un parámetro de carga-vida, con base en la carga a la que se espera que el 90% de un lote de cojinetes sobrevivan a 1 millón de revoluciones de la pista interior [18].

Este y otros datos suministrados por los fabricantes sirven para calcular la vida proyectada de un cojinete específico, bajo las condiciones dadas de carga y velocidad de la aplicación. Las compañías de cojinetes ofrecen asistencia para la selección del cojinete adecuado en cualquier aplicación [18].

Figura 6. Chumacera con rodamiento de bolas, también llamado cojinete montado.



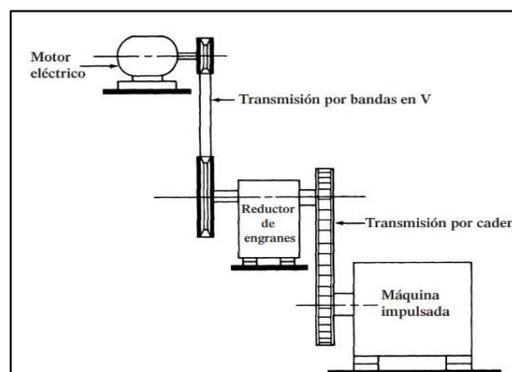
FUENTE: R. L. MOTT

La Figura 6 muestra la configuración más común de un rodamiento montado: es la caja de chumacera. La caja se fabrica con acero moldeado, hierro colado o acero colado; con orificios o ranuras para su fijación durante el ensamblado de la máquina, en cuyo momento se ajusta el alineamiento de la chumacera [17].

2.2.2.3. Sistema de transmisión por bandas y cadenas.

Las bandas y las cadenas representan los principales tipos de elementos flexibles para transmisión de potencia. La Figura 7 muestra una aplicación industrial típica de estos elementos, combinados con un reductor de velocidad con engranes. Esta aplicación ilustra dónde se usan las bandas, engranes y cadenas, con el mayor provecho [17].

Figura 7. Combinación de bandas en V, un reductor y un sistema de transmisión por cadenas.

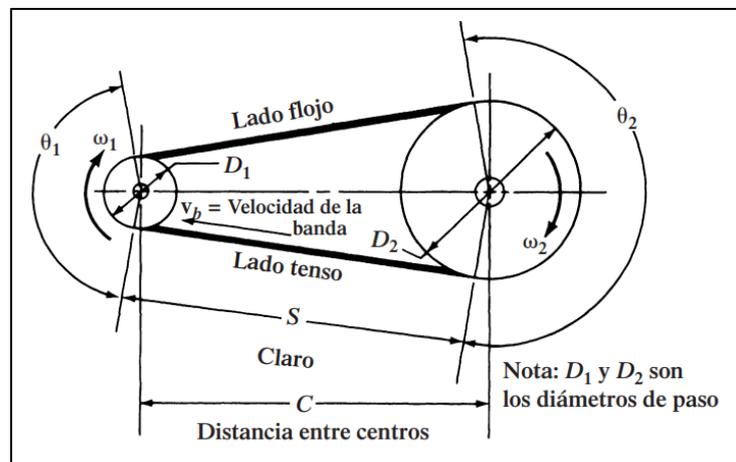


FUENTE: R. L. MOTT.

En general, se aplican las transmisiones por bandas cuando las velocidades de rotación son relativamente altas, como en la primera etapa de reducción de la velocidad de un motor eléctrico o de combustión. La velocidad lineal de una banda es de unos 2 500 a 6 500 pies/min (762 a 1 980 m/min), lo cual da como resultado fuerzas de tensión relativamente pequeñas en la banda. A menores velocidades, la tensión en la banda se vuelve demasiado grande para las secciones transversales típicas en las bandas, y puede haber deslizamiento entre los lados de las bandas y las ranuras de las poleas que la conduce [17].

2.2.2.4. Transmisión por bandas.

Figura 8. Geometría básica de una transmisión por bandas.



FUENTE: R. L. MOTT.

Una banda es un elemento flexible de transmisión de potencia que asienta firmemente en un conjunto de poleas o poleas acanaladas. La banda se instala al colocarlas alrededor de las dos poleas y se pone la banda en una tensión inicial bastante alta [17].

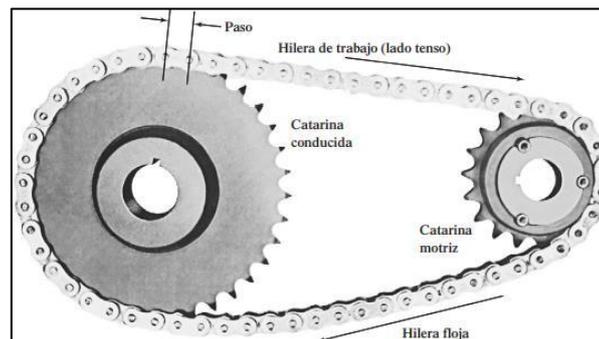
A continuación, se separan las poleas y se pone la banda en una tensión inicial bastante alta. Cuando la banda transmite la potencia, la fricción hace que se agarre a la polea impulsora, e incrementa la tensión en un lado, que es el “lado tenso” de la transmisión [17].

La fuerza de tensión en la banda ejerce una fuerza tangencial en la polea conducida, con lo que se aplica par torsional al eje conducido. El lado contrario de la banda se encuentra todavía en tensión, pero con un valor menor. Por tanto, se dice que es el “lado flojo”. La Figura 8 muestra la distribución básica [17].

2.2.2.5. Transmisión por cadenas.

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia formado por una serie de eslabones unidos con pernos. Este diseño permite tener flexibilidad, y permite además que la cadena transmita grandes fuerzas de tensión. Cuando se transmite potencia entre ejes giratorios, la cadena entra en ruedas dentadas correspondientes llamadas catarinas. La Figura 9 muestra una transmisión típica de cadena [17].

Figura 9. Transmisión por cadena de rodillos.

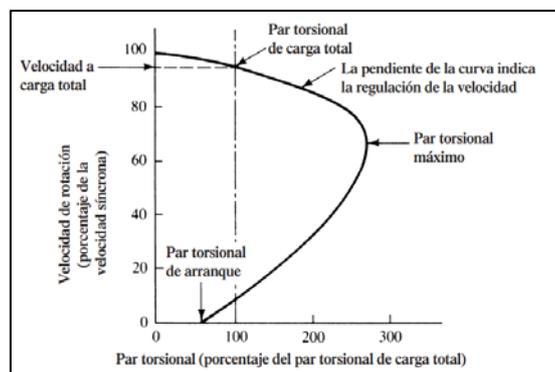


FUENTE: R. L. MOTT.

2.2.3. Motor eléctrico y controles.

El motor eléctrico se usa mucho para proporcionar el accionamiento primario a maquinaria industrial, productos de consumo y equipo de oficinas. En la Figura 10 el eje vertical es la velocidad de giro del motor, como un porcentaje de la velocidad síncrona. El eje horizontal es el par torsional que desarrolla el motor, como un porcentaje de la carga máxima, o par torsional nominal. Cuando ejerce su par torsional de carga máxima, el motor trabaja en su velocidad de plena carga, y entrega la potencia nominal [17].

Figura 10. Forma general de la curva de operación de un motor.

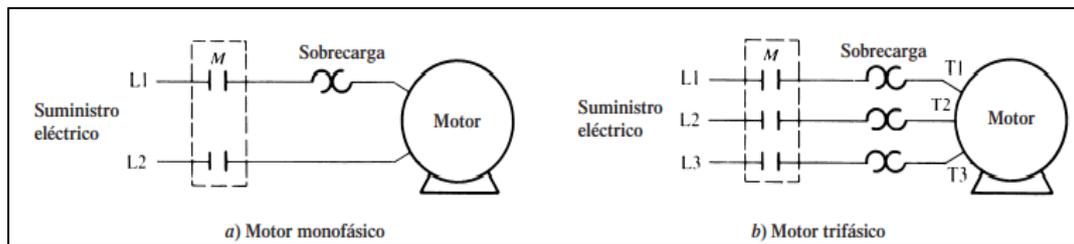


FUENTE: R. L. MOTT.

- **Arrancadores y controladores:** Existen varias clasificaciones para los arrancadores de motores: manuales o magnéticos, unidireccionales o reversibles, control con dos o tres alambres, arranque a total voltaje o voltaje reducido, una o varias velocidades, paro normal, con freno o regenerativo. Todos ellos suelen incluir alguna forma de protección contra la sobrecarga [17].

2.2.3.1. Arranque manual y magnético en motores monofásicos y trifásicos.

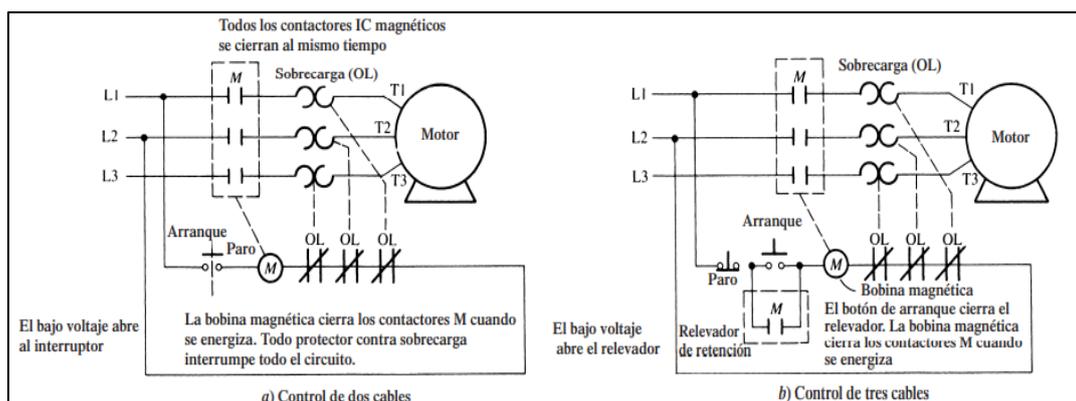
Figura 11. Arrancadores manuales.



FUENTE: R. L. MOTT.

La Figura 11 muestra el diagrama esquemático de conexiones para los arrancadores manuales de motores monofásicos y trifásicos. El símbolo M indica un contactor (interruptor) normalmente abierto, que se acciona manualmente, por ejemplo, con una palanca. La capacidad de los contactores se conoce por la potencia del motor que pueden manejar con seguridad [17].

Figura 12. Arrancadores magnéticos para motores trifásicos.



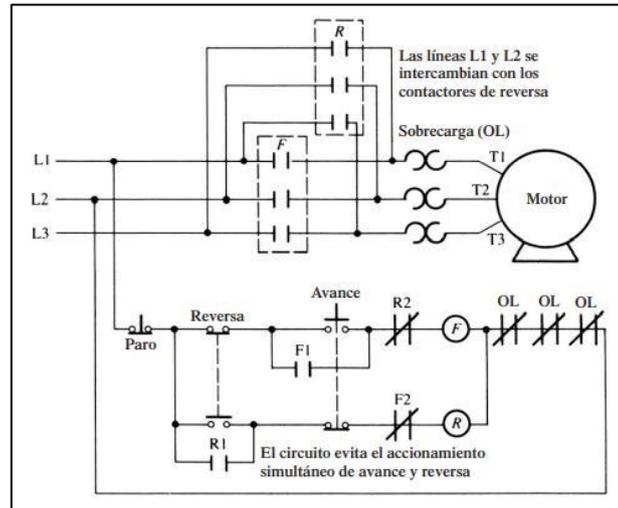
FUENTE: R. L. MOTT.

La Figura 12 muestra los diagramas de conexiones para arrancadores magnéticos con controles con dos y tres cables. El botón de “arranque” en el control de tres cables es del tipo de contacto momentáneo [17].

Al accionarlo en forma manual, se energiza la bobina en paralelo con el interruptor y cierra magnéticamente los contactores de línea identificados con M. Esos contactos permanecen cerrados hasta que se oprime el botón de paro o hasta que el voltaje de línea disminuye hasta un valor bajo establecido [17].

2.2.3.2. Arrancadores reversibles.

Figura 13. Control reversible para un motor trifásico.



FUENTE: R. L. MOTT.

La Figura 13 muestra la conexión de un arrancador reversible de motor trifásico. Puede invertir la rotación de esos motores trifásicos al intercambiar dos conductores cualquiera de las tres líneas de potencia. Los contactores F se usan para la dirección de avance. Los contactores R intercambiarían L1 y L3 para invertir la dirección. Los botones Avance y Reversa sólo accionan uno de los conjuntos de contacto [17].

2.2.3.3. Paro del motor.

Cuando no existen condiciones especiales de paro para el sistema, se puede permitir que el motor gire hasta pararse, después de interrumpir la corriente. El tiempo necesario para pararse dependerá de la inercia y de la fricción en el sistema. Si se requiere un paro controlado y rápido, se pueden usar frenos externos. Cuando se desea parar el motor que trabaja en la dirección de avance, el control se puede cambiar de inmediato a reversa. Entonces, se produciría un par torsional de desaceleración aplicado al rotor, parándolo con rapidez. Se debe tener cuidado para desconectar el circuito de reversa cuando el motor está parado, para evitar que comience a moverse en reversa [17].

2.2.3.4. Protección contra sobrecarga.

La causa principal de fallas en los motores eléctricos es el sobrecalentamiento de los devanados, debido al exceso de corriente. La corriente depende de la carga en el motor. Naturalmente, un cortocircuito causaría una gran corriente, virtualmente instantánea, de valor perjudicial, Se puede dar protección contra un cortocircuito mediante un fusible, pero es esencial la cuidadosa aplicación de ellos [17].

Un fusible contiene un elemento que literalmente se funde cuando pasa por él determinado valor de corriente. Al fundirse, el circuito se abre. Para reactivar el circuito se requiere cambiar el fusible. Los fusibles son inadecuados para los motores más grandes o más críticos [17].

2.2.4. Fundamentos de diseño.

Determinados diseños requieren además conocimientos de mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, controles eléctricos, y procesos químicos. Naturalmente, todos estos son campos específicos que precisan de técnicos calificados en cada área de conocimiento [19].

Los diseñadores utilizan un amplio rango de técnicas y conocimientos en su trabajo diario, incluidas las siguientes [19]:

- Dibujo [19].
- Procesos de fabricación [19].
- Resistencia de materiales [19].
- Cinemática [19].
- Diseño de elementos de máquinas [19].
- Estática [19].
- Dinámica [19].
- Conocimiento de materiales [19].
- Termodinámica [19].
- Dinámica de fluidos [19].
- Mecanismos [19].
- Diseño mecánico [19].

2.2.5. Consideraciones fundamentales de diseño.

2.2.5.1. Seguridad en el diseño mecánico.

Las doctrinas legales modernas no demandan la muerte de los fabricantes de productos inseguros o la de los ingenieros que los diseñan [20].

Está disponible un número de conceptos fundamentales y herramientas para asistirles al cumplimiento de este reto, estos son [15]:

- Factor de seguridad: Podemos definir factor de seguridad, como un número (mayor que la unidad y con un solo decimal), que nos permite cubrir cierta incertidumbre producida en un diseño, debido a: Errores en el modelo matemático, Teoría de falla utilizadas, características de los materiales utilizados [21].
- Modos de falla y análisis de efectos y árbol de fallas: Algunas herramientas comunes, disponibles para los ingenieros de diseño, son los modos de falla y el análisis de efecto (FMEA por sus siglas en inglés) y el análisis del árbol de fallas [15].
- Redistribución de carga, redundancia, seguridad contra fallas y la doctrina peligro manifiesto: Un beneficio potencial de los modos de falla y del análisis de efecto de las fallas es que motivan al ingeniero de diseño a pensar en minimizar los efectos de las fallas de los componentes individuales [15].
- Confiabilidad: La confiabilidad se puede entender como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos del ciclo de vida y la seguridad de un producto [22].

2.2.5.2. Códigos gubernamentales y normas de la industria.

El ingeniero de diseño detallado es el responsable final del diseño del equipo de proceso. Es él quien diseña el equipo para satisfacer los requisitos físicos, mecánicos y de proceso de acuerdo con la construcción aplicable, aseguramiento, seguridad y códigos nacionales, así como como las regulaciones gubernamentales [23].

A su vez, es el responsable, de la aprobación o denegación final del trabajo por debajo de las normas y de las desviaciones de diseños y especificaciones aplicables [15].

En muchos casos los ingenieros deben confiar en los códigos gubernamentales y en las normas promulgadas por la industria para el criterio de diseño. Algunas fuentes más comunes de las normas de la industria son [15]:

1. ANSI, el American National Standards Institute [15].
2. ASME, la American Society of Mechanical Engineers [15].
3. ASTM, la American Society for Testing and Materials [15].
4. AGMA, la American Gear Manufacturers Association [15].
5. AISI, el American Iron and Steel Institute [15].
6. AISC, el American Institute of Steel Construction [15].
7. ISO, la International Standards Organization [15].

2.2.5.3. Manufactura.

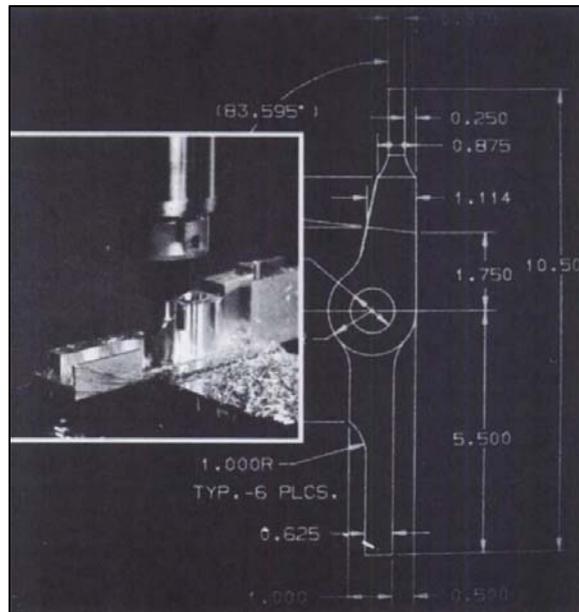
El proceso de diseño es finalizado con la culminación de las pruebas de calificación, con un comportamiento aceptable del prototipo. Es posible que el proceso de producción deba ser modificado para la elaboración del producto en serie. En esta fase se deben establecer controles de calidad en la producción, pues podría ser necesario el uso de patrones de diseño para una certificación dimensional. El diseño y la manufactura son difíciles de considerar por separado. El principio de “la forma sigue a la función” sugiere que las formas se derivan sólo de las cargas aplicadas en el ambiente del diseño [24].

El diseño para la fabricación (DFM por sus siglas en inglés) es una herramienta bien establecida y necesaria para los ingenieros de diseño. La manufactura tiene una enorme función en el éxito de los productos comerciales. Después de todo, un concepto brillante que no se puede fabricar no puede ser un diseño. Los ingenieros deben considerar muchas cosas. Algunas de las preocupaciones de un ingeniero de diseño, incluyen [15]:

- Diseño medio ambiental [15].
- Economía [15].
- Consideraciones legales [15].
- Comercialización [15].
- Utilidad [15].
- Calidad [15].

2.2.6. Las computadoras en el diseño.

Figura 14. La aplicación del CAD - CAM en la ingeniería.



FUENTE: R. FERRÉ MASIP.

El CAD para diseño mecánico es de los que requiere un software más completo, para trabajar en modelos de 3D, de gran precisión, y por la complejidad de cálculos y simulaciones necesarias para optimizar diseños [26].

La gran industria mecánica fue una de las pioneras del CAD; varios de los paquetes de software de más amplia difusión tuvieron su origen en los desarrollos efectuados por las empresas aeronáuticas europeas y americanas [26].

La aplicación del diseño por ordenador ha propiciado dos grandes tendencias en la operativa de las ingenierías mecánicas [26]:

- Desplazar el peso de las fases de experimentación y documentación, tradicionalmente las más costosas en dinero y tiempo, potenciando enormemente las fases de estudio, cálculo y simulación sobre modelos teóricos. En consecuencia, se exige a los proyectistas una formación básica tecnológica más elevada en materiales, dinámica de sistemas, análisis estructural y modelado [26].
- Unificar en grupos de trabajo conjunto las funciones de ingeniería del producto e ingeniería del proceso o de fabricación, optimizando el ciclo completo de diseño-fabricación [26].

Sin duda alguna la herramienta más avanzada para ayudar a los diseñadores es la utilización de este tipo de sistemas. Es conveniente mencionar que, aunque los programas o software de CAD/CAM pertenecen al grupo catalogado como programas de gráficos, hay características especiales que los separan; podemos mencionar entre ellas, exactitud y precisión, automatización, dibujos a escala real, geometría coordinada y desplegado de vectores gráficos [27].

2.2.7. Propiedades de los aceros que constituirán el equipo.

2.2.7.1. Acero inoxidable AISI 304.

El acero inoxidable estándar que se emplea para elaborar la maquinaria para alimentación es el acero inoxidable grado AISI-304. Este mezclado de una aleación de acero, cromo, níquel y manganeso. Este prototipo de aceros inoxidables se les llama austeníticos y una de las propiedades es que no se pegan los imanes y son altamente resistentes a la corrosión [28].

El acabado del acero inoxidable incrementa su resistencia a la corrosión, por esto normalmente el acero inoxidable se conoce como pulido espejo. El acero inoxidable es importante en este sector por las características [28]:

- Elevado aguante a la corrosión [28].
- Elevada resistencia a temperaturas [28].
- Excelente capacidad de limpieza y las bacterias no se acumulan [28].
- Resistente a la oxidación [28].

Tabla 4. Composición química del acero AISI 304.

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 – 0,08	0 - 1	0 - 2	0 – 0,045	0 – 0,03	8 – 10,5	18 – 20

FUENTE: DIPAC.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Existen otros tipos de aceros que se utilizan en la industria alimenticia es grado AISI-316. Este acero tiene algo menos de gramos de cromo y más níquel. Debido a que su composición es más elevada a ácidos, sales y ambientes húmedos. Este acero tiene un precio mucho más alto, pero es considerado de gran calidad [28].

El acero inoxidable en la industria alimentaria reúne todos los requisitos necesarios para garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad alimentaria [28]

Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero AISI 304.

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación %Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

FUENTE: DIPAC.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

2.2.7.2. Acero estructural ASTM A36.

Son utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas y atornilladas para la construcción industrial y civil, así como para la construcción de puentes [29].

El acero laminado ASTM A36 también se utiliza en la fabricación de artículos y piezas para usos generales del sector de la construcción y la ingeniería. Admite muy bien la soldadura [29].

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

PROPIEDADES MECÁNICAS		
RESISTENCIA MECÁNICA (MPa)	PUNTO DE FLUENCIA (MPa)	Elongación %Min
250	400 - 550	20

FUENTE: METINVEST.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Tabla 7. Composición química del acero ASTM A36.

COMPOSICIÓN QUÍMICA					
C	Si	Mn	S	P	Cu
≤ 0,25	≤ 0,40	~	≤ 0,05	≤ 0,04	≥ 0,20

FUENTE: METINVEST.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

2.2.8. Seguridad en el diseño y la fabricación de máquinas agrícolas aplicadas al diseño de un molino triturador de jengibre.

2.2.8.1. Requisitos genéricos de seguridad para máquinas agrícolas.

- Establece la necesidad de declarar; en la información que recibe el usuario, la indicación del nivel sonoro y vibraciones en las condiciones de trabajo [30].
- Establece un espacio mínimo de separación entre mandos y partes fijas de la máquina (min. 50 mm para palancas que se deben de accionar con fuerza; min. 25 mm, si la fuerza es menor) [30].
- Establecer un espacio de separación entre el operario y la máquina de al menos 200 mm [30].
- Medios de acceso seguros para operadores en cualquier posición a más de 550 mm del suelo [30].

2.2.8.2. Protección contra peligros de origen mecánico.

- Todos los elementos móviles de transmisión de potencia deben de estar alejados o protegidos para evitar cualquier riesgo de contacto [30].
- En elementos de acceso frecuente se utilizaran resguardos que requieran una herramienta para su apertura, solidarios con la máquina (bisagras) y de enclavamiento automático al cierre (sin herramientas) [30].
- Obligatoriedad de pictograma sobre el resguardo [30].
- Otras alternativas: resguardos móviles que no puedan abrirse mientras funciona la máquina [30].

2.2.8.3. Soportes para servicio de conservación y mantenimiento.

- Accionamiento desde fuera de la zona de peligro [30].

2.2.8.4. Protecciones contra otros peligros.

- Equipo eléctrico: contacto y abrasión de los cables, malas conexiones, compatibilidad electromagnética [30].
- Servicio y mantenimiento: suministro de herramientas especiales con la máquina si son necesarias (explicar su utilización en el manual de la máquina) [30].

2.2.8.5. Servicio y mantenimiento.

- Obligatoriedad de que las operaciones de servicio y mantenimiento recomendadas por el fabricante se hagan con motor parado; si esto no es técnicamente posible, indicar la forma de operar para evitar el contacto con los elementos móviles [30].
- Facilitar el acceso a elementos que precisen mantenimiento frecuente [30].
- Puertas y resguardo con charnelas: dispositivos que permitan fijarlos en posición abierta (resortes, picaportes, etc.); si se abren hacia abajo basta con la fuerza de la gravedad [30].

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El presente proyecto de investigación se desarrolla en la zona de planificación 5, que abarca las provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena, Bolívar y el Régimen Especial de Galápagos. El objetivo principal es beneficiar a todos los agricultores que conforman esta zona y que además se dediquen al cultivo de jengibre.

Figura 15. Ubicación geográfica de la zona de planificación 5.



FUENTE: GOOGLE MAPS.

3.2. Tipos de investigación.

3.2.1. Investigación descriptiva.

Se aplicó la investigación descriptiva en el presente proyecto para poder responder todas las preguntas planteadas en la sistematización del problema, obteniendo a detalle la descripción del mismo y de esta forma poder conocer a fondo las temáticas expuestas.

3.2.2. Investigación de campo.

A través de esta investigación se pretende recopilar información usando el método de observación.

3.2.3. Investigación bibliográfica.

Abarca conceptos del marco teórico y pretende explicar a detalle lo necesario para poder complementar correctamente los resultados; buscando exclusivamente en libros, páginas web donde tengan artículos científicos y tesis.

3.3. Tipos de métodos de investigación.

3.3.1. Método analítico.

En este método se obtendrá información a través de páginas web para conocer las limitaciones que tienen los agricultores al momento de procesar el jengibre; además de obtener una conclusión de la viabilidad del proyecto.

3.3.3. Método científico.

Este apartado servirá para plantear la problemática y los objetivos, siendo usado como una guía principal para la realización de todo el proyecto de investigación; ayudando a la organización, procesamiento, análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

3.3.3. Método experimental.

En el método experimental se tratará de manejar los datos de los distintos molinos trituradores existentes, para definir sus características y a través del método de ponderación, finalmente seleccionar un tipo y proceder al dimensionamiento.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

3.4.1. Fuentes primarias.

Esta sección se utilizó para recopilar información directamente de lugares dedicados a la fabricación de molinos dentro de la ciudad, donde se puede conocer la mejor alternativa de diseño y las partes que lo componen.

3.4.2. Fuentes secundarias.

Las fuentes secundarias utilizadas en la presente investigación son: páginas web, libros, artículos científicos, proyectos de investigación, extrayendo información relevante que ayude con la solución del problema.

3.5. Diseño en la investigación.

El diseño de investigación considerada en el presente trabajo está basado en metodologías usadas en grandes industrias al momento de diseñar un producto considerando conceptos de ingeniería fundamentales, el modelo consiste en 4 pasos que va desde la toma de decisiones hasta el diseño final, las cuales se detallaran a continuación:

- Definir especificaciones: Identificar los requisitos del problema, definir las funciones del dispositivo, indicar los requisitos de diseño y definir los criterios de evaluación.
- Crear los conceptos de diseño: Proponer varios conceptos de diseño alternativo, evaluar cada alternativa propuesta, validar cada alternativa de acuerdo con cada criterio de evaluación.
- Toma de decisiones: Seleccionar el concepto de diseño óptimo.
- Diseño detallado: Completar el diseño detallado del concepto seleccionado.

Cada etapa es desarrollada de forma secuencial, desplegando diversas alternativas para la solución y evaluación de todos los parámetros existentes en el diseño y dimensionamiento de un molino triturador de jengibre.

3.6. Instrumentos de investigación.

Como instrumento empleado en la investigación se utilizó la observación, mediante la visita a diversos talleres industriales dedicados a la manufactura de molinos, logrando conocer las diferencias que tienen cada equipo y así asignar valores a la tabla de criterios ponderados desarrollada en el Capítulo 4.

3.7. Tratamiento de datos.

Los softwares utilizados para el tratamiento de datos dentro del proceso investigativo fueron los siguientes:

- Microsoft Word Professional Plus 2019.
- Microsoft Excel Professional Plus 2019
- SolidWorks 2021 versión educativa.
- SAP 2000 versión educativa.

- MDSolids 4.0.
- AutoCAD versión educativa.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Equipos de oficina.

- Carpetas.
- Pendrive.
- Laptop.
- Impresora.
- Esferos.
- Cuadernos.
- Calculadora.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de selección según diversas características.

Para poder seleccionar un molino que pueda triturar efectivamente el jengibre, primero se deberá considerar ciertas características que permitirán escoger adecuadamente un equipo, estos parámetros a considerar son:

- Calidad de molienda.
- Contaminación debido a la oxidación del material triturador.
- Distancia mínima de operación.
- Costos empleados en la manufactura.
- Facilidad de mantenimiento.

4.1.1. Criterio A: Calidad de la molienda.

Para que la materia prima tenga una excelente calidad de molienda, se deberá tener un control de las partículas que salen del equipo, para que así se puedan adaptar a los requerimientos de los usuarios.

4.1.2. Criterio B: Contaminación debido a la oxidación del material triturador.

La materia prima al ingresar al molino estará en contacto con algunas partes del equipo, en donde se tendrá que garantizar el uso de aceros inoxidable de grado alimenticio, evitando la contaminación por oxidación. El material utilizado es el Acero Inoxidable AISI 304.

4.1.3. Criterio C: Distancia mínima de operación.

La distancia mínima que el operario requiere para poder insertar el jengibre a la tolva del molino es de 20 cm y así evitar accidentes laborales.

4.1.4. Criterio D: Costos empleados en la manufactura.

Los costos empleados para la fabricación del molino deberán ser los más reducidos posibles, cabe recordar que el equipo está pensado únicamente para los pequeños agricultores, dedicados a la molienda del jengibre en la zona de planificación 5 del Ecuador.

4.1.5. Criterio E: Facilidad de mantenimiento.

El molino deberá estar diseñado de tal manera que se pueda permitir mantenimientos preventivos y periódicos de una manera fácil y rápida, disminuyendo así los tiempos muertos.

4.2. Método de criterios ponderados para la selección del molino.

El método de criterios ponderados es una técnica de selección que toma en cuenta factores cuantitativos y cualitativos. La comparación de características versus las alternativas basadas en diseños existentes (molinos), permitirán seleccionar la opción más adecuada del resto.

Tabla 8. Matriz de criterios ponderados.

	Ponderación	Molino de rodillos	Molino de martillos	Molino de bolas
Criterio A	10	10	10	10
Criterio B	10	7	9	8
Criterio C	10	8	10	8
Criterio D	10	9	10	9
Criterio E	10	8	10	10
TOTAL		42	49	45

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABRADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Los valores asignados a la matriz de ponderación de la Tabla 8 fueron asignados en base a la investigación de campo, visitando varios talleres de la ciudad dedicados a la fabricación de los molinos considerados. En el Anexo 3 se puede observar el proceso de investigación de campo a una empresa dedicada a la fabricación de maquinaria industrial.

4.3. Diseño y selección del molino triturador de jengibre.

El molino a usarse en el presente proyecto de investigación según el criterio de ponderación es el molino de martillos, destacando entre el molino de rodillos y el molino de bolas, siendo el más óptimo y el que mejor adapta a las necesidades económicas de los agricultores.

Los valores asignados en la Tabla 8 fueron consultados a diversas empresas dedicadas a la fabricación de los equipos considerados en la matriz de criterios ponderados.

4.4. Parámetros de diseño de un molino de martillos.

El objetivo principal del proyecto es generar un diseño que permita la trituración del jengibre para poder usarse en aplicaciones farmacéuticas, mediante la fabricación de medicamentos. Pero, antes de eso se necesitará pasar por un proceso de ingeniería encargado en la validación de todas las partes que conforman la máquina, mediante análisis matemático y luego comprobar los resultados mediante un software CAD/CAE (para este estudio se utilizará SOLIDWORKS). Las partes más importantes a analizar son precisamente las que realizan el trabajo de trituración, el cual se menciona a continuación:

- Martillos.
- Disco.
- Eje secundario.
- Eje principal.

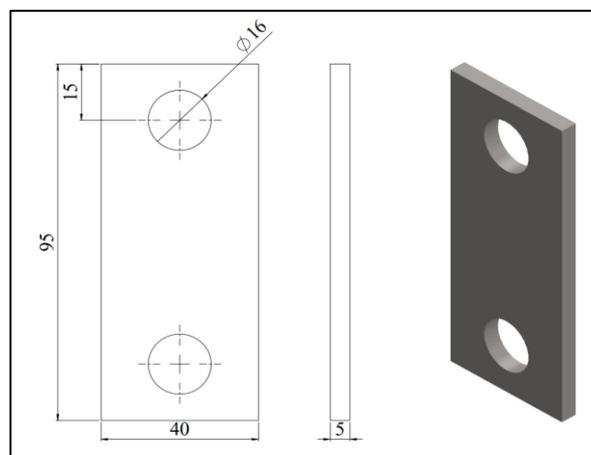
Además, se piensa validar elementos adicionales, tales como:

- Carcaza.
- Tolva.

En el Anexo 4 se muestran las vistas generales del diseño conceptual del molino sacado del software CAD SolidWorks.

4.4.1. Diseño de los martillos.

Figura 16. Dimensiones asignadas a los martillos.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Las dimensiones asignadas en el proceso de pre - dimensionamiento a los martillos se muestran en la Figura 16, las cuales servirán para validar si el elemento resistirá los impactos que tendrá con el producto.

Los martillos es la parte principal de la máquina, gracias a ellos se puede efectuar el proceso de molienda, ya que la materia prima colisiona con ellos al momento de ser ingresada a la máquina. De ellos dependerá cual será el tamaño del producto en proceso.

Las condiciones en operación son las que más interesan en este estudio, pues los valores que se encontrarán serán los que permitirán validar los diferentes elementos dentro de la máquina.

Según diversos criterios experimentales y empíricos se comprobó que un molino de martillos permite efectuar el proceso de molienda de manera óptima si la velocidad angular del sistema se encuentra dentro de los 2000 – 3000 rpm. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se tomará un valor de 2500 rpm como velocidad de rotación del eje principal.

$$\omega = 2500 \text{ rpm} = 261,80 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

4.4.1.1. Radio de giro.

Para romper el tubérculo de jengibre dentro del molino se necesita una energía mínima de ruptura (E_{ruptura}), para encontrar dicho valor se deberá usar un modelo experimental que consiste en dejar caer un objeto desde una altura conocida, haciendo que la materia prima se fragmente.

Se usará una masa de objeto (m_{objeto}) de 0,15 kg y se la lanzará desde diversas alturas (h_{exp}), encontrándose que a una distancia de 20 cm el producto se tritura. La energía necesaria de fragmentación es la energía potencial que la masa del objeto gana al dejarse caer por gravedad, expresándose de la siguiente manera:

$$E_{\text{ruptura}} = m_{\text{objeto}} * g * h_{\text{exp}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En el borde del martillo que colisiona con el producto a moles se presenta una velocidad tangencial el cual es transmitido hacia el jengibre, para encontrar dicha velocidad se tiene la ecuación de energía de ruptura expresada a continuación:

$$E_{ruptura} = \frac{1}{2} m_{jengibre} * v_t^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Igualando la (Ecuación 1 y la (Ecuación 2:

$$m_{objeto} * g * h_{exp} = \frac{1}{2} m_{grano} * v_t^2$$

$$v_t^2 = \frac{2 * m_{objeto} * g * h_{exp}}{m_{grano}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * m_{objeto} * g * h_{exp}}{m_{jengibre}}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

v_t = Velocidad tangencial del martillo.

m_{objeto} = Masa del objeto a lanzarse.

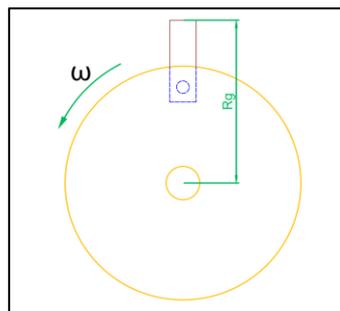
g = gravedad.

h_{exp} = Altura de lanzamiento experimental.

m_{grano} = Masa del jengibre.

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * (0,15 \text{ Kg}) * \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0,20 \text{ m})}{0,033 \text{ Kg}}} = 4,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Figura 17. Radio de giro del molino.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Además, la velocidad tangencial deberá ser calculada en base a la velocidad angular de operación (R_g) y el radio de giro (Véase la Figura 17).

$$v_t = \frac{\omega * 2\pi * R_g}{60} \quad (\text{Ecuación 4})$$

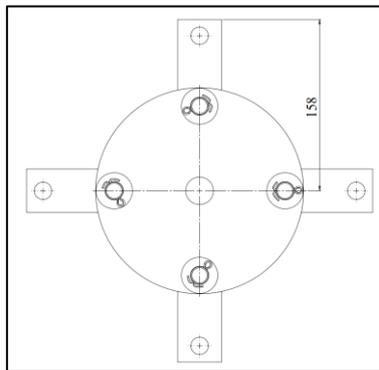
Despejando R_g , se encuentra la siguiente expresión:

$$R_g = \frac{60 * v_t}{\omega * 2\pi} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Despejando, da como resultado:

$$R_g = \frac{60 * 4,22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(261,80 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) * 2\pi}$$
$$R_g = 153,93 \text{ mm}$$

Figura 18. Radio de giro asimilado en el proceso de pre - dimensionamiento.

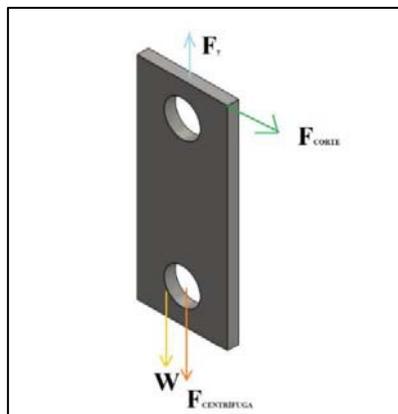


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El radio de giro mínimo es de 153,93 mm, pero se considerará los 158 mm determinados en el pre – dimensionamiento de la máquina.

4.4.1.2. Análisis de fuerzas presentes en el martillo.

Figura 19. Fuerzas que actúan en el martillo.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

En la Figura 19 se puede apreciar todas las fuerzas que actúan sobre el martillo, analizando la situación el elemento está sometido a un esfuerzo de tensión, debido a la acción de la fuerza centrífuga y el peso del martillo, el esfuerzo viene dado por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F_y}{A_{\text{influencia}}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

σ = Esfuerzo de tracción.

F_y = Carga de tracción.

$A_{\text{influencia}}$ = Área de influencia de la carga de tracción.

Según la Figura 19 la carga de tracción F_y es igual a la suma del peso del martillo, multiplicado por la fuerza centrífuga debido al giro del elemento.

$$F_y = F_{\text{centrífuga}} + W_{\text{martillo}}$$

Reemplazando:

$$F_y = [\omega^2 * m_{\text{martillo}} * (L - x)] + [m_{\text{martillo}} * g] \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

ω = Velocidad angular.

m_{martillo} = Masa del martillo.

L = Longitud del martillo.

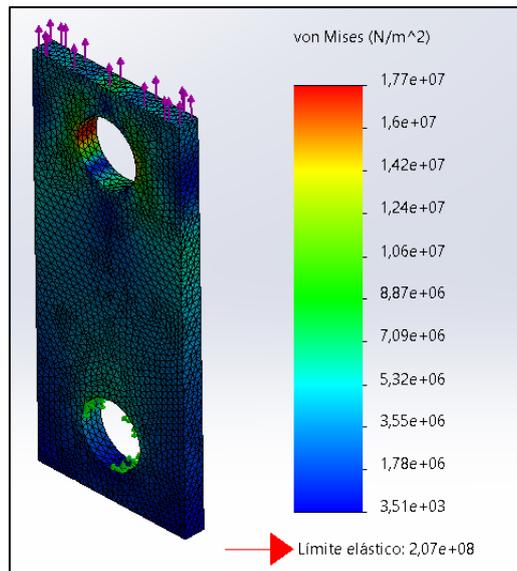
x = separación de los agujeros con respecto a la cara transversal del martillo.

$$F_y = \left[\left(261,80 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2 * (0,1359 \text{ Kg}) * (0,095 \text{ m} - 0,015 \text{ m}) \right] + \left[0,1359 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F_y = 745,16 \text{ N} + 1,33 \text{ N}$$

$$F_y = 746,49 \text{ N}$$

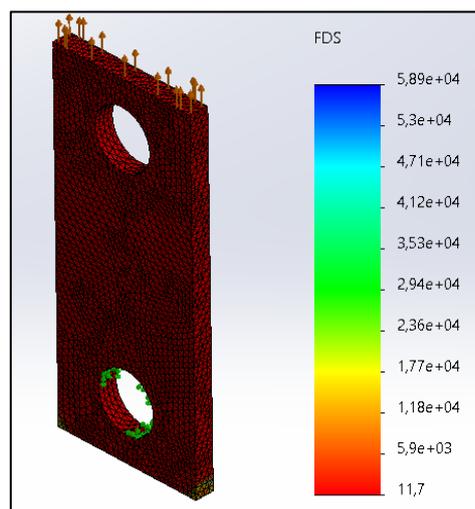
Figura 20. Análisis de esfuerzos mediante el criterio de fallos de Von Mises de los martillos.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Para determinar si efectivamente el valor de esfuerzo encontrado manualmente son los correctos, se procedió dar uso de análisis CAE. El factor de seguridad, está en función de las propiedades de material, se usó un acero AISI 304, cuyo esfuerzo de fluencia es de 206,80 MPa.

Figura 21. Factor de seguridad de los martillos.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El factor de seguridad que está resistiendo el martillo a la carga F_y es igual a 11,7, cuyo valor está dentro del rango establecido en resistencia de materiales.

4.4.1.3. Cálculo del número de martillos del molino.

El número de martillos a seleccionarse está relacionado con ciertos factores encontrados en pasos anteriores, tales como: capacidad del molino, revoluciones por minuto y el grado de trituración del jengibre. Se necesita saber cuál será la cantidad de jengibres que se triturará, según la capacidad establecida de 200 Kg/h, lo cual se determinó el número de tubérculos por cada kilogramo. Las dimensiones generales del jengibre son muy variadas y depende de diversos factores de crecimiento (temperatura, humedad, etc), es por eso que se pudo determinar una masa promedio por trozo de jengibre de 33 gramos, teniendo el siguiente valor:

$$C_{\text{trituración 1}} = 200 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ Jengibre}}{0,033 \text{ Kg}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 303,03 \frac{\text{Jengibre}}{\text{min}}$$

$$C_{\text{trituración 2}} = \frac{C_{\text{trituración 1}}}{\omega} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$C_{\text{trituración 1}}$ = Capacidad de trituración en función de jengibres triturados por minutos.

$C_{\text{trituración 2}}$ = Capacidad de trituración en función de jengibres triturados por revolución.

$$C_{\text{trituración 2}} = \frac{303,03 \frac{\text{Jengibre}}{\text{min}}}{2500 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$C_{\text{trituración 2}} = 0,12 \frac{\text{Jengibre}}{\text{rev}}$$

El grado de trituración del jengibre es un valor muy importante que nos servirá para conocer la cantidad de martillos mínimos a utilizarse y se lo determina con la siguiente fórmula:

$$i = \frac{D}{d} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

i = Grado de trituración.

D = Diámetro del producto al momento de ingresar al molino.

d = Diámetro del producto al momento de salir del molino.

$$i = \frac{40 \text{ mm}}{0,25 \text{ mm}}$$

$$i = 160$$

El jengibre al no ser un producto 100 % esférico, se puede considerarlo como tal, para ello se escogió una muestra de 15 jengibres al azar de una producción, midiendo la longitud total de cada uno y asignándole a D el valor promedio existente entre las muestras.

La cantidad de martillos que un molino debe tener es directamente proporcional al grado de trituración y la capacidad de trituración en función de jengibres triturados por revolución.

$$\#_{\text{martillos}} = C_{\text{trituración}} \cdot i \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$\#_{\text{martillos}}$ = Número de martillos.

$$\#_{\text{martillos}} = 0,12 \cdot 160 = 19,20$$

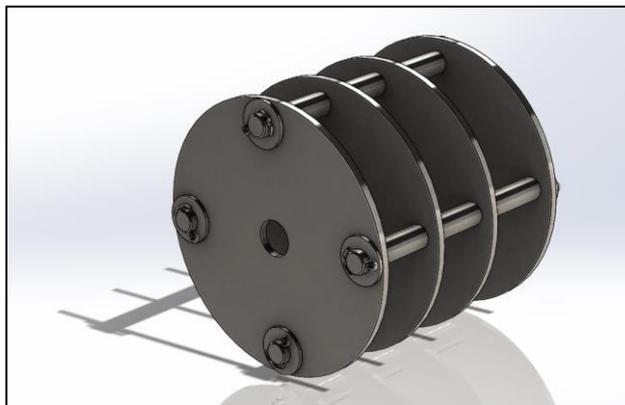
$$\#_{\text{martillos}} = 19,20$$

El número de martillos mínimos a asignarse debe ser 20 o más; pero, en el pre – dimensionamiento se asignaron 24 martillos, de tal manera que su distribución fue correcta.

4.4.2. Dimensionamiento de separadores de los martillos.

Los separadores evitan que los martillos se unan al momento de la operación de la máquina. Los ejes secundarios serán los encargados de soportar la carga de los elementos usados para triturar la materia prima que ingresa a la máquina.

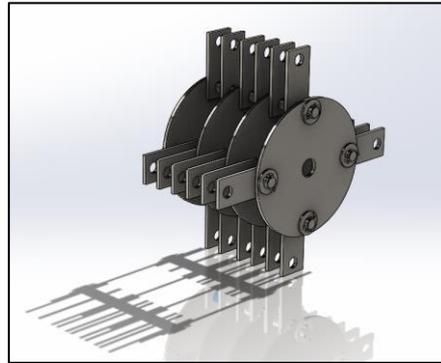
Figura 22. Especificación de cómo se distribuye los ejes secundarios en el molino.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Cada eje secundario tendrá una separación de 90° entre sí (véase la Figura 22), teniendo una longitud total de 18,80 cm, cada uno. El número de martillos depende del criterio del diseñador, es por eso que inicialmente se pre – dimensionó la máquina, para luego validar sus elementos, en este caso se asignó 6 en cada eje (2 por cada segmento).

Figura 23.Conjunto triturador.

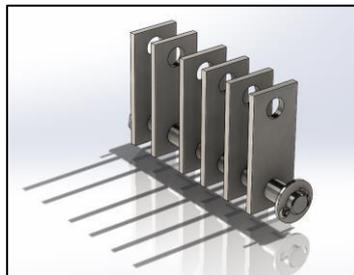


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Además, se deberá tener en cuenta las siguientes condiciones:

- El número de martillos deberá ser igual en cada eje secundario, para que exista balance entre el sistema.
- La cantidad de martillos por ejes secundarios dependerá mucho del criterio del diseñador, teniendo en cuenta que mientras más martillos se tenga, mayor será la capacidad de trituración; además, los discos deben tener un mayor diámetro para soportar la carga que estos elementos están ejerciendo sobre ellos.

Figura 24. Distribución de los martillos, en función de los separadores.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Los separadores son bocines encargados de la separación de los martillos entre sí (Véase la Figura 23), evitando directamente el desgaste ocasionado por la fricción; además, evita que la materia prima quede acumulada entre los martillos.

La longitud de los separadores debe ser 3 veces el espesor del martillo o más, este criterio se puede encontrar en diversos catálogos de fabricantes de molinos de martillos (Véase la Figura 24), representándose de la siguiente manera:

$$k > 3 * e_{\text{martillo}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

k = longitud de los separadores.

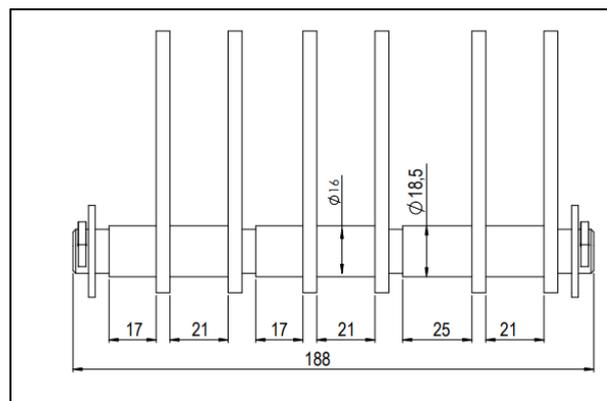
e_{martillo} = espesor del martillo.

Reemplazando,

$$k > 3 * 5 \text{ mm}$$

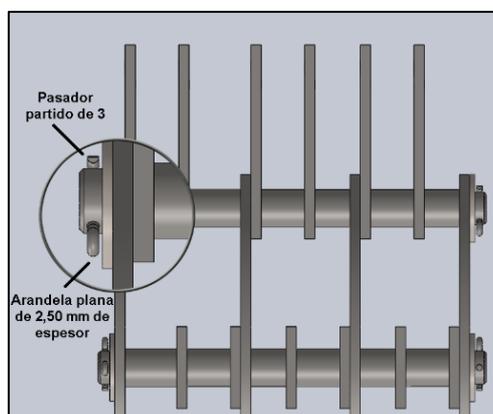
$$k > 15 \text{ mm}$$

Figura 25. Longitud, diámetro interno y externo de los separadores del conjunto triturador.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 26. Sujeción eje secundario - discos.



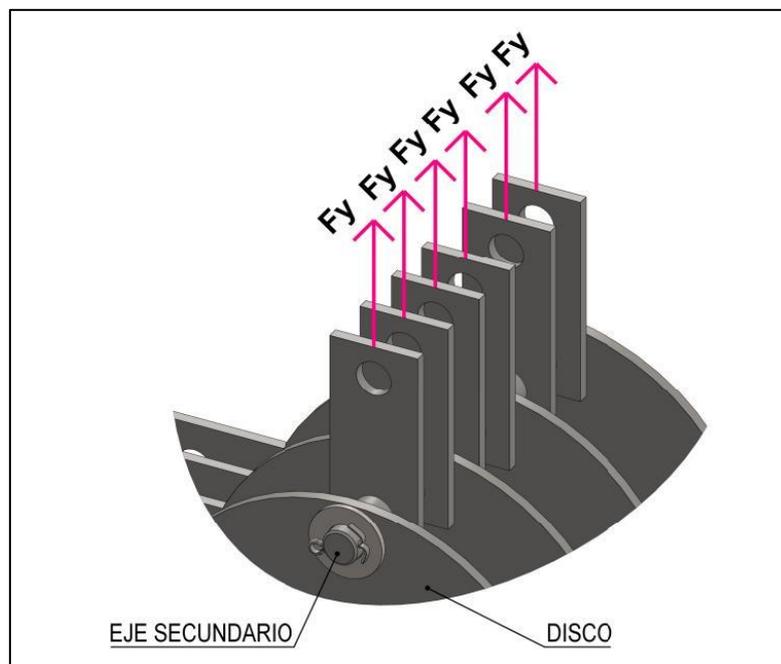
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Se pudo determinar que la longitud mínima que se puede asignar a los separadores es de 15 mm, según la (Ecuación 11). Utilizando criterio de diseñador se pudo determinar que por cada eje secundario se necesitaban utilizar separadores de 17 mm, 21 mm y 25 mm de longitud (Figura 25). La sujeción que tendrán los discos con los ejes secundarios será a través de un pasador partido de 3 mm que estará pasando un agujero en los extremos de los ejes secundarios e ira apretado a una arandela planta para evitar la holgura (Figura 26). Esto se hace para facilitar el recambio de los martillos que se desgastan con el tiempo debido a la fricción. Por otro lado, los demás elementos del sistema de trituración no irán soldados, solamente el eje principal ira soldado con los discos debido a temas de costos y practicidad.

4.4.3. Dimensionamiento y validación de los ejes secundarios.

Los ejes secundarios o porta martillos están soportando cargas tanto de corte, como de flexión. Para realizar un análisis se necesitará conocer la fuerza y el momento en el eje.

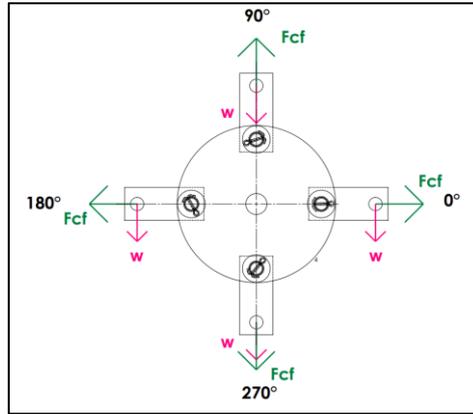
Figura 27. Elementos característicos del conjunto triturador.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Cada eje aloja 6 martillos, encontrándose apoyado en 4 discos (Véase la Figura 27), se estudiará únicamente un segmento debido a que en los demás sucede el mismo comportamiento de cargas.

Figura 28. Fuerzas que actúan sobre el eje secundario.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Las fuerzas que actúan sobre el eje secundario o porta – martillos son la fuerza centrífuga debido al movimiento del molino y la fuerza debido al peso de los martillos, las mismas que se encuentran especificadas en la Figura 28.

$$F_{0^\circ} = F_{180^\circ} = F_{\text{centrífuga}}$$

$$F_{0^\circ} = 745,16 \text{ N}$$

$$F_{90^\circ} = F_{\text{centrífuga}} - W_{\text{molino}}$$

$$F_{90^\circ} = 745,16 \text{ N} - 1,33 \text{ N}$$

$$F_{90^\circ} = 743,83 \text{ N}$$

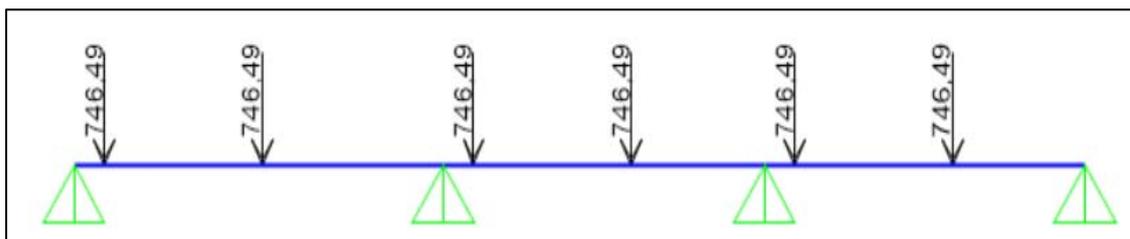
$$F_{270^\circ} = F_{\text{centrífuga}} + W_{\text{molino}}$$

$$F_{270^\circ} = 745,16 \text{ N} + 1,33 \text{ N}$$

$$F_{270^\circ} = 746,49 \text{ N}$$

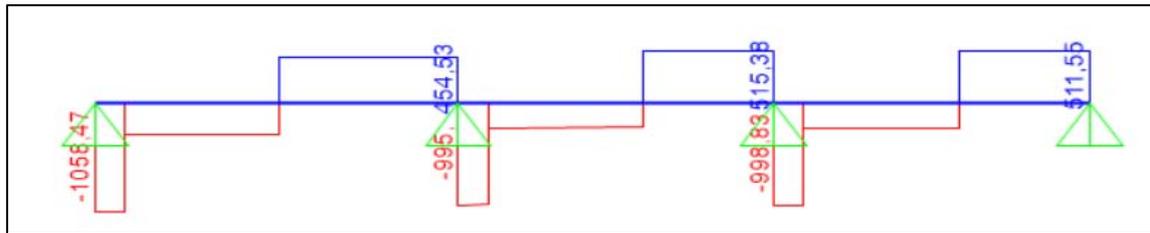
La carga crítica del eje secundario se encuentra cuando está a 270° con respecto a un sistema de coordenadas cartesiano, por lo tanto, se escogerá este valor.

Figura 29. Diagrama de fuerzas en el eje secundario representado en SAP 2000.



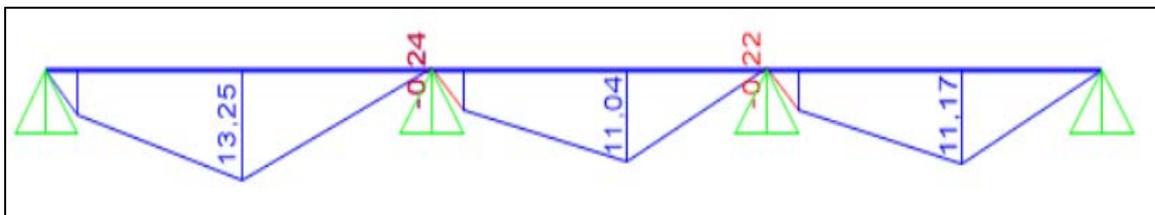
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 30. Diagrama de fuerzas cortantes, indicando el cortante máximo, representado en SAP 2000.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 31. Diagrama de momento flector, indicando el momento máximo, representado en SAP 2000.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

El eje secundario está sometido a esfuerzos cortantes y de flexión, para encontrar dichos valores se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{S} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

$\sigma_{\text{máx}}$ = Esfuerzo cortante de flexión.

$M_{\text{máx}}$ = Momento máximo en el eje.

S = Módulo de sección.

$$S = \frac{\pi * d^3}{32} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

d = Diámetro del eje secundario.

$$S = \frac{\pi * (16 \text{ mm})^3}{32}$$

$$S = 4,0212 * 10^{-07} \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el valor del módulo de sección, se reemplaza valores de la (Ecuación 13) para encontrar el esfuerzo de flexión máximo. El momento máximo obtenido es de 13,25 Nm (Ver Figura 31).

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{13,25 \text{ Nm}}{4,0212 * 10^{-07} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 32,95 \text{ MPa}$$

La fuerza de corte máximo (V) debido al pandeo es de 1 058,47 N (Ver Figura 30), valor usado para determinar el esfuerzo cortante soportado por el eje porta – martillos, siendo hallado a través de la siguiente ecuación:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{16}{3} * \frac{V_{\text{máx}}}{\pi * d^2} \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde:

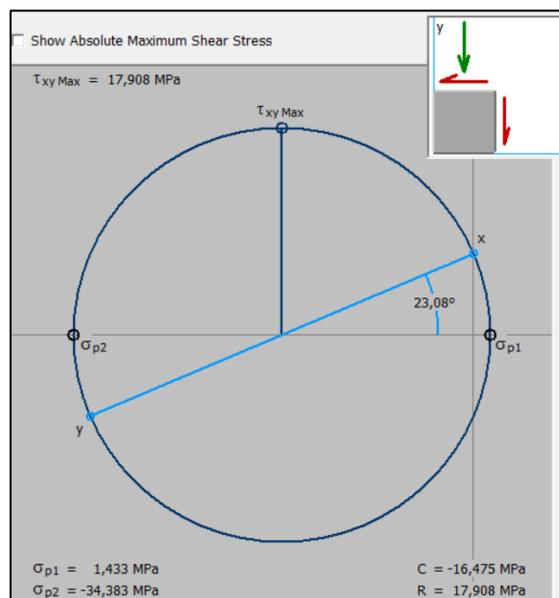
$\tau_{\text{máx}}$ = Esfuerzo cortante máximo.

$V_{\text{máx}}$ = Fuerza cortante máximo.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{16}{3} * \frac{(1\ 058,47 \text{ N})}{\pi * \left(\frac{16}{1\ 000} \text{ m}\right)^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 7,02 \text{ MPa}$$

Figura 32. Esfuerzos presentes observados mediante el círculo de Mohr.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Los esfuerzos principales σ_1 y σ_2 se encontrarán utilizando el círculo de Mohr y para evitar la necesidad en encontrar los valores manualmente se utilizó el software MD SOLID (Ver Figura 32), los cuales se utilizará para la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{eje secundario}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

$\sigma_{\text{eje secundario}}$ = Esfuerzo máximo del eje secundario.

σ_1 = Esfuerzo principal 1.

σ_2 = Esfuerzo principal 2.

$$\sigma_{\text{eje secundario}} = \sqrt{(1,43 \text{ MPa})^2 + (-34,38)^2 - (1,43 \text{ MPa}) * (-34,38 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{\text{Von Mises}} = 35,12 \text{ MPa}$$

$$N_{\text{eje secundario}} = \frac{S_{\text{y eje secundario}}}{\sigma_{\text{Von Mises}}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

$N_{\text{eje secundario}}$ = Factor de seguridad del eje secundario.

$S_{\text{y eje secundario}}$ = Límite elástico del eje secundario.

$$N_{\text{eje secundario}} = \frac{206,80 \text{ MPa}}{35,12 \text{ MPa}}$$

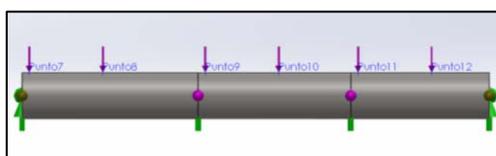
$$N_{\text{eje secundario}} = 5,89$$

Según el criterio de esfuerzos máximos de Von Mises cuando el eje secundario tenga un diámetro de 16 mm llegará a tener un factor de seguridad mínimo de 5,89.

4.4.3.1. Análisis del eje secundario.

➤ Apoyos y cargas asignadas.

Figura 33. Apoyos y cargas asignadas al eje secundario en SolidWorks Simulation.

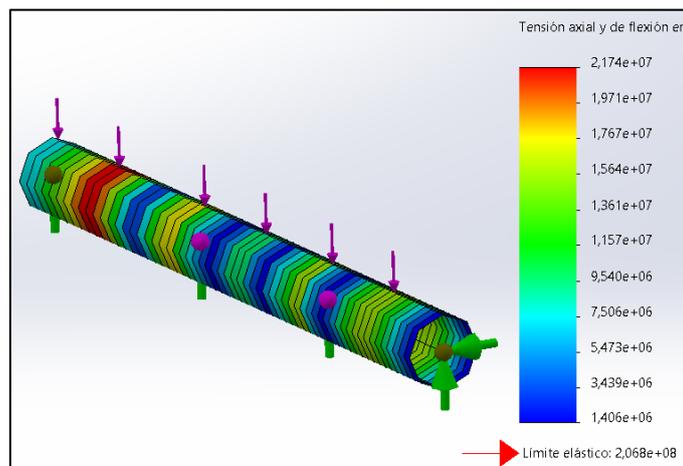


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Para el análisis del eje secundario se utilizó el complemento Simulación de SolidWorks, aplicándose la fuerza máxima F_{270° de 746,49 N (Ver Figura 33), se consideró al eje como una viga, tal como en SAP 2000. El tipo de simulación empleada en el análisis fue de tipo estática, método usado comúnmente. El material del eje es de acero inoxidable AISI 304, cuyo límite elástico no sobrepasa los 206,81 MPa.

➤ **Tensión axial y flexión en el eje secundario.**

Figura 34. Apoyos y cargas asignadas al eje secundario en SolidWorks Simulation.

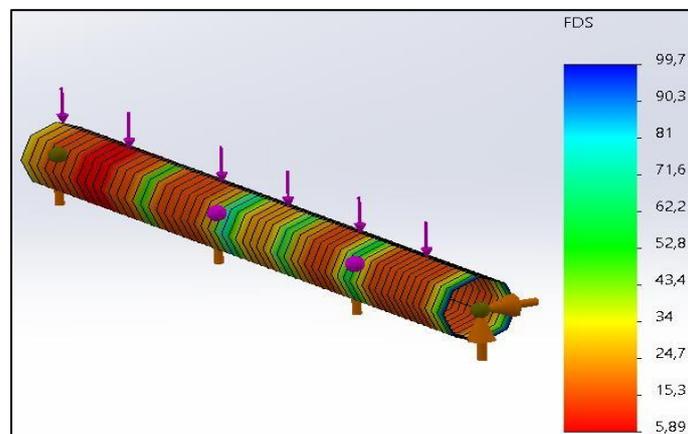


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Aplicando el control de mallas y ejecutando el análisis, se determinó un esfuerzo de tensión axial y flexión axial en el límite superior de 21,74 MPa (Figura 34).

➤ **Factor de seguridad en el eje secundario.**

Figura 35. Factor de seguridad del eje secundario.

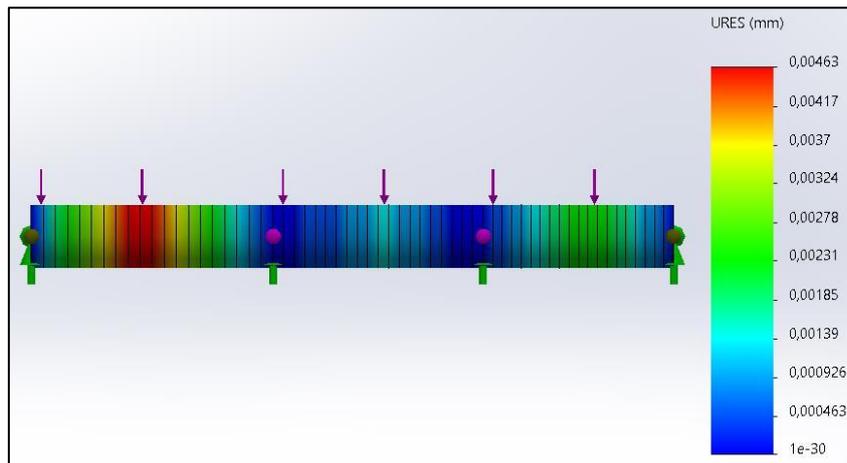


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Otro detalle a considerar es el factor de seguridad, cuyo valor deberá estar por encima de la unidad, para validar el elemento, en software dio un Factor N mínimo de 5,89 (Ver Figura 35).

➤ **Desplazamientos en el eje secundario.**

Figura 36. Desplazamientos del eje secundario debido a las cargas asignadas.

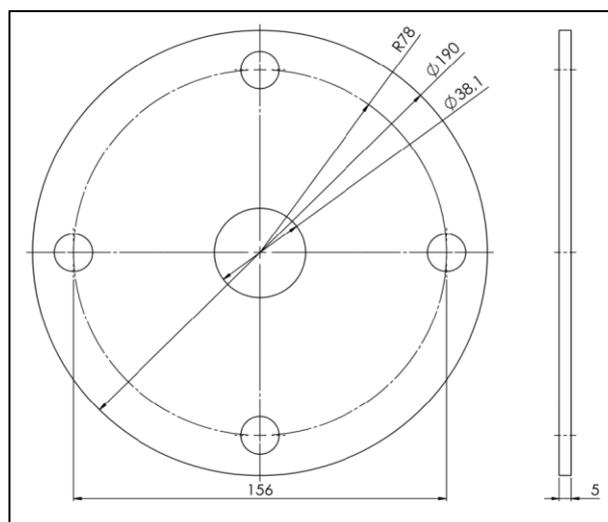


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Los desplazamientos que el eje sufre por acción de las cargas de los martillos se ven reflejado en la Figura 36, dando un desplazamiento máximo de 0,00463 mm, localizado en el lado izquierdo del eje.

4.4.4. Dimensionamiento y validación de los discos.

Figura 37. Dimensiones de los discos.

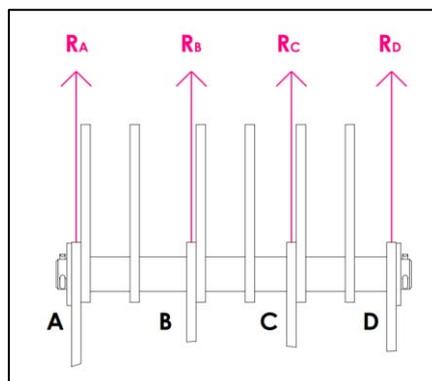


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Los discos deberán tener una configuración circular para que la fuerza centrífuga sea de tipo radial, posicionando correctamente a los martillos al momento que el molino este en operación.

La distribución de los ejes en el disco deberá ser de 60° o 90°, la selección dependerá del diseñador. Para este proyecto de investigación se escogió una configuración de 90°. Según la longitud del martillo y el radio de giro encontrado anteriormente se usarán discos de 19 cm.

Figura 38. Reacciones que soportan los discos.

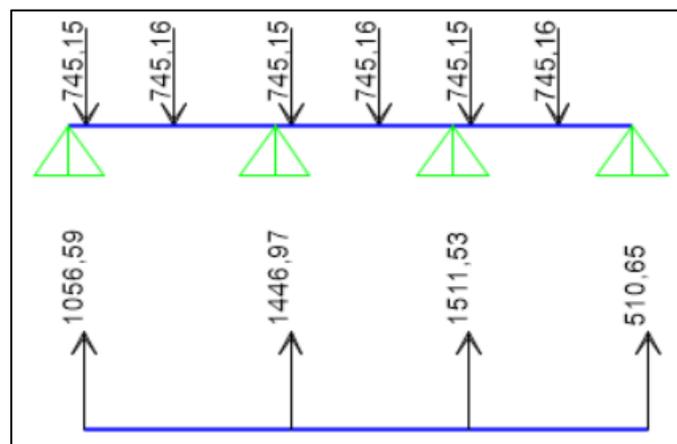


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Las fuerzas que soportan los discos son las reacciones resultantes de los apoyos en los ejes secundarios, puesto que los apoyos son los discos, utilizando las 4 posiciones analizadas anteriormente para encontrar las reacciones resultantes en los agujeros de los discos.

$$F_{0^{\circ}-180^{\circ}} = 745,16 \text{ N}$$

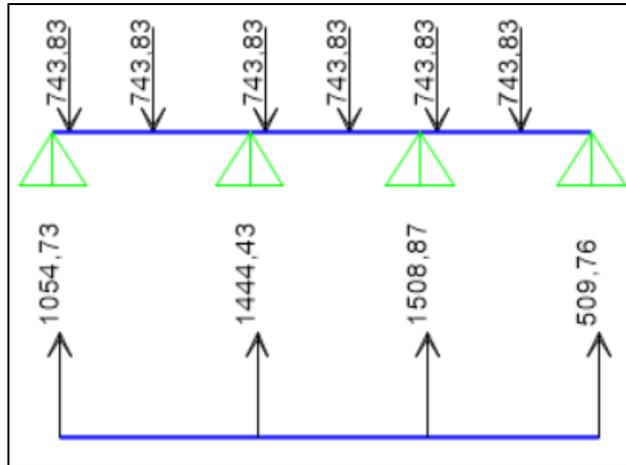
Figura 39. Reacciones resultantes en el disco a 0°.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

$$F_{90^\circ} = 743,83 \text{ N}$$

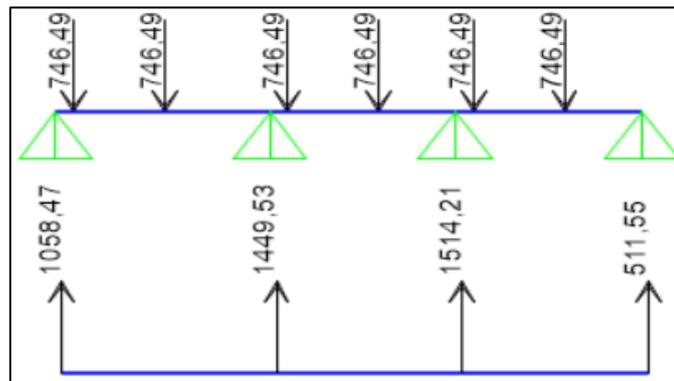
Figura 40. Reacciones resultantes en el disco a 90°.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

$$F_{270^\circ} = 746,49 \text{ N}$$

Figura 41. Reacciones resultantes en el disco a 270°.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

4.4.4.1. Análisis disco D.

Tabla 9. Cargas asignadas en el disco D.

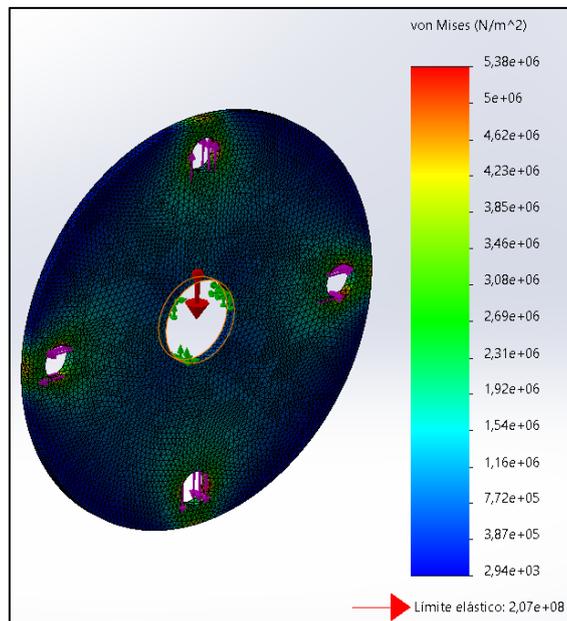
Cargas asignadas			
0°	510,65 N	180°	510,65 N
90°	509,76 N	270°	511,55 N

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

➤ **Esfuerzos presentados en el disco D.**

Figura 42. Esfuerzos encontrados en el DISCO D.

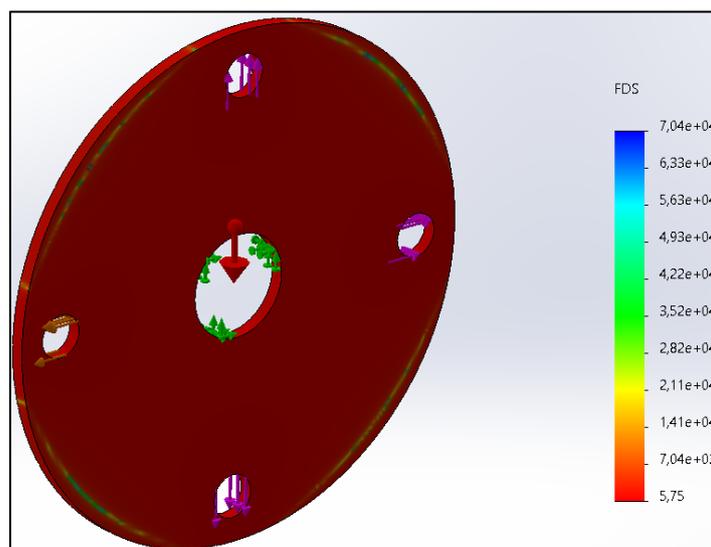


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: La Figura 42 muestra un esfuerzo máximo del disco D de 5,38 MPa en las zonas cercanas a los agujeros que conectan los ejes secundarios con los discos. Cabe recalcar que además se consideró el peso propio y la aceleración de la gravedad.

➤ **Factor de seguridad disco D.**

Figura 43. Factor de seguridad en el DISCO D.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El factor de seguridad mínimo en el disco D según la Figura 43 es de 5,75 distribuido en casi toda la pieza.

4.4.4.2. Análisis disco C.

Tabla 10. Cargas asignadas en el disco C.

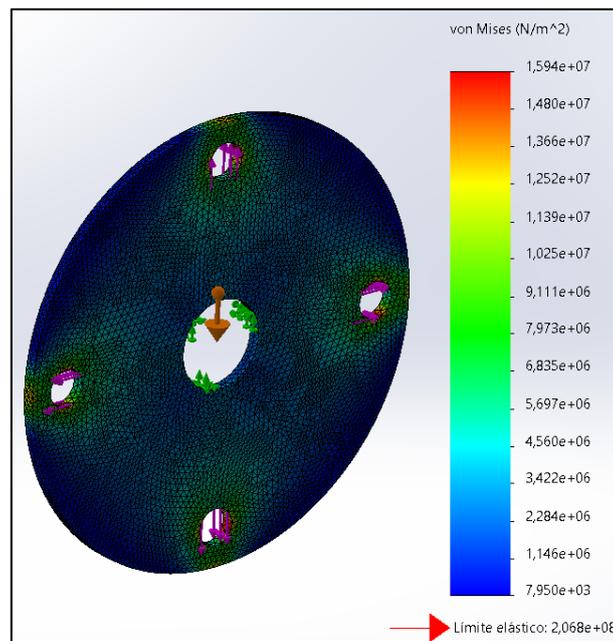
Cargas asignadas			
0°	1511,53 N	180°	1511,53 N
90°	1508,87 N	270°	1514,21 N

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

➤ Esfuerzos presentados en el disco C.

Figura 44. Esfuerzos en el disco C.

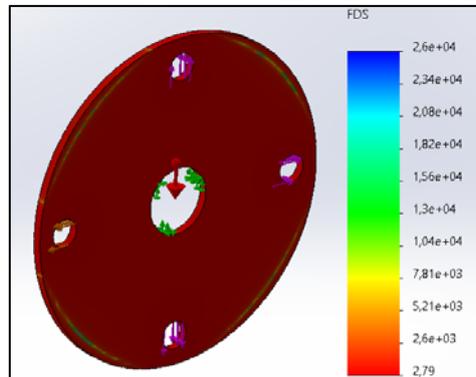


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El disco C muestra un esfuerzo máximo de Von Misses de 15,94 MPa (Véase la Figura 44). El material asignado en el programa para la simulación es el acero AISI 304, además dentro de la simulación se consideró el peso propio y la aceleración de la gravedad.

➤ **Factor de seguridad disco C.**

Figura 45. Factor de seguridad en el disco C.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El factor de seguridad mínimo en el disco C es de 2,79, según la Figura 45. Además, véase que en casi todo el elemento se encuentra dicho factor.

4.4.4.3. Análisis disco B.

Tabla 11. Cargas asignadas en el disco B.

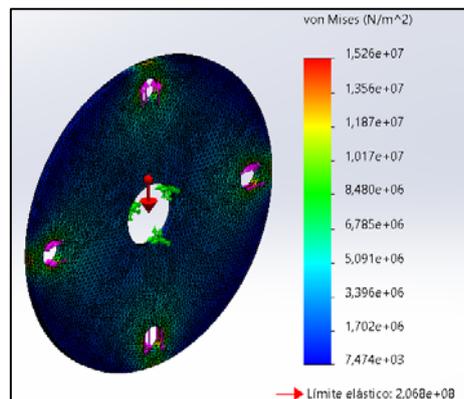
Cargas asignadas			
0°	1446,97 N	180°	1446,97 N
90°	1444,43 N	270°	1449,53 N

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

➤ **Esfuerzos presentados en el disco B.**

Figura 46. Esfuerzos en el disco B.

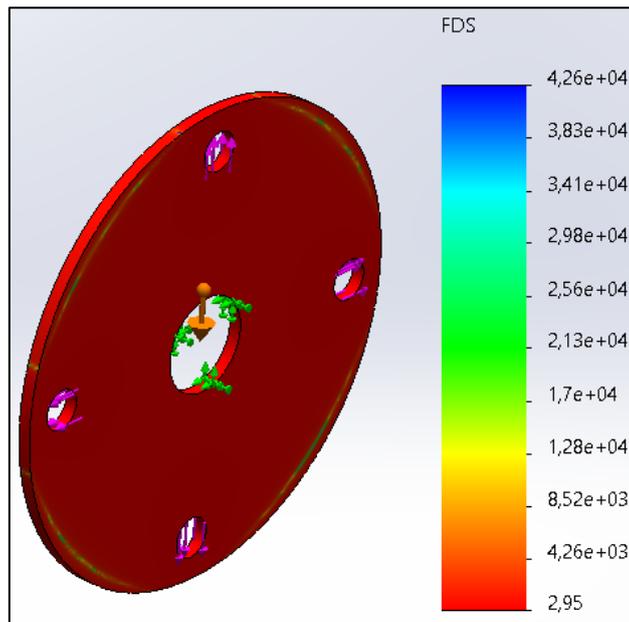


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Según la Figura 46 el esfuerzo máximo de Von Mises en el disco B es de 15,27 MPa, encontrándose en zonas cercanas a los agujeros que conectan los ejes secundarios. Cabe destacar que se consideró el peso propio y la aceleración de la gravedad.

➤ **Factor de seguridad disco B.**

Figura 47. Factor de seguridad en el disco B.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: La Figura 47 muestra un factor de seguridad mínimo de 2,95 en el disco B, dicho valor se encuentra en casi todo el elemento y nos permite corroborar que efectivamente resistirá a la acción de molienda del equipo.

4.4.4.4. Análisis disco A.

Tabla 12. Cargas asignadas en el disco A.

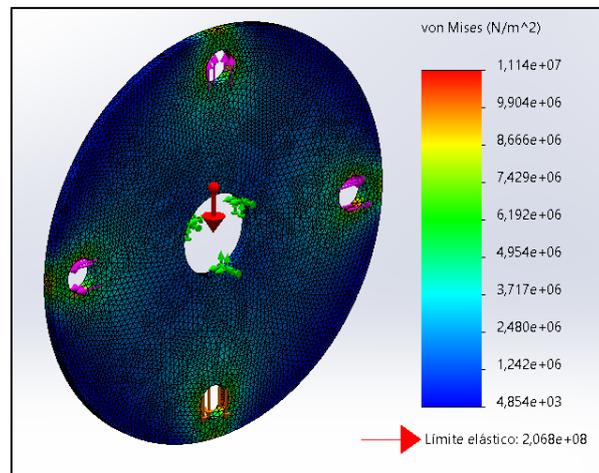
Cargas asignadas			
0°	1056,59 N	180°	1056,59 N
90°	1054,73 N	270°	1058,47 N

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

➤ **Esfuerzos presentados en el disco A.**

Figura 48. Esfuerzos en el disco A.

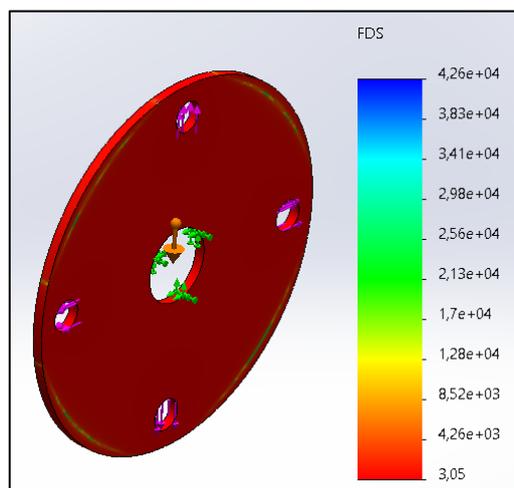


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El esfuerzo máximo de Von Misses en el disco A según la Figura 48 es de 11,14 MPa, encontrándose en zonas cercanas a los agujeros que conectan los ejes secundarios. Cabe destacar que se consideró el peso propio y la aceleración de la gravedad.

➤ **Factor de seguridad disco A.**

Figura 49. Factor de seguridad en el disco A.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: La Figura 49 muestra un factor de seguridad mínimo de 3,05 en el disco A, dicho valor se encuentra en casi todo el elemento y nos permite corroborar que efectivamente resistirá a la acción de molienda del equipo.

4.4.5. Selección del motor.

4.4.5.1. Potencia molino sin carga.

La potencia del motor tiene que ser escogida mediante un análisis, para que así el jengibre pueda triturarse correctamente y pueda cumplir con los requerimientos, para esto se necesita la siguiente expresión:

$$P_{\text{molino vacío}} = \frac{m_m * D^2 * \#_{\text{martillos}} * \omega^3 * f}{8 * 100\,000 * \eta_{\text{mecánico}} * \eta_{\text{motor}}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

$P_{\text{molino vacío}}$ = Potencia necesaria para accionar el molino, sin producto.

m_m = masa del martillo.

D = Diámetro externo del disco.

$\#_{\text{martillos}}$ = número de martillos.

ω = Revoluciones del eje principal.

f = factor adimensional dependiente de las revoluciones del eje principal (Véase la Tabla 13)

$\eta_{\text{mecánico}}$ = rendimiento mecánico dependiente del tipo de sistema de transmisión de potencia a utilizarse (Véase Anexo 5).

η_{motor} = rendimiento del motor (Véase Anexo 6).

Tabla 13. Factor f dependiente de la velocidad tangencial.

Velocidad tangencial m/seg	Factor f
17	0,02200
20	0,01600
23	0,01000
26	0,00800
30	0,00300
40	0,00150

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

En la Tabla 13 no se encuentra el valor exacto del factor f , teniendo una velocidad tangencial de 8,38. Para ello, utilizaremos el método de interpolación, su fórmula es la siguiente:

$$\frac{x_1 - x}{y_1 - y} = \frac{x_2 - x}{y_2 - y} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

x = Factor f a velocidad tangencial de 8,62 m/s.

x₁ = Factor f a velocidad tangencial de 20 m/s.

x₂ = Factor f a velocidad tangencial de 17 m/s.

y = Velocidad tangencial a factor f de "x".

y₁ = Velocidad tangencial a factor f de 20.

y₂ = Velocidad tangencial a factor f de 17.

Reemplazando, se tiene:

$$\frac{0,01600 - x}{20 - 8,62} = \frac{0,02200 - x}{17 - 8,62}$$

$$x = 0,03876$$

El factor f encontrado en la (Ecuación 18) es de 0,03876, la cual se usará para encontrar la potencia del motor al vacío. Una vez encontrado todas las variables correspondientes a la (Ecuación 17), se obtiene:

$$P_{\text{molino vacío}} = \frac{0,1359 \text{ kg} * (0,19 \text{ m})^2 * 24 * \left(261,80 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right)^3 * (0,03876)}{8 * 100\,000 * (0,94) * (0,8843)}$$

$$P_{\text{molino vacío}} = 0,1237 \text{ Hp}$$

Discusión: La potencia necesaria para girar el molino (sin tener en consideración el proceso de molienda) es de 0,1231 Hp, cuyo valor es relativamente bajo, pero realista ya que no se necesita mucha potencia para poder accionar la máquina.

4.4.5.2. Potencia del molino triturando.

Para determinar la potencia del molino al momento de estar realizando el proceso de trituración, se necesita conocer la energía necesaria para reducir el jengibre a partículas de menor tamaño, para ello es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$E = k * f * \left[\frac{1}{d_{\text{salida}}} - \frac{1}{d_{\text{entrada}}} \right] \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

E = Energía usada para efectuar el proceso de molienda.

k = Constante de Rittinger dependiente del tipo de producto usado para la trituración [6].

f_{molienda} = Factor dependiente del tipo de molienda (seca o húmeda).

Despejando, tenemos:

$$E = 0,35 \frac{\text{Hp} * \text{h} * \text{cm}}{\text{ton}} * 1,3 * \left[\frac{1}{0,025 \text{ cm}} - \frac{1}{4 \text{ cm}} \right]$$
$$E = 18,09 \frac{\text{Hp} * \text{h}}{\text{ton}}$$

Para que la máquina pueda realizar el proceso de molienda, es necesario conocer la potencia mínima para que el molino pueda triturar correctamente la materia prima.

$$P_{\text{molino operando}} = \text{Capacidad} * E \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

P_{molino operando} = Potencia de trituración.

Capacidad = Capacidad del molino.

$$P_{\text{molino operando}} = 0,20 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} * 18,09 \frac{\text{Hp} * \text{h}}{\text{ton}}$$
$$P_{\text{molino operando}} = 3,62 \text{ Hp}$$

Discusión: La potencia mínima para que el molino pueda efectuar el proceso de molienda es de 3,62 Hp, dando un valor alto debido a que se necesita reducir considerablemente el tamaño del jengibre, teniendo una longitud promedio de hasta 5 cm.

4.4.5.3. Potencia total.

La potencia total es igual a la sumatoria de los valores dados como resultado de la (Ecuación 17 y (Ecuación 20).

$$P_{\text{motor}} = P_{\text{molino vacío}} + P_{\text{molino operando}}$$
$$P_{\text{motor}} = 0,1237 \text{ Hp} + 3,62 \text{ Hp}$$
$$P_{\text{motor}} = 3,74 \text{ Hp}$$

Tabla 14. Especificaciones motor WEG 5HP seleccionado.

MOTOR WEG			
Potencia:	5 hp – 3,75 kW	Revoluciones	1755 rpm
Frecuencia:	60 Hz	Par nominal	20 Nm

FUENTE: WEG.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 50. Motor WEG.

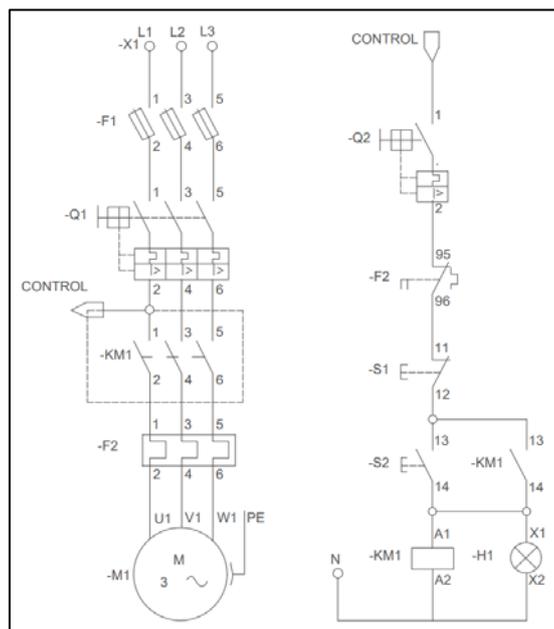


FUENTE: WEG.

Discusión: La potencia mínima que deberá tener el motor para lograr una molienda efectiva será de 3,74 Hp y a través de la Tabla 14 se pudo seleccionar un motor de marca WEG DE 5 Hp de potencia para el molino.

4.4.5.4. Diagrama de fuerza y control del motor trifásico instalado en la máquina.

Figura 51. Diagrama de fuerza y control.



FUENTE: AARÓN MEDARDO VÁSQUEZ GARCÍA.

- **Portafusibles – F1:** Un portafusibles es un dispositivo encargado de mantener el fusible en su sitio. Existen varios tipos de portafusibles en el mercado y, dependiendo del tamaño del fusible, se debe seleccionar el Portafusible adecuado.

Figura 52. Portafusibles.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Disyuntor – Q1:** Está diseñado específicamente para proteger el motor de las sobrecargas y los cortocircuitos eléctricos y, en algunos casos, para evitar que un fallo llegue a una de las fases del motor, por ejemplo, cuando el motor funciona sólo con dos de las tres fases. En todos estos casos, el disyuntor del motor interrumpe la alimentación del motor para protegerlo hasta que se haya comprobado y corregido el fallo detectado.

Figura 53. Disyuntor.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Contactador – KM1:** Un contactador es un dispositivo eléctrico que cierra o abre un circuito en carga o en vacío con una carga de corriente que puede tener efectos nocivos para el operador, por ejemplo, al abrir y cerrar un sistema de motor.

Figura 54. Contactor.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Relé Térmico – F2:** El relé térmico protege tanto al motor como a la línea eléctrica que lo alimenta de posibles sobrecargas de corriente. Una vez que el motor se ha enfriado, puede volver a ponerse en funcionamiento. También es importante saber que, si el motor se sobrecalienta por cualquier motivo que no sea una sobrecarga de corriente, por ejemplo, si el ventilador no funciona, el relé térmico no funcionará. La razón es que el relé reacciona a las fluctuaciones de la energía eléctrica.

Figura 55. Relé Térmico.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Relé Unipolar – Q2:** El interruptor unipolar es un mecanismo eléctrico con dos posiciones en la iluminación doméstica. ON y OFF. En una posición deja pasar la corriente y en la otra la corta. Este mecanismo se caracteriza por cortar sólo uno de los dos cables necesarios para instalar una bombilla, etc. Se conoce comúnmente como cable de retorno.

Figura 56. Relé Unipolar.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Motor – M1:** Los motores trifásicos son motores que convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Funcionan con una alimentación trifásica. Son impulsados por tres corrientes alternas de la misma frecuencia, que alcanzan alternativamente su valor máximo.

Figura 57. Motor.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Pulsadores – S1, S2:** Un pulsador es un componente eléctrico que permite o impide el paso de la electricidad cuando se pulsa. Un botón sólo se abre o se cierra cuando el usuario lo pulsa. Cuando se suelta, vuelve a su posición original.

Figura 58. Pulsadores.



FUENTE: TEKNISTORE.

- **Piloto – F1:** Se instalan para indicar si un panel o una línea están vivos o simplemente para indicar un proceso.

Figura 59. Foco piloto.



FUENTE: TEKNISTORE.

4.4.5.5. Selección del Conductor sistema de Potencia (cables).

Este se selecciona de acuerdo a la intensidad de trabajo que tendrá la maquina a la cual suministre de corriente eléctrica.

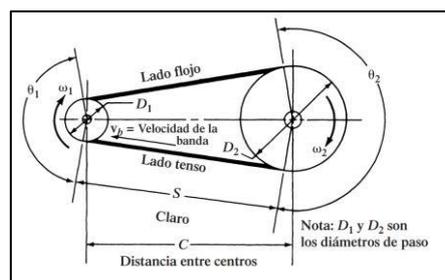
$$I_{\text{trabajo}} = I_n + 30\% = 15.5 + (15,50 * 0.3) = 20,15 \text{ A}$$

Discusión: El cable a seleccionar deberá soportar cargas mayores a 20 amperios, por lo que según las tablas estandarizadas se procede a seleccionar un cable de calibre 10 AWG (Véase el Anexo 16).

4.4.6. Sistema de transmisión del molino.

El molino contará con un sistema de transmisión de potencia poleas – bandas de dos canales, el cual conectará el eje principal del molino y el motor de 5 Hp. En este caso, no existirá problemas de que la polea patine ya que la distancia entre centros que se utilice será relativamente baja.

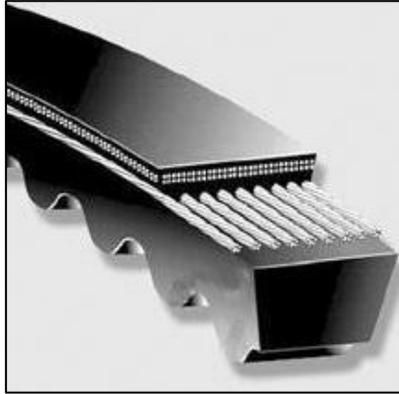
Figura 60. Representación sistema poleas.



FUENTE: R. L. MOTT.

El tipo de banda en V se selecciona en función de la potencia del motor y las revoluciones que gira el eje principal (elemento con mayor giro), en el Anexo 7 se determinó que el tipo de banda 3VX es la adecuada para el proyecto.

Figura 61. Banda tipo 3VX.



FUENTE: R. L. MOTT

4.4.6.1. Relación de transmisión.

En la Figura 60 y Figura 61 se representa el diagrama general de un sistema de transmisión de potencia por bandas y el tipo de banda seleccionada, respectivamente. La relación de transmisión se calcula de la siguiente manera:

$$r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

r = Relación de transmisión.

ω_1 = Revoluciones de la polea mayor (menor revolución).

ω_2 = Revoluciones de la polea menor (mayor revolución).

D_1 = Diámetro de la polea mayor (menor revolución).

D_2 = Diámetro de la polea menor (mayor revolución).

$$r = \frac{2\,500 \text{ rpm}}{1\,755 \text{ rpm}}$$

$$r = 1,42$$

Discusión: La relación de transmisión que tendrá el molino es de 1,42 cuya velocidad del motor aumentará hasta los 2500 rpm estipulados.

4.4.6.2. Diámetro de las poleas.

Elegir adecuadamente el diámetro de cada polea es fundamental, debido a flexión excesiva de las bandas si escogemos un diámetro muy pequeño, reduciendo a su vez la vida útil del elemento. Es decir, utilizar diámetros grandes puede alargar el tiempo de vida útil de la banda. El diámetro de la polea que se conectará con el motor será de 4 in. Reemplazando valores de la (Ecuación 21, se obtiene:

$$1,42 = \frac{4 \text{ in}}{D_2}$$
$$D_2 = \frac{4 \text{ in}}{1,42} = 2,82 \text{ in}$$

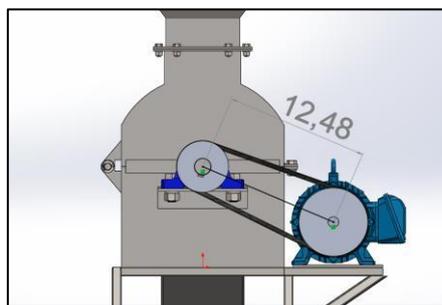
Discusión: Se utilizará dos poleas de dos canales cuyos diámetros son 4 in y 2,82 in; sin embargo, se selecciona una polea de 2,75 in debido al stock que se cuenta en el mercado.

4.4.6.3. Distancia entre centros.

Se debe establecer el rango de distancias que deberá ubicarse la polea para que no haya ningún problema de rendimiento o fallo en las bandas debido a la flexión, para conocer dicho intervalo se usa:

$$D_1 < C < 3 * (D_1 + D_2) \quad (\text{Ecuación 22})$$
$$4 \text{ in} < C < 3 * (4 \text{ in} + 2,75 \text{ in})$$
$$4 \text{ in} < C < 20,25 \text{ in}$$

Figura 62. Distancia entre centro establecido en el predimensionamiento.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: La distancia entre centros que tendrán las poleas deberá estar entre 4 in y 20,25 in, para lo cual se usará el valor de 12,48 in establecido en proceso de predimensionamiento (Véase Figura 62) debido a que cumple con los parámetros de la (Ecuación 22).

4.4.6.4. Longitud de la banda.

Una vez determinado el tipo canal de las poleas y la distancia entre centro de las mismas, es necesario conocer cuál será la longitud que tendrán las bandas para poder adquirirlas en el mercado.

$$L_{\text{Banda}} = 2 * C + 1,57(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4 * C} \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$L_{\text{Banda}} = 2 * (12,48 \text{ in}) + 1,57(4 \text{ in} + 2,82 \text{ in}) + \frac{(4 \text{ in} - 2,82 \text{ in})^2}{4 * (12,48 \text{ in})}$$

$$L_{\text{Banda}} = 35,70 \text{ in} = 906,78 \text{ mm}$$

Discusión: La longitud de la banda o longitud primitiva es de 35, 70 in y la correa que se ajusta a dicho valor es la 3VX – 370. Los valores más relevantes del elemento se encuentran especificado a detalle en el Anexo 7.

4.4.6.5. Ángulo de contacto.

$$\theta = 180^\circ \pm 2 \text{ sen}^{-1} \left[\frac{(D_1 - D_2)}{2 * C} \right] \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

θ = Ángulo de contacto.

Para la polea conductora:

$$\theta_1 = 180^\circ + 2 \text{ sen}^{-1} \left[\frac{(4 \text{ in} - 2,75 \text{ in})}{2 * (12,48 \text{ in})} \right]$$

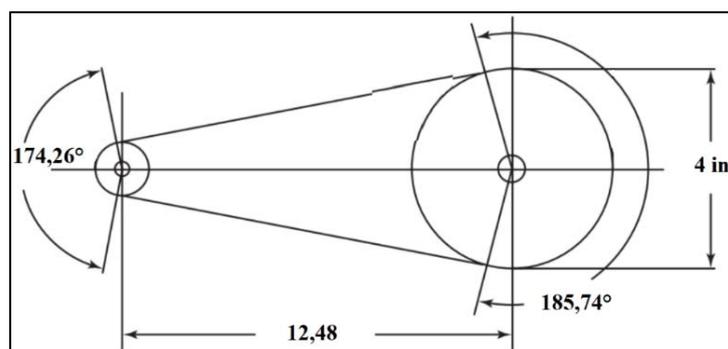
$$\theta_1 = 185,74^\circ$$

Para la polea conducida:

$$\theta_2 = 180^\circ - 2 \text{ sen}^{-1} \left[\frac{(4 \text{ in} - 2,75 \text{ in})}{2 * (12,48 \text{ in})} \right]$$

$$\theta_2 = 174,26^\circ$$

Figura 63. Valores obtenidos del sistema de transmisión.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Los ángulos de contacto para la polea conductora y conducida son $185,74^\circ$ y $174,26$ respectivamente. Dichos valores se pueden entender como los grados con la que la polea conductora y conducida se conectan de forma tangencial.

4.4.6.6. Resumen de diseño.

Tabla 15. Resumen de diseño.

Sistema de transmisión polea - correa	
Relación de transmisión	1,42
Polea conductora	4 in
Polea conducida	2,75 in
Longitud de la banda	906,78 mm
Código de la banda	3VX – 370
Ángulo de contacto 1	$185,74^\circ$
Ángulo de contacto 2	$174,26^\circ$

FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

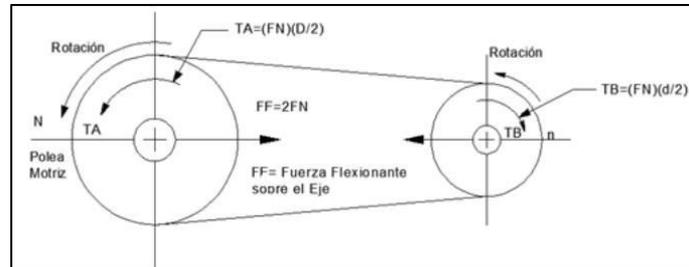
Discusión: Para que el molino pueda triturar correctamente el jengibre, se tendrá que cumplir a cabalidad las especificaciones de la Tabla 15.

4.4.7. Diseño del eje principal.

El eje principal al ser un elemento que está conectado directamente con el motor a través de las poleas se tendrá que analizar si el diámetro pre – dimensionado cumple satisfactoriamente con las cargas a la cual estará sometido. Las cargas que actuarán sobre el elemento son:

Fuerzas debido a la tensión de las poleas, el peso del sistema triturador y las reacciones de los cojinetes.

Figura 64. Fuerzas actuando en el sistema de transmisión.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

La fuerza que se genera debido a la tensión de las bandas se denomina fuerza impulsora neta y vienen dada mediante la siguiente ecuación:

$$F_N = \frac{T_b}{D_2/2} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

F_N = Fuerza impulsora neta.

T = Torque.

El torque presentado en la polea del motor es de 20 Nm, tal como se especifica en la Tabla 14.

$$F_N = \frac{20 \text{ Nm}}{0,0699 \text{ m} / 2}$$

$$F_N = 572,25 \text{ N}$$

Adicional a ello, es necesario conocer la fuerza de flexión ejercida sobre la polea.

$$F_F = 1,50 * F_N \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

F_F = Fuerza de flexión.

$$F_F = 1,50 * 572,25 \text{ N}$$

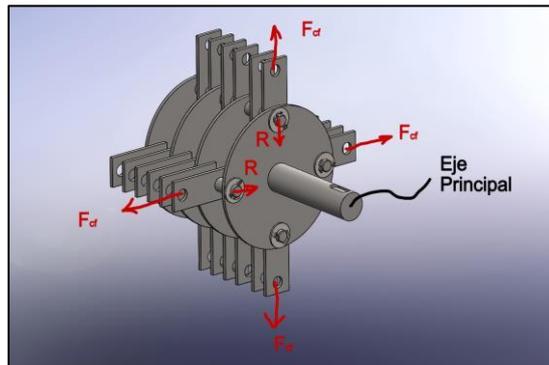
$$F_F = 858,38 \text{ N}$$

La fuerza de flexión ejercida sobre la banda se encuentra a un ángulo de 45° (establecido experimentalmente), por lo tanto, se necesita descomponer la fuerza en sus ejes y-z.

$$F_{FZ} = 858,38 \text{ N} * \cos(45) = 606,97 \text{ N}$$

$$F_{FY} = 858,38 \text{ N} * \sin(45) = 606,97 \text{ N}$$

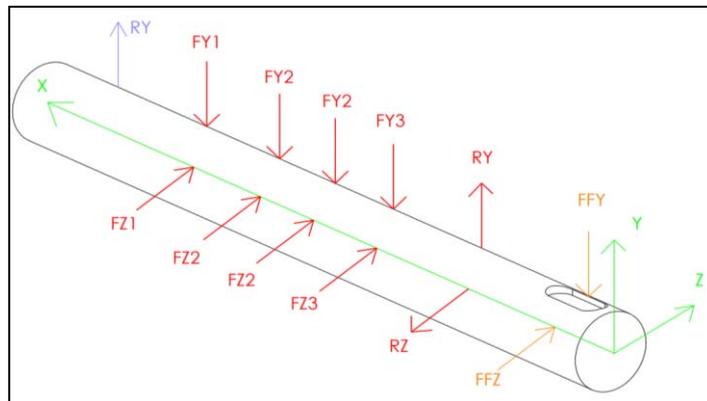
Figura 65. Diagrama de fuerzas en el conjunto triturador, junto con el eje principal.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Para poder validar el diámetro del eje principal, se necesita realizar un análisis de todas las fuerzas y reacciones presentes en el sistema, tal como se muestra en la Figura 65.

Figura 66. Fuerzas que actúan en el eje principal.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

El eje principal, al igual que el eje secundario está sometido a cargas debido al peso de los elementos que componen el conjunto triturador (Figura 66), en donde se tendrá que realizar un análisis en los planos xy y xz de manera independiente.

Las fuerzas actuando sobre el eje principal son: reacciones de los discos por acción de la fuerza centrífuga y el peso de los martillos.

4.4.7.1. Fuerzas actuando en el plano xy del eje principal.

Las fuerzas sometidas en el plano xy son las fuerzas correspondientes al conjunto triturador (F_{Y1}, F_{Y2}, F_{Y3}), la fuerza resultante debido a los apoyos (Reacciones) y la fuerza presentada por el sistema de transmisión.

$$F_{Y1} = RD_{90^\circ} + W_{\text{disco}}$$

$$F_{Y1} = 509,76 \text{ N} + \left(1,06 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 520,16 \text{ N}$$

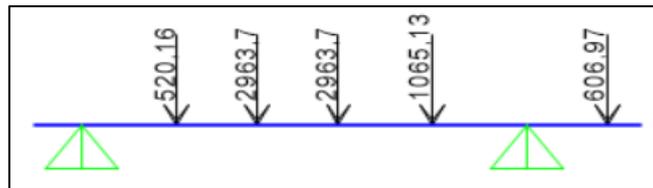
$$F_{Y2} = RC_{90^\circ} + RB_{90^\circ} + W_{\text{disco}}$$

$$F_{Y2} = 1508,87 \text{ N} + 1444,43 \text{ N} + \left(1,06 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 2963,70 \text{ N}$$

$$F_{Y3} = RA_{90^\circ} + W_{\text{disco}}$$

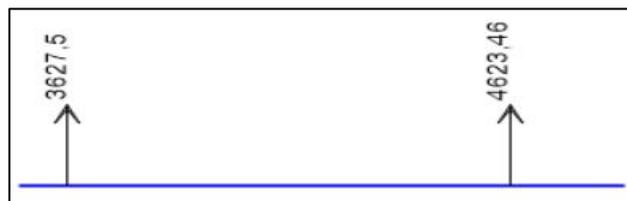
$$F_{Y3} = 1054,73 \text{ N} + \left(1,06 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 1065,13 \text{ N}$$

Figura 67. Cargas Y asignadas al eje en SAP 2000.



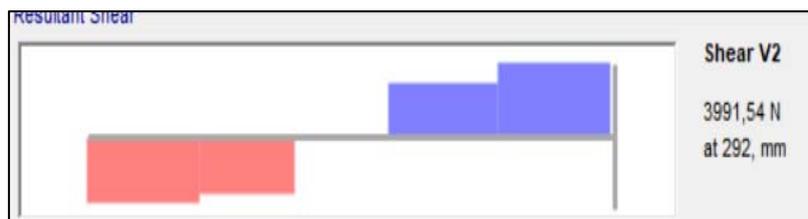
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 68. Reacciones resultantes en la coordenada Y.



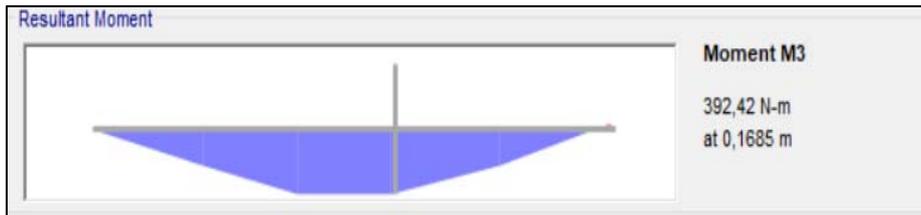
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 69. Fuerza cortante máxima en la coordenada Y.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 70. Momento flector máximo en la coordenada Y.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

4.4.7.2. Fuerzas actuando en el plano xz.

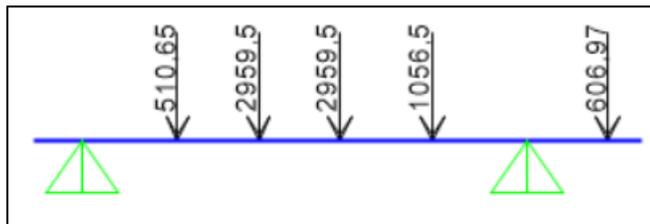
$$F_{Z1} = RD_{0^{\circ}-180^{\circ}} = 510,65 \text{ N}$$

$$F_{Z2} = RC_{0^{\circ}-180^{\circ}} + RB_{0^{\circ}-180^{\circ}}$$

$$F_{Z2} = 1511,53 \text{ N} + 1446,97 \text{ N} = 2959,50 \text{ N}$$

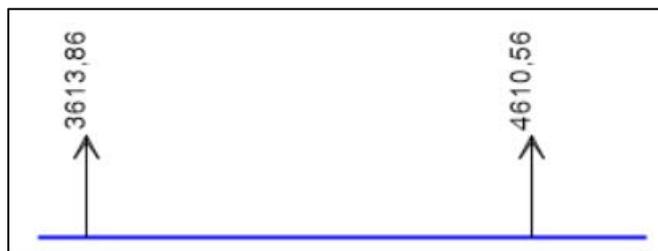
$$F_{Z3} = RA_{0^{\circ}-180^{\circ}} = 1056,59 \text{ N}$$

Figura 71. Cargas Z asignadas al eje en SAP 2000.



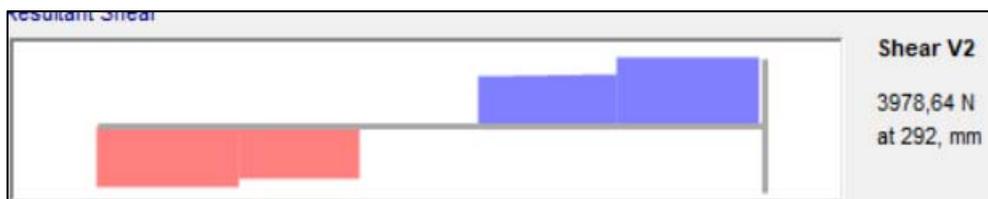
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 72. Reacciones resultantes en la coordenada Z.



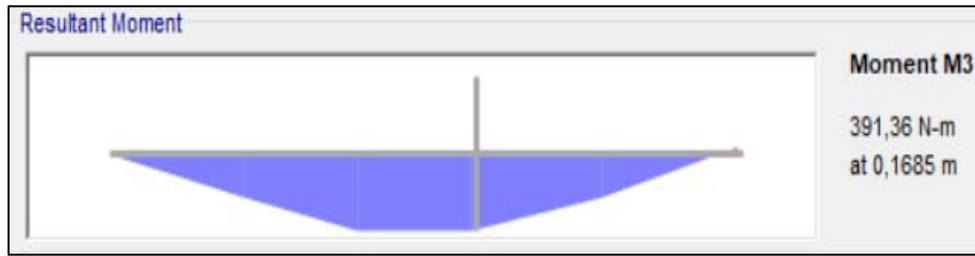
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 73. Diagrama de fuerza cortante en la coordenada Z.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Figura 74. Diagrama de momento flector en la coordenada Z.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

El momento máximo las coordenadas XY y XZ son:

$$M_{XY} = 392,42 \text{ Nm}$$

$$M_{XZ} = 391,36 \text{ Nm}$$

El momento total se lo determina de la siguiente manera:

$$M_T = \sqrt{M_{XY}^2 + M_{XZ}^2} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$M_T = \sqrt{(392,43 \text{ Nm})^2 + (391,36 \text{ Nm})^2}$$

$$M_T = 554,22 \text{ Nm}$$

Finalmente se determina el diámetro del eje, mediante la siguiente expresión:

$$D_{\text{ej. princ.}} = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M_t}{S_n'}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

S_n' = Resistencia a la fatiga real estimada del acero AISI 304.

M_T = Momento total.

K_t = Factor de concentración de esfuerzo (Véase el Anexo 9).

N = Factor de diseño (Véase el Anexo 10).

T = Torque del motor.

S_y = Límite elástico del acero AISI 304.

$$S_n' = S_n * C_m * C_{st} * C_R * C_s \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

S_n = Resistencia a la fatiga modificada (Véase el Anexo 11).

C_m = Factor de material (Véase el Anexo 12).

C_{st} = Factor de tipo de esfuerzo (Véase el Anexo 13).

C_R = Factor de confiabilidad (Véase el Anexo 14).

C_s = Factor de tamaño (Véase el Anexo 15).

$$S'_n = (35,00 * 35,00 \text{ MPa}) * (1,00) * (1,00) * (0,90) * (0,84)$$

$$S'_n = 926,10 \text{ MPa}$$

$$D_{ej. \text{ princ.}} = \left[\frac{32 * 3,0}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{2,0 * 552,22 \text{ Nm}}{926,10 * 10^6 \text{ Pa}} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{20 \text{ Nm}}{206,80 * 10^6 \text{ Pa}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{ej. \text{ princ.}} = 33,18 \text{ mm}$$

4.4.8. Selección de la chumacera.

Tabla 16. Duración recomendada para rodamientos.

Aplicación	Duración en horas (L)
Electrodomésticos, Máquinas Agrícolas, Instrumentos, aparatos para uso médico.	300 – 3000
Máquinas utilizadas en periodos cortos: Elevadores para talleres, máquinas para la construcción, máquinas herramientas.	3000 – 8000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento en periodos intermitentes como: ascensores.	8000 – 12000
Máquina para 8 horas de trabajo diario: Máquina – herramienta, grúas para material a granel, ventiladores, cintas transportadoras.	20000 – 30000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: Máquina textil, caja de engranes, compresores, bombas.	40000 – 50000

FUENTE: R. L. MOTT

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO

El proceso de selección de la chumacera depende mucho del diámetro del eje que se esté utilizando y de la capacidad de la carga dinámica que están soportando.

$$C_{\text{chumacera}} = P * \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

$C_{\text{chumacera}}$ = Capacidad de carga dinámica de la chumacera.

P = Carga a la que está soportando el rodamiento.

k: Factor que depende del tipo de rodamiento.

L_d = Duración de diseño en revoluciones.

Para determinar L_d , se obtiene:

$$L_d = L * \text{rpm} * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

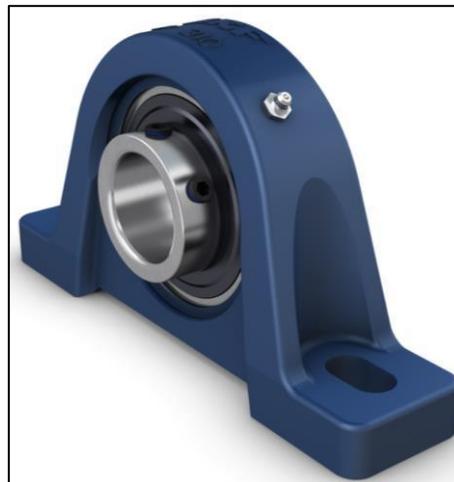
$$L_d = 2500 \text{ h} * 2500 \text{ rpm} * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

$$L_d = 3,75 \times 10^8$$

$$C_{\text{chumacera}} = 4,62 \text{ KN} * \left(\frac{3,75 \times 10^8}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 33,32 \text{ KN}$$

Figura 75. Vista isométrica de una chumacera UCP 208-24.



FUENTE: SKF.

Discusión: Para una carga dinámica de 33,32 KN, se deberá usar una chumacera UCP 208 – 24 (Véase Anexo 17) ya que tiene un diámetro de eje de 38,10 mm y soporta cargas dinámicas superiores al valor encontrado en la (Ecuación 30).

4.4.9. Análisis de la mesa.

La mesa servirá de apoyo para el molino en donde se aplicará tubo cuadrado de 20x20x2,0 mm, cuyo material es acero ASTM A36. La estructura tendrá que resistir a todas las cargas que el molino está ejerciendo, en donde se usará SolidWorks Simulation como respaldo para la validación mediante análisis de elementos finitos.

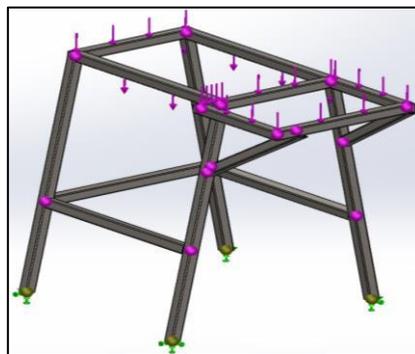
Figura 76. Mesa de soporte del molino.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

El motor ejerce una carga sobre la estructura de 150 N. La materia prima dentro del molino está ejerciendo una carga adicional distribuida uniformemente en la parte superior del molino de 100,55 N, finalmente, se considera una carga adicional debido al peso de los materiales de 500 N.

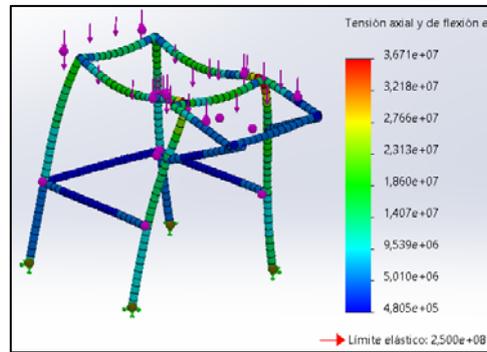
Figura 77. Cargas asignadas sobre la estructura.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

4.4.9.1. Tensión axial y de flexión de la mesa.

Figura 78. Límites de flexión y tensión axial en la mesa.

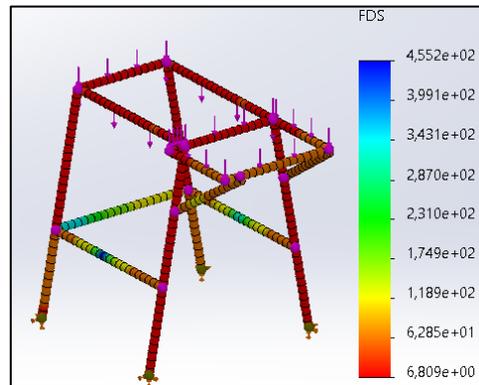


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Con las cargas asignadas la estructura está soportando un esfuerzo de tensión máximo de 36,71 MPa. A pesar de estar alojado en un soporte en voladizo, el motor no ejerce mayor problema en el elemento.

4.4.9.2. Factor de seguridad.

Figura 79. Factor de seguridad en la mesa.



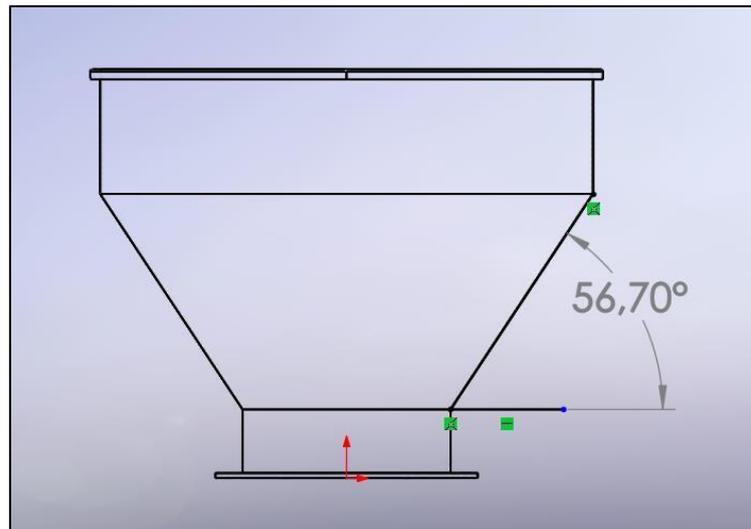
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: El factor de seguridad mínimo de la mesa es de 6,81 en casi todos los elementos, dicho valor es suficiente sabiendo que el factor debe ser mayor a la unidad.

4.4.10. Diseño de la tolva de entrada.

La tolva de entrada tiene como finalidad acumular el jengibre que va a ser triturado en las máquinas y así poder controlar el caudal de trituración mediante un ducto controlado por una compuerta.

Figura 80. Ángulo de inclinación de la tolva.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Los valores del volumen de la tolva de ingreso son de $0,06 \text{ m}^3$ y $0,1 \text{ m}^2$, dichos valores fueron dados por el software SOLIDWORKS. Por lo tanto:

$$V_{\text{tolva in}} = 0,06 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{tolva in}} = 0,1 \text{ m}^2$$

Tabla 17. Propiedades del jengibre.

Información Físico - Química	
Densidad	$905,00 \text{ kg/m}^3$
Refracción	$1,48 - 1,49$
Punto de inflamación	$70 \text{ }^\circ\text{C}$

FUENTE: M. Á. Flores Arteaga

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

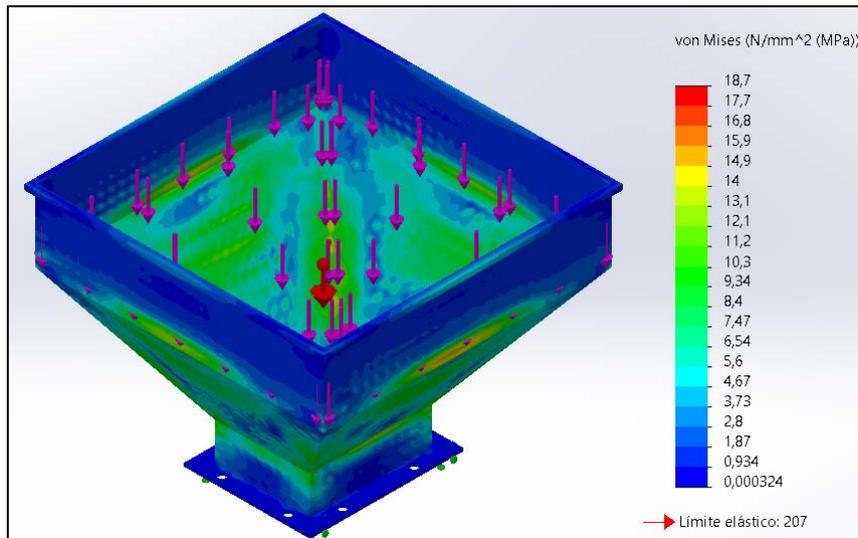
La densidad del jengibre especificado en la Tabla 16 es de 905 kg/m^3 .

$$\rho_{\text{jengibre}} = 905,00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\text{tolva in}} = \left(905 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) * (0,06 \text{ m}^3) * \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$C_{\text{tolva in}} = 532,68 \text{ N}$$

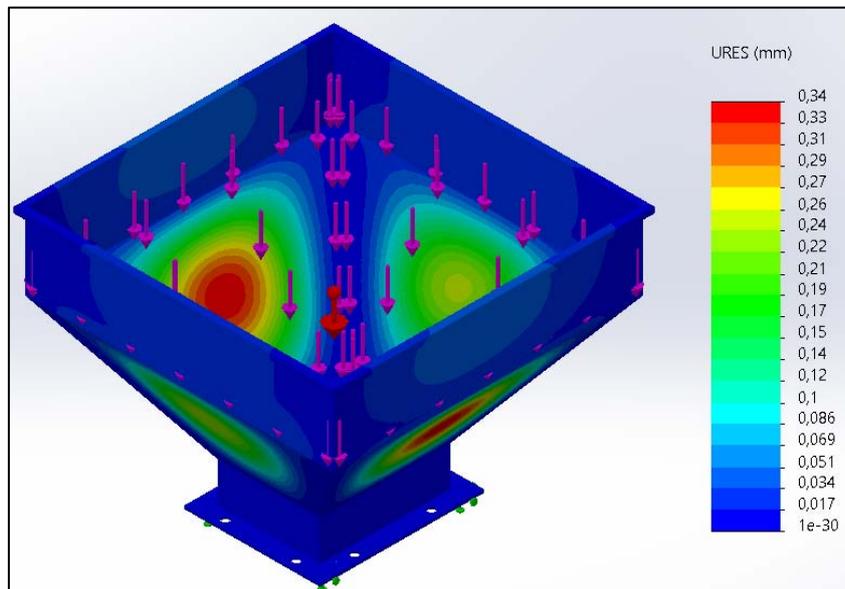
Figura 81. Análisis de esfuerzo de Von Mises de la tolva de entrada.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO

Discusión: En la Figura 81 se representa el resultado del análisis de Von Mises, la máxima tensión encontrada en la tolva es de 18,7 MPa, cuyo valor es menor al límite elástico del ACERO AISI 304 de 207 MPa.

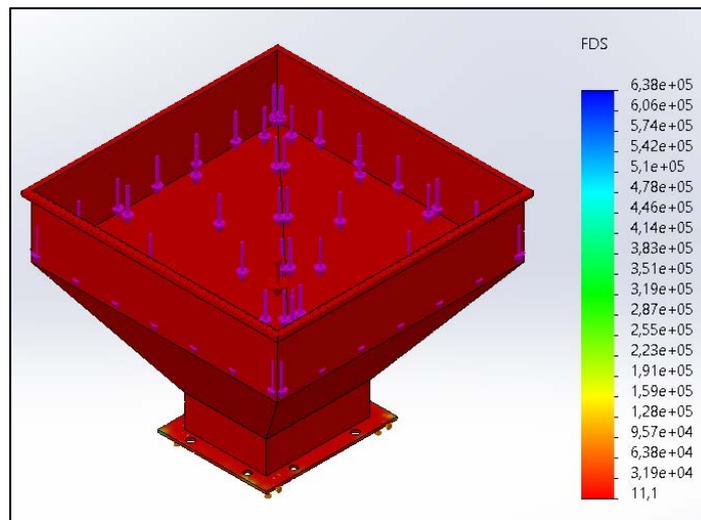
Figura 82. Análisis de desplazamiento de la tolva.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: A la máxima capacidad de carga de la tolva, según la Figura 83, el máximo desplazamiento debido a la acción del jengibre es de 0,34 mm y se encuentra localizado en el centro de la tolva.

Figura 83. Factor de seguridad de la tolva.



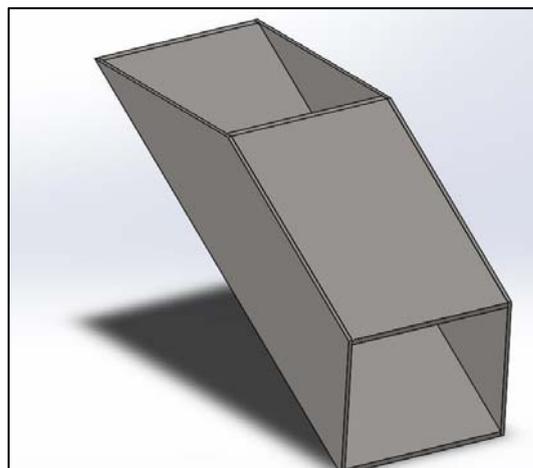
FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO

Discusión: El factor de seguridad mínimo de la tolva de ingreso es de 11,11, valor suficiente para las condiciones de diseño.

4.4.11. Diseño de la tolva de salida.

La tolva de descarga es el conducto de salida de la materia prima procesada y, por lo tanto, debe tener un ángulo de inclinación para permitir que el producto de salida se mueva correctamente hacia fuera. El jengibre triturado se descarga por gravedad, es decir, la tolva de descarga está situada en la parte inferior del molino.

Figura 84. Tolva de salida.

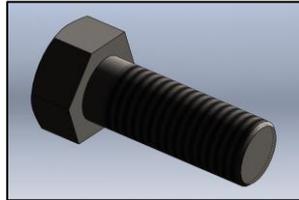


FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: La pared de la tolva de salida está construida con el mismo material que el cuerpo principal y la tolva de entrada; además de no estar sometida a grandes esfuerzos se omitió el proceso de validación.

4.4.12. Selección de pernos.

Figura 85. Perno ASTM F593 3/4.



FUENTE: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

En base a la cargas radiales y axiales que soporta la chumacera se procedió a escoger los pernos que soportaran la misma.

$$C_{\text{chumacera}} = 33,32 \text{ KN}$$

Según las dimensiones de las chumaceras se recomienda usar un perno 3/4 de cabeza hexagonal ASTM F593 3/4, cuya longitud es de 50,80 mm. El esfuerzo axial se lo obtiene aplicando la siguiente formula:

$$\sigma_{\text{perno}} = \frac{4 * (C_{\text{chumacera}})}{\pi * (d_{\text{perno}})^2} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$\sigma_{\text{perno}} = \frac{4 * (33,32 \text{ KN})}{\pi * \left(\frac{19,05}{1000}\right)^2}$$

$$\sigma_{\text{perno}} = 116,90 \text{ MPa}$$

Tabla 18. Dimensiones estándar de perno de cabeza hexagonal ASTM F593 3/4.

d	tpi (UNC)	b nom. (pulg)	k max. (pulg)	s max (pulg)
3/4	10	1,750	0,524	1,125

FUENTE: ASTM.

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO.

Discusión: Debido a la gran capacidad que soportan los pernos seleccionados solo se hizo el análisis de los pernos de soporte de las chumaceras debido a que estos estarán sometidos a la carga de a chumacera, mientras el resto serán pernos de sujeción con cargas mínimas.

4.4.13. Uniones soldadas.

Para realizar las uniones soldadas a los elementos de acero inoxidable se usará el proceso de soldadura por arco eléctrico (SMAW), usando electrodos E308L (acero inoxidable).

El área efectiva de la garganta de la soldadura se obtiene mediante de la siguiente ecuación:

$$t_{\text{garganta}} = 0,707 * h_{\text{garganta}} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde:

t_{garganta} : Espesor de la garganta.

h_{garganta} = Alto de la garganta.

Tabla 19. Valores límites de la garganta de soldadura.

Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo		
Espesor da la pieza (mm)	Garganta,	
	Valor máximo	Valor mínimo
	(mm)	(mm)
04,00-04,20	2,50	2,50
04,30-04,90	3,00	2,50
05,00-05,60	3,50	2,50
05,70-06,30	4,00	2,50
06,40-07,00	4,50	2,50
07,10-07,70	5,00	3,00
07,80-08,40	5,50	3,00
08,50-09,10	6,00	3,50
09,20-09,90	6,50	3,50
10,00-10,70	7,00	4,00

FUENTE: J. V. Méndez Andrade

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO

La altura de la garganta para el cordón de soldadura será de 3 mm, el espesor máximo de la plancha del molino también será de 3 mm. Entonces, obtenemos.

$$t_{\text{garganta}} = 0,707 * (3 \text{ mm})$$

$$t_{\text{garganta}} = 2,121 \text{ mm}$$

4.4.13.1. Esfuerzo de soldadura.

La carga máxima que soporta el material de la soldadura es de 1 KN aproximadamente, mediante dicho resultado se determina el esfuerzo que soporta el cordón de soldadura mediante la siguiente formula:

$$\sigma_{\text{soldadura}} = \frac{P_{\text{máxima}}}{h_{\text{garganta}} * L_{\text{cordón}}} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde:

P = Carga máxima que soporta el cordón.

h_{garganta} = Alto de la garganta.

L_{garganta} = Longitud del cordón.

$$\sigma_{\text{soldadura}} = \frac{1\ 000 \text{ N}}{3 \text{ mm} * 100 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{\text{soldadura}} = 3,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 333 \text{ MPa}$$

Tabla 20. Resistencia del electrodo 308L.

Resistencia del electrodo E308L
Resistencia a la tracción 560 – 520 MPa

FUENTE: J. V. Méndez Andrade

ELABORADO: VÁSQUEZ GARCÍA AARÓN MEDARDO

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- De todos los molinos existentes en el mercado se determinó que el molino de martillos es el que mejor se adaptó con la función de triturar de manera efectiva el jengibre el mismo que se escogió mediante el método de criterios ponderados de entre otros molinos alternativos, permitiendo así obtener calidades muy finas, en donde las dimensiones de molienda son de 0,25 mm.
- El molino usado en esta investigación va a procesar un producto que se utiliza en la industria de alimentos y fármacos, de tal manera que se considera evitar usar materiales que contaminen la materia prima (óxido de hierro o elementos constituyentes del acero de la máquina). El material usado para el diseño de los componentes que estará en contacto con el jengibre será ACERO INOXIDABLE AISI 304.
- Para el diseño del proyecto se ocupó el software de ingeniería CAD SolidWorks, debido a su practicidad y a la facilidad que nos brinda al momento de generar diseños, modificaciones y planos de taller, este último utilizado para conocer las dimensiones y detalles de la máquina, el tiempo empleado en el diseño conceptual del molino fue de aproximadamente 1 mes.
- Los elementos críticos del equipo se validaron a través del complemento CAE SolidWorks Simulation, utilizando la herramienta de simulación estática con la finalidad de encontrar los esfuerzos y factores de seguridad a los que estarán sometidos cada miembro que conforma la máquina en especial las partes que componen el sistema de trituración.

5.2. Recomendaciones.

- Durante el proceso de selección de una alternativa de diseño se deberá tener el conocimiento suficiente como para poder asignar valores a la tabla de ponderación; en caso de no estar de acuerdo con los resultados, se recomienda visitar a industrias dedicadas a la manufactura de cada equipo y así constatar su veracidad.
- En caso de construcción se recomienda lavar constantemente la máquina y así evitar que los componentes se deterioren por los residuos que además puedan contaminar al producto, se debe tener en cuenta que la humedad del jengibre tiene que ser la mínima posible, para poder realizar el proceso de molienda, y así evitar los grumos que obstaculicen el paso de la materia prima.
- Utilizar constantemente un software CAD para efectuar procesos de mejoras constantes a la máquina y así adentrarse al mundo de la innovación, adicional a eso se tendrá que usar los planos de taller realizados para el proceso de construcción.
- Verificar con SolidWorks Simulation que los elementos del molino (en caso de rediseño) cumplen con los parámetros de diseño establecidos, cumpliendo así con normativas, que aseguren el funcionamiento y seguridad de la máquina.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

- [1] U. Siedentopp, El jengibre, una planta medicinal eficaz como medicamento, especia o infusión., Kassel: Revista Internacional de Acupuntura, 2018.
- [2] W. M. Gibbs, Especies y cómo conocerlas, 2020.
- [3] L. Atarama-Valdiviezo, Sistematización de diseño de molinos de martillos fijos para grano, Piura: Universidad de Piura, 2018.
- [4] F. Salas Arango y C. Hall , Equipo para procesamiento de productos agrícolas, Lima, 2018.
- [5] F. S. Nogués, D. García-Galindo y A. Rezeau, Energía de la biomasa, Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2019.
- [6] C. A. Clavijo Ovalle y N. Cardona Duarte, Diseño de un molino de martillos para la producción de pegamento cerámico para la empresa ragraquímicos., Cucuta: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 2018.
- [7] W. Duda, Cemento: Manual tecnológico, Barcelona: Editores técnicos asociados, 2018.
- [8] H. Jaramillo, J. Grueso, D. Herrera, A. Sánchez y H. Sánchez, Tipos de molinos pulvimetalúrgicos y análisis de elementos finitos en una jarra de un molino tipo combinado, Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2016.
- [9] J. G. Brennan, Las operaciones de la ingeniería de los alimentos, Zaragoza: Acriba, 2017.
- [10] G. M. Espín Estrella y F. R. Zambrano Verdesoto, "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE DERIVADOS DEL JENGIBRE EN LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, PERÍODO 2019 - 2020"., Santo Domingo: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE SANTO DOMINGOO, 2020.
- [11] N. M. Vélez López, "Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en el comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de jengibre (*Zingiber officinale*) sembrado en el cantón Quevedo", Quevedo: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO, 2019.

- [12] L. H. López Loza y I. K. Carranza Guachambo, Factibilidad para la producción y comercialización de una bebida a base de jengibre con destino de exportación a Chile, Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2019.
- [13] M. Á. Flores Arteaga, "Elaboración de un endulzante a base de miel de caña de azúcar (Saccharum officinarum) enriquecido con jengibre (Zingiber officinale) y guayusa (Ilex guayusa)", Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2019.
- [14] B. J. Hamrock , B. Jacobson y S. Schmid, Elementos de máquinas, México D. F.: McGRAW-HILL, 2017.
- [15] Información y tecnología, CIT, 1998.
- [16] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, Naucalpan de Juárez: PEARSON Educación, 2018.
- [17] R. L. Norton , DISEÑO DE MÁQUINAS, México D.F.: Prentice Hall, 2019.
- [18] J. L. Cortizo Rodríguez , J. E. Fernández Rico , M. D. R. Fernández Rodríguez, E. Rodríguez Ordóñez, J. M. Sierra Velasco y R. Vijande Díaz, Elementos de máquinas. Teoría y problemas., Oviedo: Universidad de Oviedo, 2018.
- [19] L. Wiley, Diseño de elementos de máquinas, New York: Limusa, 2016.
- [20] J. M. Marín García, Apuntes de Diseño de Máquinas, Madrid: ECU, 2018.
- [21] A. Mora Gutiérrez, Mantenimiento: Planeación, ejecución y control., Alfaomega, 2018.
- [22] E. Barva, Diseño concurrente, Barcelona: UPC, 2017.
- [23] J. Isidro García , Fundamentos del Diseño Mecánico, Cali: Universidad del Valle, 2004.
- [24] R. Ferré Masip, Diseño industrial por computador, Barcelona: marcombo, 2016.
- [25] M. Viejo Zubicaray y J. Álvarez Fernández , Bombas: teoría, diseño y aplicaciones, México D.F: Noriega Editores, 2019.
- [26] DIPAC, «DIPAC,» [En línea]. Available: [https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-304-inoxidable/ejes-aisi-304-inoxidable/#:~:text=Norma%3A%20AISI%20304%20\(Inoxidable\),con%20la%20superficie%20pulida%20espejo..](https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-304-inoxidable/ejes-aisi-304-inoxidable/#:~:text=Norma%3A%20AISI%20304%20(Inoxidable),con%20la%20superficie%20pulida%20espejo..) [Último acceso: 25 Mayo 2022].

- [27] METINVEST, «METINVEST,» [En línea]. Available: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [28] P. Y. A. MINISTERIO DE AGRICULTURA, «MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN,» [En línea]. Available: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/seguridad_directiva.aspx. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [29] G. INDUSTRIAL, «GPR INDUSTRIAL,» [En línea]. Available: <https://www.gprindustrial.com/es/correas-dentadas-tipo-3vx/8545-3VX370-cogged-belt.html>. [Último acceso: 01 Junio 2022].
- [30] SKF, «SKF,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-UCP%20208-24>. [Último acceso: 20 Junio 2022].
- [31] Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de jengibre (*Zingiber officinale* Rosce) variedad hawaiano, en San Lorenzo provincia de Esmeraldas., Cumbayá: Universidad San Francisco de Quito, 2011.
- [32] M. D. Storch, B. Llamas y E. Salette, Organización, gestión y ejecución de proyectos industriales, Díaz Santos, 2019.
- [33] ELEMENTOS DE MÁQUINAS. TEORÍAS Y PROBLEMAS., Oviedo: Área de Ingeniería Mecánica.
- [34] H. Hernández Albañil y É. Espejo Mora, Mecánica de fractura y análisis de falla, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2019.
- [35] A. Zacarías Santiago, Mecánica de fluidos, México. D.F: Grupo Editorial Patria, 2017.
- [36] S. Kalpakjian, Manufactura, ingeniería y tecnología, México: Pearson Education, 2019.
- [37] R. G. Nisbet, Diseño de ingeniería mecánica, New York: Mc Graw Hill, 2018.
- [38] «WEB LATINOAMERICA,» [En línea]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h60/h24/WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf>. [Último acceso: 20 Mayo 2022].

- [39] M. F. Flores Mejía y B. G. Patiño Pozo, "VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE HIERBA LUISA (*Cymbopogon citratus*) Y JENGIBRE (*Zingiber officinale*) EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y DEL TIPO DE SUELO DE LA ZONA DE CULTIVO", Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, 2016.
- [40] TEKNISTORE, «TEKNISTORE,» [En línea]. Available: https://www.teknistore.com/es/gadgets-electricos-y-herramientas/37648-ac-380v-10a-onoff-waterproof-push-button-switch-kao-5bsp210f-1b-push-button.html?mobile_theme_ok. [Último acceso: 17 Junio 2022].

CAPÍTULO VI
ANEXOS

Manual de mantenimiento para molino triturador de jengibre.

Observe las indicaciones:

1. Por seguridad se debe seguir a cabalidad lo indicado en este manual.
2. Las cubiertas que protegen los mecanismos abrirlas en caso de mantenimientos y personas autorizadas.
3. No manipular los mecanismos mientras la maquina este en operación.

Operación:

1. Inspeccionar el mecanismo que esté debidamente ajustado.
2. Verificar que el tablero de control este correctamente instalado, para que no haya problemas de corto circuito.
3. Verificar que todos los mecanismos se encuentran debidamente instalado y en su sitio.

Limpieza:

1. Verificar que la máquina este apagada y el enchufe no esté conectado a la corriente
2. La limpieza del molino debe ser diario para evitar la acumulación de residuos y así evitar el deterioro del equipo.

Equipo de seguridad usado:

De acuerdo con el “reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente”. El operario deberá tener los siguientes ítems:

1. Zapatos punta de acero.
2. Buso fino.
3. Goggles.
4. Casco.

Anexo 1. Frecuencias de mantenimiento.



MOLINO DE MARTILLOS – PLAN DE MANTENIMIENTO



ITEM	PARTE	ACCIÓN	FRECUENCIA														2	3
			1															
			MESES															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	C. Triturador	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	
		Reemplazo																x
2	Motor	Ajuste			x			x			x			x				
		Reemplazo																x
3	Tolva	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Remplazo																
6	Chumacera	Limpieza			x			x			x			x	x	x		
		Reemplazo															x	
7	Martillos	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Reemplazo																x
8	D. Salida	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Reemplazo																

Anexo 2. Ficha técnica del molino de martillos seleccionado.

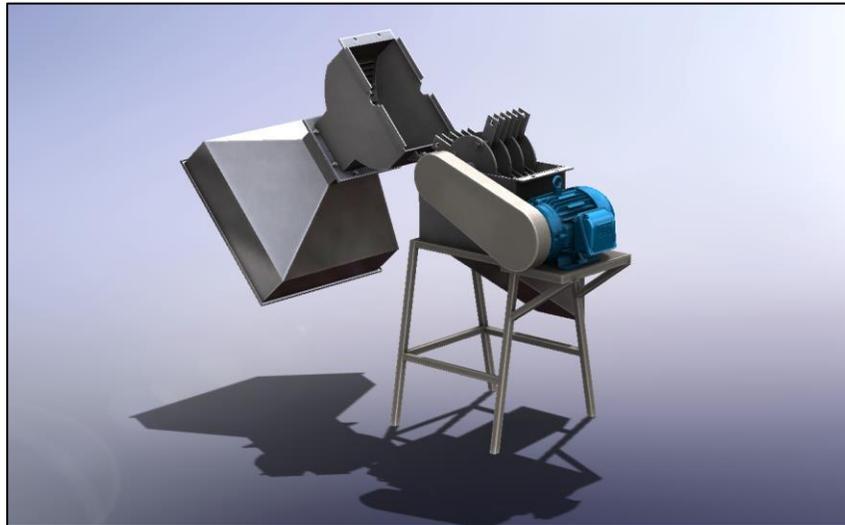
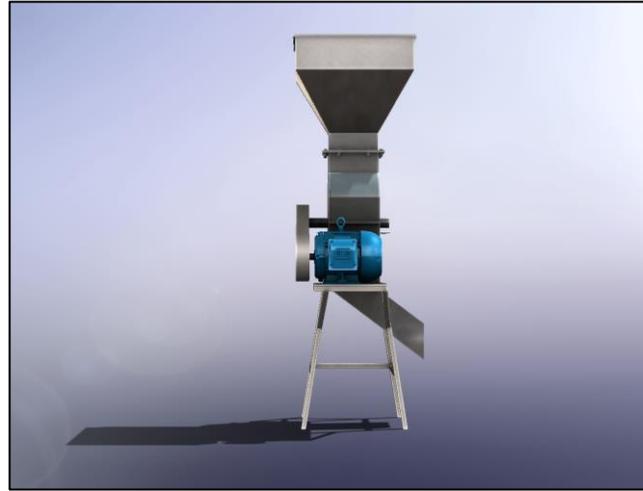
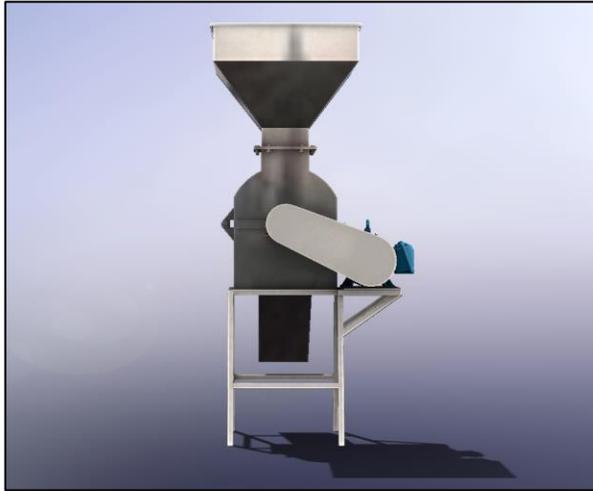
Datos generales de la maquina	
Ficha técnica del motor WEG	
Potencia	5 hp – 3.75 kw
frecuencia	60 Hz
Voltaje	220 V
Revoluciones	1755 rpm
Torque	20 Nm
Origen	Brasil

Capacidad de trabajo	
Capacidad de trituración	200 kg/h – 0.22 T/h
Diámetro de salida del producto triturado	0.25 mm
Capacidad de la tolva de carga	0,06 m ³

Anexo 3. Investigación de campo utilizado para conocer las principales características de los molinos considerados en la matriz de ponderación.



Anexo 4. Vistas generales del molino en el software CAD SolidWorks.



Anexo 5. Eficiencia mecánica del molino.

TABLE G2*: Mechanical Efficiencies (individual components)	APPROX. EFFICIENCY "e"
V-belts and Sheaves	0.94
Precision Roller Chain on Cut Tooth Sprockets, Open Guard	0.93
Precision Roller Chain on Cut Tooth Sprockets, Oil Tight Casing	0.94
Single Reduction Helical Gear Shaft Mounted Speed Reducers and Screw Conveyor Drives	0.95
Double Reduction Helical Gear Shaft Mounted Speed Reducers and Screw Conveyor Drives	0.94
Triple Reduction Helical Gear Shaft Mounted Speed Reducers and Screw Conveyor Drives	0.93
Low Ratio (up to 20:1 range) Enclosed Worm Gear Speed Reducers	0.90
Medium Ratio (20:1 to 60:1 range) Enclosed Worm Gear Speed Reducers	0.70
High Ratio (over 60:1 to 100:1 range) Enclosed Worm Gear Speed Reducers	0.50
Cut Tooth Miter or Bevel Gear, Enclosed Countershaft Box Ends	0.93
Cut Tooth Spur Gears, Enclosed, for Each Reduction	0.93
Cut Tooth Miter or Bevel Gear Open Type Countershaft Box Ends	0.90
Cut Tooth Spur Gears, Open for Each Reduction	0.90
Cast Tooth Spur Gears, Open for Each Reduction	0.85

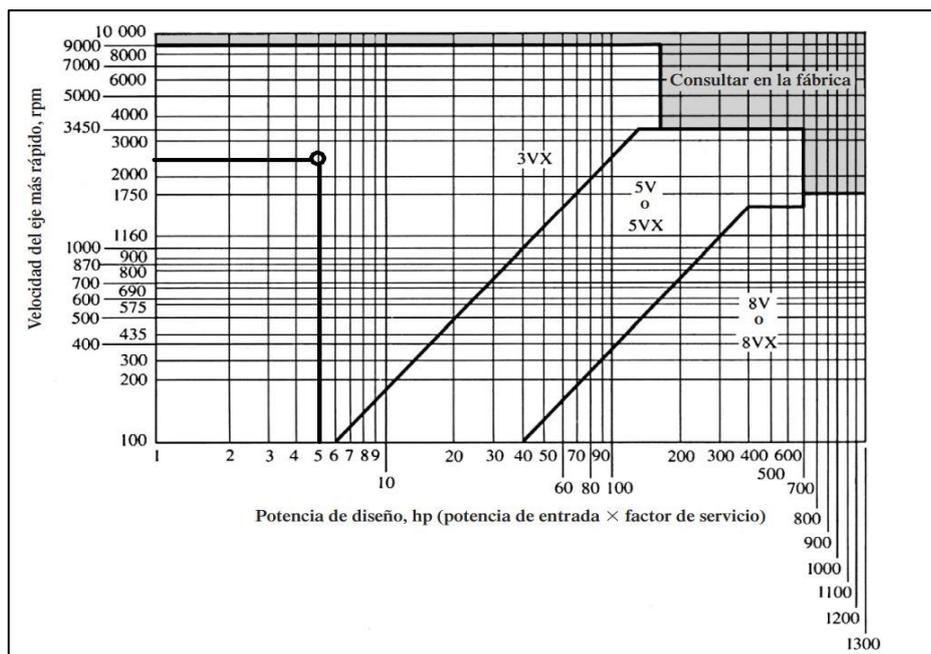
Anexo 6. Eficiencia promedio de un motor trifásico.

Potencia	Potencia	Corriente nominal	Corriente de arranque	Velocidad	Rendimiento
0,5 CV	0,37 kW	1,09 A	4,4 Xn	1.390 rpm	74%
0,75 CV	0,55 kW	1,43 A	7 Xn	1.440 rpm	75%
1 CV	0,75 kW	1,92 A	6,5 Xn	1.415 rpm	76%
1,5 CV	1,9 kW	2,75 A	5,5 Xn	1.440 rpm	77%
2 CV	1,50 kW	3,37 A	7,5 Xn	1.420 rpm	90%
3 CV	2,20 kW	4,91 A	7,5 Xn	1.420 rpm	93%
4 CV	3 kW	6,42 A	7,5 Xn	1.420 rpm	94%
5,5 CV	4 kW	9,45 A	7,5 Xn	1.430 rpm	96%
7,5 CV	5,5 kW	11,9 A	7,3 Xn	1.470 rpm	99%
9 CV	7,5 kW	15,1 A	7,5 Xn	1.470 rpm	99%
15 CV	11 kW	22,9 A	7 Xn	1.470 rpm	90%
20 CV	15 kW	30,3 A	6 Xn	1.460 rpm	91%
25 CV	19,5 kW	36,5 A	7,5 Xn	1.470 rpm	92%
30 CV	22 kW	42,2 A	7,5 Xn	1.475 rpm	92%

$\eta_{\text{motor prom.}}$

88,43%

Anexo 7. Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta. [17]



Anexo 8. Descripción de correa 3VX - 370 para una longitud primitiva de 35,70 in [30].

Descripción	Correa dentada en V tipo 3VX
Ancho superior	3/8 in
Altura	21/64 in
Longitud interna	35 in
Longitud externa	37in
Peso	0,14 lb

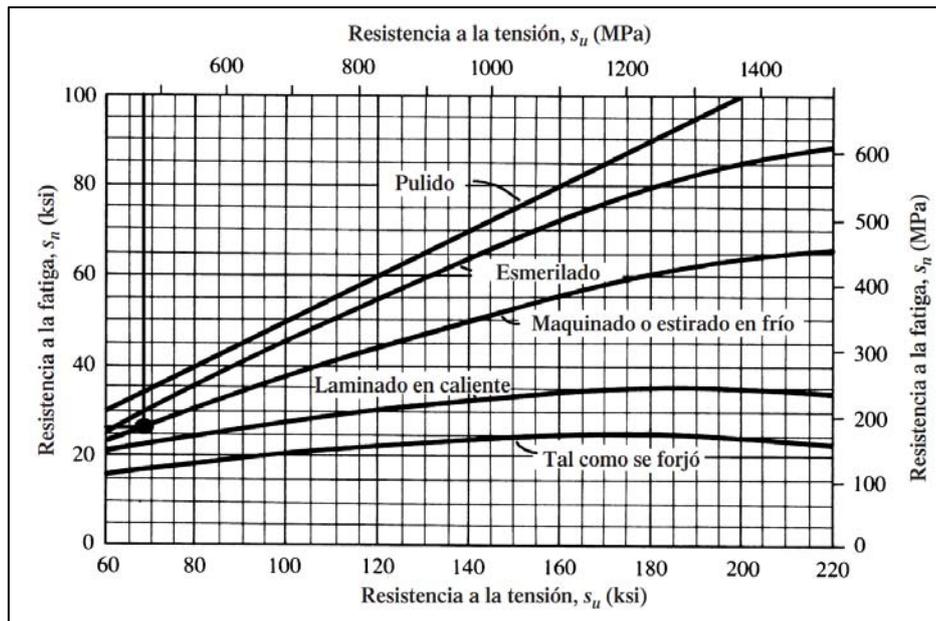
Anexo 9. Factor de concentración de esfuerzos (K_t) [16].

Cuñeros	Valor
De perfil	2,0
De trineo	1,6
Chaflanes	Valor
Agudo	2,5
Transición bien redondeada	1,5

Anexo 10. Factores de diseño (N) [16].

Materiales dúctiles	
1,25 a 2,0	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para la que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2.0 a 2,5	Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
2,5 a 4,0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o en el ambiente.
4,0 o más	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a algunas combinaciones de cargas, propiedades del material,

Anexo 11. Resistencia a la fatiga modificada (S_n) [16].



Anexo 12. Factor de material (C_m) [16].

Acero forjado	1,00	Hierro colado maleado	0,80
Acero colado	0,80	Hierro colado gris	0,70
Acero pulverizado	0,76	Hierro colado dúctil	0,66

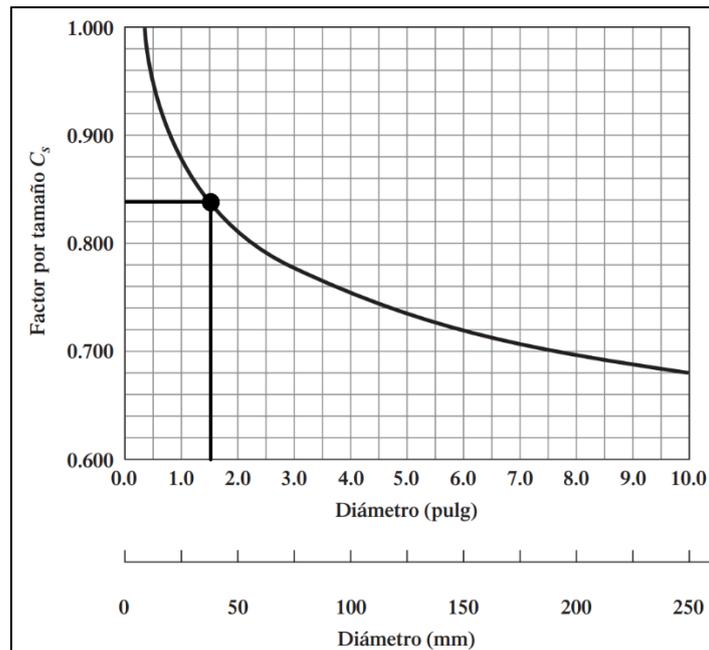
Anexo 13. Factor de tipo de esfuerzo C_{st} [16].

Esfuerzo flexionante	1,0
Esfuerzo axial	0,80

Anexo 14. Factores de confiabilidad aproximados (C_R) [16].

Confiabilidad deseada C_R	
0,50	1,0
0,90	0,90
0,99	0,81
0,999	0,75

Anexo 15. Factor por tamaño C_s [16].



Anexo 16. Corriente soportado por los cables de cobre.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	18 AWG	10 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	16 AWG	13 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A	14 AWG	18 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A	12 AWG	25 A

Anexo 17. Carga dinámica máxima soportado por chumaceras $d=38,10$ mm [30].

Designación	Carga dinámica máxima soportada
SY 1.1/2 TR	30,70 KN
UCP 208-24	32,50 KN
P2BM 108-TF-AH	33,20KN

Anexo 18. Propiedades del material F593.

Grupo de aleación	Condición	Marcado	Rangos de diámetro	Prueba de carga, Tuercas hex, ksi	Prueba de carga, Tuercas hex pesadas, ksi	Dureza Rockwell
1	AF	F593A	1/4 a 1-1/2	65 a 85	20	B85 max
	A	F593B	1/4 a 1-1/2	75 a 100	30	B65 a 95
	CW1	F593C	1/4 a 5/8	100 a 150	65	B95 a C32
	CW2	F593D	3/4 a 1-1/2	85 a 140	45	B80 a C32
2	AF	F593E	1/4 a 1-1/2	65 a 85	20	B85 max
	A	F593F	1/4 a 1-1/2	75 a 100	30	B65 a 95
	CW1	F593G	1/4 a 5/8	100 a 150	65	B95 a C32
	CW2	F593H	3/4 a 1-1/2	85 a 140	45	B80 a C32

PLANOS