



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 CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA GRAMÍNEAS Y
TUBÉRCULOS PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA ZONA 5 DE LA
PROVINCIA DE LOS RÍOS.”**

Autores:

Espinoza Delgado Tito Alexander

Sarmiento Gómez Darwin Joel

Director del proyecto de Investigación:

Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Tito Alexander Espinoza Delgado** y **Darwin Joel Sarmiento Gómez** declaramos que la presente investigación aquí descrita es de nuestra total autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos 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.

Tito Alexander Espinoza Delgado

C.C#1205386103

f.

Darwin Joel Sarmiento Gómez

C.C#1207594738

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Rodger Benjamin SalazarLoor, Msc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **Tito Alexander Espinoza Delgado** y **Darwin Joel Sarmiento Gómez**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA GRAMÍNEAS Y TUBÉRCULOS PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA ZONA 5 DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f.



Firmado electrónicamente por:
**RODGER
BENJAMIN
SALAZAR LOOR**

Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor Msc.
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 los señores **Espinoza Delgado Tito Alexander** y **Sarmiento Gómez Darwin Joel**, estudiantes egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la modalidad presencial, una vez que finalizaron el proyecto de investigación titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA GRAMÍNEAS Y TUBÉRCULOS PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA ZONA 5 DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS**”, tengo a bien informar que la respectiva revisión se realizó por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 6%.

Se adjunta imagen del Sistema Urkund.

	
Documento	MOLINO GRAMINEAS.docx (D116112128)
Presentado	2021-10-22 18:18 (-05:00)
Presentado por	Rodger (rsalazarl@uteq.edu.ec)
Recibido	rsalazarl.uteq@analysis.urkund.com
Mensaje	TESIS MOLINO GRAMINEAS Mostrar el mensaje completo
	6% de estas 37 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.

f.



Firmado electrónicamente por:
**RODGER
BENJAMIN
SALAZAR LOOR**

Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor Msc.
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 construcción de un molino para gramíneas y tubérculos para pequeños agricultores de la zona 5 de la provincia de Los Ríos”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:



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

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Yusimit Karina Zamora Hernandez MSc.



Firmado electrónicamente por:
**GABRIEL
ALEJANDRO
ARELLANO ORTIZ**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro MSc.

1804259743 DIEGO
JAVIER PUNINA
GUERRERO

Digitally signed by 1804259743 DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO
DN: 1.3.6.1.4.1.37442.10.4=1804259743, cn=PUNINA GUERRERO
DIEGO JAVIER, givenName=DIEGO JAVIER, 2.5.4.37=1804259743001,
c=EC, serialNumber=1804259743, sn=PUNINA GUERRERO,
cm=1804259743 DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO,
email=dieguin_5520@hotmail.com, 2.5.4.13=Certificado para
Persona Natural con RUC, st=TUNGURAHUA, 1=AMBATO,
ou=Certificado de Representante Legal de Persona Juridica EC
Date: 2021.12.02 21:38:02 -05'00'

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Diego Javier Punina Guerrero MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS - ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

Por medio de este trabajo agradezco a Dios por haber puesto durante este duro camino universitario a personas que ayudaron a culminar un peldaño más en mi vida, por compañeros que durante la carrera se convirtieron en mis mejores amigos en un apoyo emocional, no me dejaron desmayar y con esmero supieron guiarme para no quedar estancado, por haberme dado unos padres excelentes que me han apoyado con fervor y mucha dedicación, quienes gracias a ellos me inculcaron buenos valores para ser una persona de bien y permitirme estudiar la gloriosa carrera de Ingeniería Mecánica.

A mis queridos profesores que durante mis años de estudios estuvieron guiándome, quienes estuvieron dispuestos a compartir un poco de sus conocimientos, orientándome para formarme como profesional.

A mis amigos y colegas de carrera, Cristófer Wong, Josencka Sarmiento, Jair Pincay, Eduardo, Gustavo, José, Francois, Víctor, Aldo, Daniel, Jean, Luis, Priscila, Melissa, Keyla, Erika, Bianca, y en especial a Keyla Limones quien me ayudo a confiar plenamente en mí para poder realizar todo aquello que me he propuesto, personas que siempre estuvieron ahí para orientarme directa o indirectamente con el desarrollo de este Trabajo investigativo, con sus buenos consejos y mejores deseos.

Agradezco de corazón a mis padres, hermanos que son parte de mi vivir diario, que, gracias a su apoyo, tanto emocional como económico, para seguir con el legado que es la preparación académica y poder integrarme como un profesional como Ingeniero Mecánico.

A cada uno de mis profesores que durante todo este tiempo preparándome académicamente han aportado un granito de arena para mi desarrollo y preparación en la vida. A mi Director de proyecto de investigación, el Ing. Rodger Salazar, por ser el guía principal durante el desarrollo de este Tema de investigación, que gracias a sus conocimientos logre avanzar con las investigaciones del proyecto satisfactoriamente.

Tito Alexander Espinoza Delgado.

“Aunque sientas el peso de tu debilidad, haz arder la llama de tu corazón.”

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a mi padre Darwin y a mi madre Pilar que estuvieron apoyándome en este largo camino, sin ellos no hubiera llegado hasta el lugar donde estoy ahora; también, agradezco a mi hermano Thiago y a mi hermana Fiorella que de manera indirecta fueron una motivación para alcanzar mis objetivos y ser ejemplo para ellos.

Agradezco a todos mis docentes que impartieron sus conocimientos durante toda mi carrera universitaria, además de guiar y orientarme para ser un profesional competente y con deseos de aprender todos los días.

Tengo que agradecer de la manera más especial al Ing. Rodger Salazar Msc. por brindarnos la oportunidad de ser nuestro asesor en este trabajo de titulación, por compartir sus ideas ganadas en toda su carrera como profesional y guiarnos a hacer un gran Trabajo de titulación. Agradezco por habernos facilitado los medios para cumplir con todas las actividades estipuladas durante el desarrollo de este Trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a mi compañero de titulación Tito Espinoza por permitirme trabajar en conjunto en este Trabajo de investigación y poder cumplir con el objetivo de ser Ingenieros Mecánicos.

Darwin Joel Sarmiento Gómez.

DEDICATORIA

En este Trabajo de investigación me gustaría dedicarles a mis padres Héctor Espinoza y Miriam Delgado, quienes, gracias a ellos, a sus incansables esfuerzos y dedicación me han permitido culminar un tramo más de este largo camino que se llama vida, quienes a ellos les debo mi culminación de carrera universitaria como Ingeniero Mecánico.

Tito Alexander Espinoza Delgado

DEDICATORIA

Este Trabajo de investigación va dedicado a mi padre Darwin y madre Pilar por sus buenos consejos y sus constantes esfuerzos para permitirme lograr cumplir el objetivo de ser Ingeniero Mecánico y poder tener más posibilidades para alcanzar mis objetivos.

Darwin Joel Sarmiento Gómez

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar y construir un molino para gramíneas y tubérculos, de tal manera que cumpla con las necesidades de los pequeños agricultores de la Zona 5 de la provincia de los Ríos. Se inició caracterizando el maíz, el cacao y café para conocer sus propiedades y mediante el método de ponderación se seleccionó el molino de eje sin fin, considerando que se utilizará para la trituración de alimentos, se recomienda el uso de materiales no perjudiciales para la salud. Se determinan parámetros para el cálculo, dimensionamiento, diseño, validación y construcción del molino. El procedimiento inicia con el ingreso de la materia prima por la tolva, luego pasa a ser transportada por el tornillo de hélices helicoidales y finalmente llega hasta los discos de muelas donde el producto sale triturado. Para agilizar el proceso de construcción de la máquina se procedió con el modelado de las distintas piezas en el software CAD, ensamble y realización de los planos de taller mediante el software CAD SolidWorks. Luego, se efectuó la respectiva construcción en donde se realizaron varias pruebas de molienda con el maíz para verificar si la trituración de los granos es satisfactoria, obteniéndose resultados positivos y un nivel de calidad de trituración aceptable. Los costos totales de fabricación del proyecto son de \$ 1111,75. El molino está diseñado para ser comercializado a los pequeños agricultores que deseen mejorar su producción hasta $1 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ y así aumentar sus ingresos económicos.

Palabras claves: Molino triturador, SolidWorks, Materia prima, Diseño de máquinas.

ABSTRACT

The main objective of this research work is to design and build a mill for grasses and tubers, so that it meets the needs of small farmers in Zone 5 of the province of Los Ríos. The first step was to characterize the corn, cocoa and coffee to know their properties and by means of the weighting method, the worm shaft mill was selected, considering that it will be used to grind food, it is recommended to use materials that are not harmful to health. Parameters are determined for the calculation, sizing, design, validation and construction of the mill. The procedure starts with the entry of the raw material through the hopper, then it is transported through the helical screw and finally reaches the grinding discs where the product is crushed. To speed up the construction process of the machine, we proceeded with the modeling of the different parts in the CAD software, assembly and realization of the workshop drawings using the CAD SolidWorks software. Then, the respective construction was carried out, where several grinding tests were performed with the corn to verify if the crushing of the grains is satisfactory, obtaining positive results and an acceptable level of crushing quality. The total manufacturing costs of the project are \$1111.75. The mill is designed to be marketed to small farmers who wish to improve their production up to 1 ton/h and thus increase their economic income.

Keywords: Grinding mill, SolidWorks, Raw material, Machine design.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
TABLA DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxi
ÍNDICE DE ANEXOS	xxii
CÓDIGO DUBLÍN.....	xxiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xxiv
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.....	5
1.2.1. Objetivo General.	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5

1.3.	Justificación.....	6
CAPÍTULO II - FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....		7
2.1.	Marco conceptual.	8
2.1.1.	Gramíneas.....	8
2.1.2.	Tubérculos.....	8
2.1.3.	Molino.	9
2.1.4.	Tipos de Molinos.....	9
2.1.5.	Parámetros para la selección de un molino.	13
2.2.	Marco referencial.....	14
2.2.1.	Energía necesaria para la desintegración de los sólidos.....	14
2.2.2.	Ley de Rittinger.....	15
2.2.3.	Ley de Kick.	15
2.2.4.	Ley de Bond.	15
2.2.5.	Transmisión por cadenas.....	15
2.2.6.	Selección de rodamientos.....	17
2.2.7.	Ingeniería concurrente.....	18
2.2.8.	Estructura del diseño.	19
2.2.9.	Herramientas para el diseño concurrente.	20
2.2.9.1.	Modularidad y complejidad de un proceso.	20
2.2.9.2.	Módulos funcionales.	20
2.2.9.3.	Módulo constructivo.	20
2.2.10.	Características de la estructura modular.....	20
2.2.11.	Estructura funcional.	21
CAPÍTULO III - METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		24
3.1.	Localización.....	25
3.2.	Tipo de investigación.....	25

3.2.1.	Investigación de campo y bibliográfica.	25
3.2.2.	Investigación descriptiva.	26
3.2.3.	Investigación Linkográfica.	26
3.3.	Métodos de investigación.	26
3.3.1.	Método analítico.	26
3.3.2.	Método bibliográfico.	26
3.3.3.	Método científico.	27
3.4.	Fuentes de recopilación de información.	27
3.5.	Diseño de la investigación.	27
3.6.	Instrumentos de investigación.	27
3.7.	Tratamiento de los datos.	28
3.8.	Recursos humanos y materiales.	28
3.8.1.	Recurso humano.	28
3.8.2.	Recurso material.	28
CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN.		29
4.1.	Resultados.	30
4.1.1.	Resultados esperados.	30
4.2.	Parámetros de selección según diversas características.	30
4.2.1.	Calidad de la molienda de los tubérculos y gramíneas.	31
4.2.2.	Contaminación por molibdeno en los materiales que estén en contacto con el producto (gramíneas y tubérculos).	31
4.2.3.	Distancia de operación de maquinaria.	31
4.2.4.	Facilidad de construcción y montaje.	31
4.2.5.	Costos de fabricación.	31
4.2.6.	Mantenimiento.	32
4.2.7.	Vibraciones.	32

4.3.	Ponderación para la selección del molino.	32
4.4.	Matriz QFD para las necesidades del consumidor.	33
4.4.1.	Matriz central con sus requerimientos.	33
4.4.2.	Ponderación de los resultados de la matriz QFD.	35
4.4.3.	Análisis de competencia.	35
4.5.	Dimensionamiento y validación.	36
4.5.1.	Establecer los requisitos de transportación y trituración.	37
4.5.2.	Identificar el material y el código de material correspondiente.	37
4.5.3.	Capacidad, tamaño y la velocidad del transportador.	40
4.5.4.	Cálculo de la potencia del molino.	41
4.6.	Parámetros de transmisión por cadenas.	54
4.6.1.	Potencia de diseño.	54
4.6.2.	Selección de motor y reductor de velocidad.	55
4.6.3.	Relación de transmisión.	56
4.6.4.	Número de dientes de las catarinas.	56
4.6.5.	Diámetros de paso.	57
4.6.6.	Longitud necesaria de la cadena.	58
4.6.7.	Ángulo de contacto.	59
4.7.	Selección de la chumacera.	61
4.8.	Diseño de los discos trituradores.	62
4.8.1.	Disco triturador estático.	62
4.8.2.	Disco triturador móvil.	63
4.8.3.	Materiales para la construcción de los discos.	63
4.8.4.	Peso de los discos trituradores.	64
4.9.	Diseño y validación de la estructura de soporte del molino.	66
4.9.1.	Sujeciones fijas y cargas asignadas a la estructura.	66

4.9.2.	Mallado para simulación estructural.	67
4.9.3.	Límites máximos y mínimos de tensión y flexión.	68
4.9.4.	Deformación de la estructura.	69
4.9.5.	Factor de seguridad.	70
4.10.	Costos del proyecto.	71
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
5.1.	Conclusiones.....	74
5.2.	Recomendaciones.	75
CAPÍTULO VI - BIBLIOGRAFÍA.....		76
6.1.	Bibliografía.....	77
CAPÍTULO VII - ANEXOS		80

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I MATRIZ DE PONDERACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE UN MOLINO ..	33
TABLA II MATRIZ QFD (REQUERIMIENTOS DEL USUARIO).....	34
TABLA III RESULTADO DE LA PONDERACIÓN.....	35
TABLA IV CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL [24]	38
TABLA V CÓDIGO DE CLASIFICACIÓN DEL MAÍZ, CAFÉ Y CACAO [24]	39
TABLA VI CAPACIDAD DE TRITURACIÓN PARA EL MAÍZ, CACAO Y CAFÉ	44
TABLA VII TAMAÑO MÁXIMO DE LOS GRUMOS PARA TORNILLOS ESTÁNDAR [24].....	48
TABLA VIII PAR DE TORSIÓN MÁXIMO DE LOS COMPONENTES (LBS.IN) [24]	50
TABLA IX CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TUBO DEL TRANSPORTADOR [24].....	50
TABLA X DEFLEXIÓN PARA TUBOS DE ACERO AL CARBONO [24]	52
TABLA XI LÍMITES DE ÁNGULO DE EXTREMO DEL EJE [24]	53
TABLA XII CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA HÉLICE DEL TRANSPORTADOR.....	53
TABLA XIII FACTOR DE SERVICIO [16].....	54
TABLA XIV ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN MOTOR-REDUCTOR [25]	55
TABLA XV DIMENSIONES DE LA CHUMACERA.....	61
TABLA XVI FACTOR DE CONVERSIÓN DE UNIDADES DISCO TRITURADOR ESTÁTICO	64
TABLA XVII FACTOR DE CONVERSIÓN DE UNIDADES DISCO TRITURADOR MÓVIL	64
TABLA XVIII CARGA SOPORTADA POR LA ESTRUCTURA.....	67
TABLA XIX RESULTADO DE LA SIMULACIÓN	70

TABLA XX COSTOS DE MATERIALES	71
TABLA XXI MANO DE OBRA	71
TABLA XXII COSTO TOTAL DEL MOLINO	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Estructura general de las gramíneas. [2]	8
Fig. 2 Foto de tubérculos de una planta de yuca. [3].....	9
Fig. 3 Molino de piedra. [7].....	10
Fig. 4 Molino de martillo (corte en vista lateral). [9]	10
Fig. 5 Molino de bolas. [10]	11
Fig. 6 Molino de rodillos. [11]	12
Fig. 7 Molino de eje sin fin y sus partes. [13]	12
Fig. 8 Logotipo de SolidWorks. [15].....	14
Fig. 9 Simulación de un objeto durante la fase de diseño. [15].....	14
Fig. 10 Geometría básica de una transmisión por piñón. [18].....	16
Fig. 11 Tipos de cadenas de rodillos. [18].....	16
Fig. 12 Nomenclatura de un rodamiento típico. [18]	17
Fig. 13 Pasos comprendidos en el diseño y la manufactura de un producto según su complejidad. [22].....	18
Fig. 14 Ciclo básico de diseño. [21]	19
Fig. 15 Caja negra [22].	21
Fig. 16 Ejemplo de la esquematización de una matriz QFD [21].....	22
Fig. 17 Ubicación geográfica. [25]	25
Fig. 18 Comparación de las diferentes alternativas.	36
Fig. 19 Pesa convencional usada para medir la fuerza de trituración.....	43
Fig. 20 Proceso experimental para seleccionar la fuerza necesaria para la trituración.	43
Fig. 21 Holgura radial del tornillo y el canalón. [24]	49
Fig. 22 Sentido de giro del tornillo en dirección a las agujas del reloj.	49
Fig. 23 Motor reductor de velocidad de origen chino.	55

Fig. 24 Catarinas pequeñas y grandes.	57
Fig. 25 Distancia entre centros de piñones.	58
Fig. 26 Representación gráfica de los valores obtenidos.	60
Fig. 27 Chumacera SKF de 1 ½ in.	61
Fig. 28 Configuraciones geométricas usadas en muelas de molinos a lo largo de la historia.	62
Fig. 29 Disco triturador fijo con orejas de soporte.	63
Fig. 30 Disco triturador giratorio.	63
Fig. 31 Propiedades físicas del disco triturador estático.	64
Fig. 32 Propiedades físicas del disco triturador móvil.	65
Fig. 33 Vista isométrica de la estructura (antes de colocar las cargas).	66
Fig. 34 Vista isométrica de la estructura (asignaciones de las cargas).	67
Fig. 35 Detalles de la malla usada para la simulación de la estructura de soporte.	68
Fig. 36 Mallado, apoyos y cargas de la estructura de soporte del molino.	68
Fig. 37 Límites de flexión y tensión existentes en la estructura.	69
Fig. 38 Deformación en la estructura de soporte.	69
Fig. 39 Factor de seguridad en la estructura.	70

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Velocidad de rotación aparente del molino.	40
Ecuación 2. Capacidad del molino.	40
Ecuación 3. Potencia de fricción.	41
Ecuación 4. Potencia del material.....	42
Ecuación 5. Fuerza necesaria para la molienda.	44
Ecuación 6. Torque necesario para la molienda.	44
Ecuación 7. Potencia para la trituración.	45
Ecuación 8. Potencia mínima de impulso.....	45
Ecuación 9. Factor de potencia de sobrecarga.....	46
Ecuación 10. Espacio libre radial.	48
Ecuación 11. Capacidad de torsión.....	50
Ecuación 12. Deflexión o pandeo del transportador.....	51
Ecuación 13. Segundo momento de inercia.....	51
Ecuación 14. Ángulo de flexión del tubo.	52
Ecuación 15. Potencia de diseño del sistema de transmisión.	54
Ecuación 16. Relación de transmisión.....	56
Ecuación 17. Velocidad angular de salida esperada.	57
Ecuación 18. Diámetro de paso de los piñones.	57
Ecuación 19. Longitud de la cadena.	59
Ecuación 20. Ángulo de contacto para las catarinas.....	59
Ecuación 21. Peso total de los discos de trituración.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Capacidad del transportador.	82
Anexo 2. Factor de potencia del diámetro del transportador.	84
Anexo 3. Factor de potencia del cojinete de suspensión.	85
Anexo 4. Factor de modificación de vuelo.....	85
Anexo 5. Factor de modificación de las aspas.	85
Anexo 6. Factor de sobrecarga F_o	86
Anexo 7. Eficiencia mecánica "e".	86
Anexo 8. Catálogo de motores eléctricos WEG, según su potencia y algunas características adicionales.	86
Anexo 9. Dimensionamiento del transportador.....	87
Anexo 10. Capacidades para cadena simple número 40 con paso 0,5 in.	88
Anexo 11. Ensamble de la estructura metálica.....	89
Anexo 12. Dobles de las tapas frontales y posteriores.	90
Anexo 13. Trazado, Corte y perforado de las bridas del canalón	91
Anexo 14. Rolado del canalón y canalón reductor.....	92
Anexo 15. Soldadura de las bridas en el canalón y remoción de escoria.....	93
Anexo 16. Torneado del eje para soldadura de las hélices de avance.....	94
Anexo 17. Pintado de la con epóxido a las partes del molino.....	95
Anexo 18. Máquina ensamblada, antes y después de pintarla.	96

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Diseño y construcción de un molino para gramíneas y tubérculos para pequeños agricultores de la zona 5 de la provincia de los Ríos.			
Autor:	Espinoza Delgado Tito Alexander; Sarmiento Gómez Darwin Joel			
Palabras claves:	Molino	SolidWorks	Gramíneas y tubérculos	Diseño de máquinas
Fecha de publicación:	Diciembre 2021			
Editorial:	Quevedo: UTEQ 2021			
Resumen:	Resumen. - Se inició caracterizando el maíz, el cacao y café para conocer sus propiedades y mediante el método de ponderación se seleccionó el molino de eje sin fin, considerando que se utilizará para la tritución de alimentos. Se determinaron parámetros para el cálculo, dimensionamiento, diseño, validación y construcción del molino. El procedimiento inicia con el ingreso de la materia prima por la tolva, luego pasa a ser transportada por el tornillo de sinfín y finalmente llega hasta los discos de muelas donde el producto sale triturado. Para el proceso de construcción de la máquina se procedió con el modelado de las distintas piezas en el software CAD, ensamble y realización de los planos de taller mediante el software. Luego, se efectuó la respectiva construcción en donde se realizaron varias pruebas de molienda con el maíz para verificar si la tritución de los granos es satisfactoria, obteniéndose resultados positivos. Los costos totales de fabricación del proyecto son de \$ 1111,75. El molino está diseñado para ser comercializado a los pequeños agricultores que deseen mejorar su producción hasta $1 \frac{\text{Ton}}{\text{k}}$ y así aumentar sus ingresos económicos. Abstract. - It began by characterizing corn, cocoa and coffee to find out their properties and using the weighting method, the endless shaft mill was selected, considering that it will be used for food grinding. Parameters were determined for the calculation, dimensioning, design, validation and construction of the mill. The procedure begins with the entry of the raw material through the hopper, then it is transported by the worm screw and finally reaches the grinding wheels where the product comes out crushed. For the construction process of the machine, the different parts were modeled in CAD software, assembly and workshop drawings were made using the software. Then, the respective construction was carried out where several grinding tests were carried out with the corn to verify if the grinding of the grains is satisfactory, obtaining positive results. The total manufacturing costs for the project are \$ 1,111.75. The mill is designed to be marketed to small farmers who wish to improve their production up to 1 Ton / k and thus increase their economic income.			
Descripción:	118 hojas: Dimensiones 29 x 21 cm: CD - ROM			
URL:				

LISTA DE ABREVIATURAS

- $\emptyset$: Ángulo de flexión del tubo.
- θ : Ángulo de contacto para las catarinas.
- θ_1 : Ángulo de contacto para la catarina pequeña.
- θ_2 : Ángulo de contacto para la catarina grande.
- $\dot{v}$: Capacidad requerida o caudal de transportación.
- α : Volumen transportado por revolución.
- $\dot{m}$: Flujo másico de la materia prima.
- $\rho_{\text{maíz}}$: Densidad máxima del producto a triturar.
- ω_{entrada} : Velocidad angular de entrada.
- ω_{salida} : Velocidad angular de salida.
- $\omega_{\text{resultante}}$: Velocidad angular real del transportador.
- C : Distancia entre centros de las catarinas.
- d : Diámetro del eje.
- D : Diámetro de paso para las catarinas.
- D_1 : Diámetro de paso de la catarina pequeña.
- D_2 : Diámetro de paso de la catarina grande.
- D_{eje} : Deflexión o pandeo del eje del transportador.
- D_n : Diámetro nominal del eje.
- e : Eficiencia mecánica.
- E : Módulo de elasticidad del acero al carbono.
- E_{libre} : Espacio libre radial requerido.
- f_s : Factor de servicio.
- F_b : Factor de potencia del cojinete de suspensión.

F_d : Factor de potencia del diámetro del transportador.

F_r : Factor de potencia de modificación del vuelo.

F_m : Factor de material.

F_o : Factor de potencia de sobrecarga.

F_p : Factor de modificación de las aspas.

F_t : Fuerza de trituración.

g : Aceleración de la gravedad.

HP_f : Potencia de fricción.

HP_m : Potencia del material.

HP_{motor} : Potencia usada en el motor.

H_r : Holgura radial entre la hélice y el canalón.

HP_t : Potencia de trituración.

HP_{total} : Potencia mínima requerida.

I : Segundo momento de inercia.

L : Longitud del transportador.

L_{cadena} : Longitud de la cadena.

L_p : Longitud de la palanca.

m_{de} : Masa de disco estático.

m_{dg} : Masa de disco giratorio.

m_t : Masa de trituración.

N_1 : Número de dientes de la catarina pequeña.

N_2 : Número de dientes de la catarina grande.

n : Número de hélices.

$N_{aparente}$: Velocidad de angular aparente del transportador.

N_f : Velocidad angular de funcionamiento del transportador.

P_d : Potencia de diseño.

r: Relación de transmisión.

R_{clase}: Relación de clase.

T: Capacidad de torsión.

T_{bulto}: Tamaño del bulto.

T_t: Torque de trituración.

W: Peso de cada hélice.

W_{discos}: Peso de los discos.

W_{de}: Peso del disco estático.

W_{dg}: Peso del disco giratorio.

INTRODUCCIÓN

El territorio ecuatoriano históricamente se lo considera como un país netamente agrícola. Los principales productos de la costa producidos y comercializados a nivel local e internacional son: maíz, cacao y banano. La producción no solamente está basada en la alimentación sino también en el aporte económico que este brinda a la estabilidad económica a los agricultores a través de la comercialización.

El desarrollo de nuevos procesos tecnológicos ayuda a mejorar la calidad de vida de las personas, dando mucha prioridad a las zonas agrícolas porque aporta significativamente al PIB del país. Actualmente existe un mundo tan globalizado el cual está basado en la competitividad, obligando a las empresas a crear y optimizar procesos para así poder alcanzar los estándares de calidad establecidos.

El objetivo principal del presente proyecto de titulación es diseñar, validar y construir un molino utilizado para triturar cualquier tipo de gramíneas y tubérculos producidas en la zona 5 de la provincia de los Ríos. Para el diseño se determinó las partes de la máquina trituradora, las fuerzas que intervienen en el sistema de molienda, la selección de los elementos que se encuentran normalizados y que componen la máquina, además se consideró las propiedades de los materiales para evitar la contaminación del producto final con elementos metálicas perjudiciales para la salud humana.

Mediante el uso del software CAD/CAE SolidWorks se pudo diseñar, validar, ensamblar y crear los planos de taller de todos los elementos que conforma el molino. Además, se usó la norma CEMA para dimensionar las piezas que conforman el sistema de transportación y así poder optimizar tiempo de validación. Con las pruebas realizadas se determinó que el molino alcanzó la capacidad de producción establecida de $1 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ y se verificó que el sistema de molienda es ajustable, obteniéndose calidades finas y gruesas.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de Investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Los pequeños agricultores de la zona 5 del Ecuador presentan falencias en la accesibilidad de máquinas que les permita triturar cualquier tipo de gramíneas y tubérculos usadas para la avicultura y procesamiento de productos elaborados; por tal motivo, prefieren ocupar molinos convencionales, haciendo que su producción se vea afectada y el esfuerzo humano aumente.

En el ámbito nacional, el pequeño agricultor dedicado al procesamiento de su materia prima usa por temas de accesibilidad molinos artesanales para la molienda de granos, existiendo deficiencia en la producción, alejándose de estándares de calidad usados por mercados para obtener de forma óptima el producto final.

El presente tema de investigación propone diseñar un molino para gramíneas y tubérculos accesible para los pequeños agricultores de la zona 5 del Ecuador y así puedan procesar la materia prima de una manera más óptima y de calidad.

1.1.1.1. Diagnóstico.

En la ciudad de Quevedo, las disponibilidades de molinos son escasos en el sector agrícola, donde los agricultores buscan contratar los servicios de industrias para la trituración de la materia prima; en tanto los que tienen las posibilidades acceden a otros tipos de máquinas que no son destinadas para el sector agrícola realizando inversiones elevadas ya que en el país no hay un molino que realice el trabajo de molienda a las diferentes gramíneas y tubérculos.

1.1.1.2. Pronóstico.

Al realizar el diseño y construcción del molino se buscará reducir el tiempo de triturado, siendo fácil de usar manejando cantidades considerables para la trituración, fabricar un equipo más confiable sin que comprometa la integridad física, y que sea de fácil adquisición para el pequeño agricultor cumpliendo con los estándares de calidad.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Cómo impacta el molino triturador de gramíneas y tubérculos en el desarrollo productivo de los pequeños agricultores de la zona 5 de la provincia de Los Ríos?

1.1.3. Sistematización del problema.

- ¿Qué alternativa de diseño es la más adecuada para el diseño del molino?
- ¿Es posible brindar un equipo cuya calidad de trituración sea ajustable a las necesidades del pequeño agricultor?
- ¿Cómo podrá aplicarse una norma o documentación para el dimensionamiento de los elementos que conforman una máquina, sin estar criterios de ensayo y error?
- ¿Es necesario realizar la validación del molino mediante el uso del software educativo Solidworks Simulation?
- ¿Cuál será el costo de inversión para la construcción del molino?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Construir un molino para gramíneas y tubérculos para pequeños agricultores de la zona 5 de la provincia de Los Ríos.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los parámetros de operación del molino con el fin de seleccionar una mejor alternativa mediante criterios de ponderación.
- Dimensionar los componentes de la máquina utilizando normas de fabricación o aplicando fundamentos y criterios de diseño de máquinas, modelándolos mediante el software educativo SolidWorks.
- Validar los elementos mecánicos más importantes del equipo mediante el complemento educativo SolidWorks Simulation.
- Fabricar el molino triturador utilizando especificaciones técnicas (memoria de cálculo y planos de taller).

1.3.Justificación.

Ecuador está ubicado en una zona privilegiada al disponer de diversos tipos de estaciones climáticas que contribuyen al trabajo en la zona agrícola del país. Actualmente los costos por procesamiento de la materia prima son excesivos por las industrias, contando con molinos industrializados que cumplen un rol diferente al que fueron diseñados, usando generalmente molinos de martillos con eje sin fin con una configuración de hasta dos ejes para realizar el trabajo de la molienda

La finalidad de este Trabajo de investigación es diseñar y construir un molino para gramíneas y tubérculos, para el proceso de molienda. La construcción de esta máquina ayudará al pequeño agricultor para que pueda realizar la trituración de la materia prima, sin tener la necesidad de invertir altos precios por el alquiler de máquinas industriales.

Son suficientes razones para la ejecución de este Trabajo de investigación, que pretende el diseño y construcción de un molino para gramíneas y tubérculos, bajo las especificaciones de los planos para el correcto ensamble.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Gramíneas.

Las gramíneas son plantas herbáceas o leñosas, huecas, pero sólidas por los nudos que tienen a lo largo de la planta. Las gramíneas pueden ser anuales o perennes, donde la raíz, el tallo y las hojas son los órganos vegetativos de la planta (Figura 1), en cambio las flores no se encargan de la perpetuación de la planta [1].

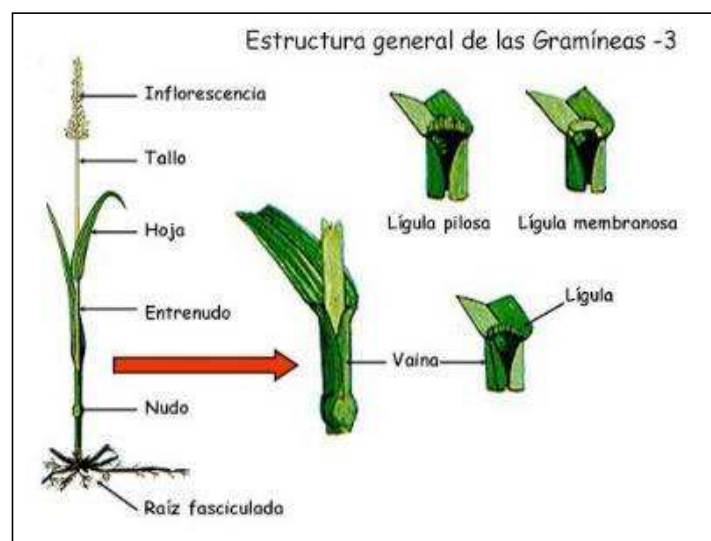


Fig. 1 Estructura general de las gramíneas. [2]

2.1.2. Tubérculos.

Los tubérculos son unos de los alimentos más consumidos en la actualidad, siendo estos muy nutritivos, ya que contienen altas cantidades de hidratos de carbono y son de lenta absorción, siendo muy fáciles de cultivar, siendo un tipo de hortalizas de tipo de raíz, por lo que se la diferencia del resto. Generalmente son subterráneos, conteniendo escamas y yemas, las cuales surgen brotes o tallos creando así nuevas plantas (Figura 2), acumulando una reserva constituida principalmente por almidón [3].



Fig. 2 Foto de tubérculos de una planta de yuca. [3]

2.1.3. Molino.

Los molinos llamados también trituradores son máquinas empleadas para la reducción de granos por diversos métodos, para poder realizar la molienda o trituración cuando la materia prima está seca, caso contrario el producto final será una pasta, en ocasiones se realiza la molienda en húmedo cuando este lo requiere para otros fines en específico (aplicaciones culinarias). Los molinos son usados en diferentes campos sean estos en la agricultura y minería [3].

2.1.4. Tipos de Molinos.

Existen distintas clases de molinos cuya finalidad es la trituración de la materia para obtener un producto finalizado por acción de sus componentes, sea este de tipo manual o eléctrico [4].

2.1.4.1. Molino de piedra.

Son las primeras máquinas manuales empleadas en la historia para triturar alimento, consistían en un recipiente rugoso de piedra con una base en su centro donde tenía insertada una piedra que realizaba la función de triturar el grano, su accionamiento era aplicado por la fuerza del hombre que mediante el giro en el entorno del recipiente realizaba la trituración por el peso de la piedra de moler [5], tal como se muestra en la Figura 3 el procedimiento para realizar la molienda en un molino de piedra.



Fig. 3 Molino de piedra. [6]

2.1.4.2. Molino de martillos.

Son máquinas que emplean la velocidad angular haciendo girar a altas revoluciones un eje, en el que giran platinas sueltas y separadas por unos bocines en conjunto con el eje, provocando que el material que en su interior sea golpeado y triturado (Figura 4), siendo la fuerza centrífuga la principal en este molino, determinada por el radio de giro y la velocidad angular del molino [8].

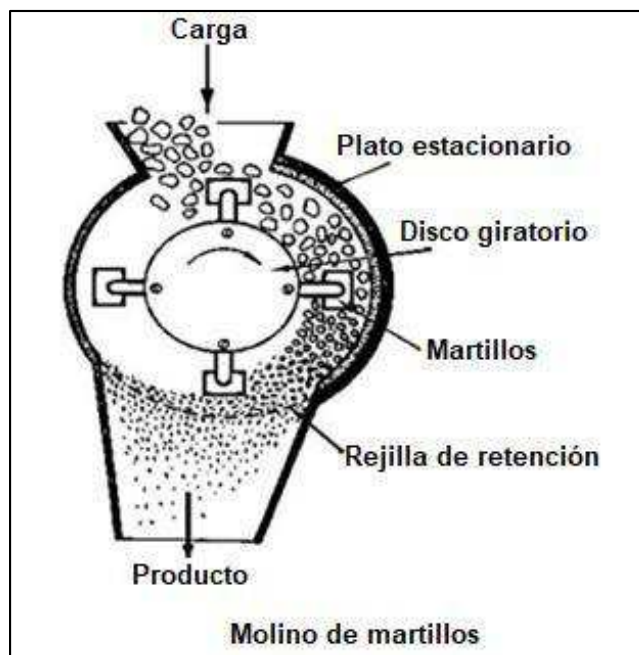


Fig. 4 Molino de martillo (corte en vista lateral). [9]

2.1.4.3. Molino de bolas.

Es una máquina cilíndrica de disposición horizontal que gira alrededor de un eje, cuyo interior se le insertan bolas de acero o de cerámica, girando a altas revoluciones provoca el movimiento de las bolas haciendo que golpee a la carga (Figura 5), siendo esta que puede trabajar en seco y húmedo sin ningún problema [10].

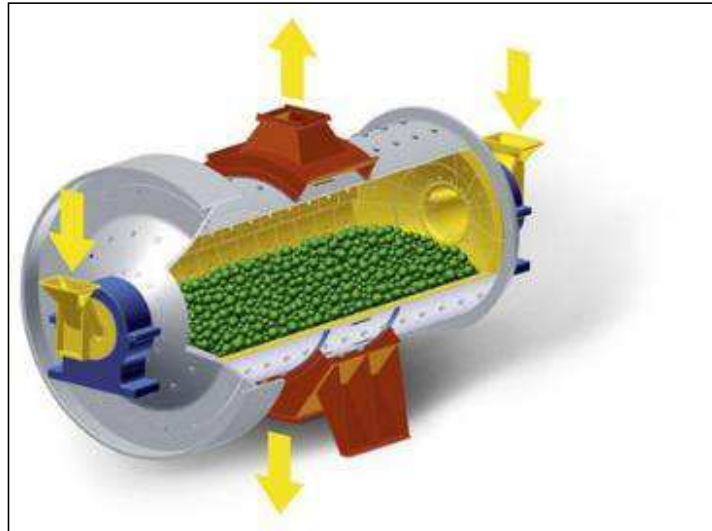


Fig. 5 Molino de bolas. [10]

2.1.4.4. Molino de rodillos.

Los molinos de rodillos funcionan triturando los materiales en sus dos ejes, haciendo que el material se aloje en el centro de los dos ejes y se vaya comprimiendo, reduciendo el material hasta producir pulpa; si es en estado húmedo y polvo si está en estado seco el material. Los molinos de martillos se los suelen usar en la industria minera y agrícola cuyos ejes son específicos para el trabajo que se va a realizar [9], tal como se muestra en la Figura 6 con las partes del molino que lo componen.

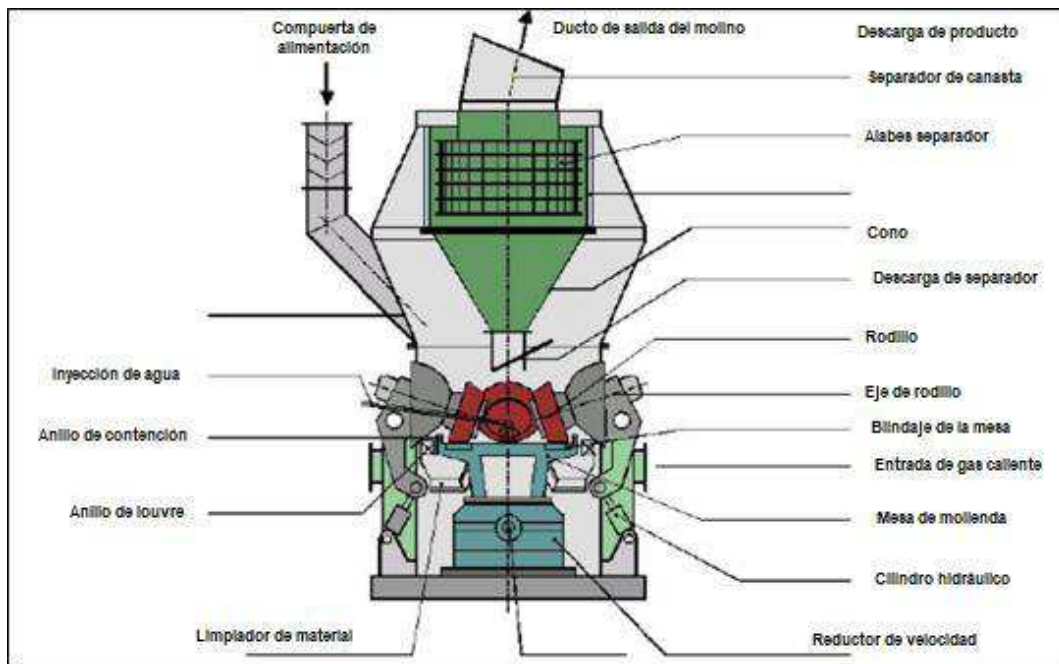


Fig. 6 Molino de rodillos. [11]

2.1.4.5. Molino de eje sin fin.

Los molinos de eje sin fin están constituidos por una hélice montada sobre un eje que se encuentra a lo largo de una carcasa, este se encarga de realizar una fuerza de arrastre de la materia prima hasta unas mordazas que las trituran (una fija a la carcasa y la otra móvil con el eje) (Figura 7). Posee un sistema de manipulación y transporte de material muy versátil, empleándose en equipos de trasiego de material, dosificador, o enfocado como mezclador agitador [13].

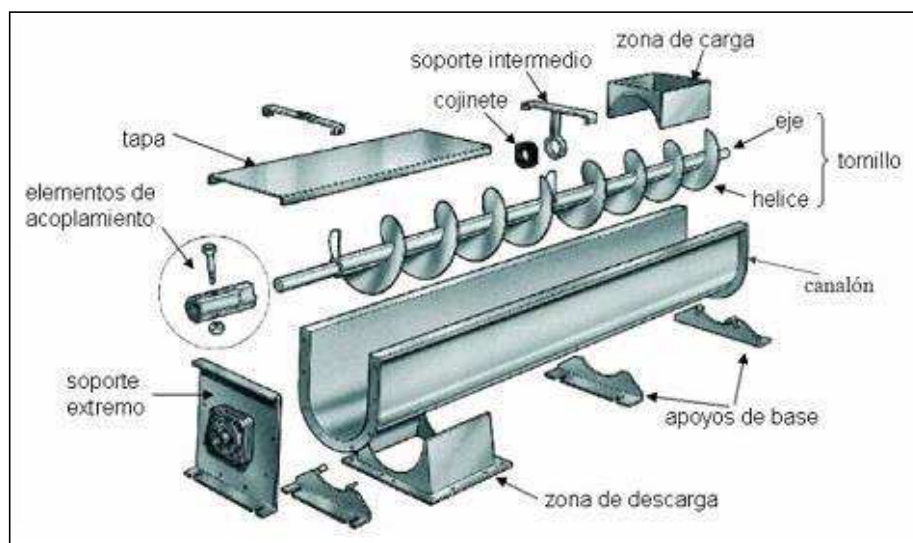


Fig. 7 Molino de eje sin fin y sus partes. [13]

2.1.5. Parámetros para la selección de un molino.

2.1.5.1. Velocidad angular.

Se lo define como el giro en grados en un intervalo de tiempo con que gira un mecanismo, siendo esta expresadas en rpm y su símbolo se lo expresa con la letra griega ω [12].

2.1.5.2. Potencia.

Es la energía entregada en un intervalo de tiempo por el motor empleado hacia el eje de la máquina y se lo representa con la letra P [12].

2.1.5.3. Eficiencia.

Es la efectividad en que trabajará la máquina, siendo este un número adimensional y menor que el 100% del rendimiento total, siendo la potencia entregada entre la potencia absorbida y se suele manifestar en forma de calor [12].

2.1.5.4. Máquina.

Las primeras máquinas en la historia aparecieron en la edad media, en la época de los egipcios donde con ingenio y esmero edificaron grandes construcciones como las pirámides y las esfinges. Una máquina es un sistema de engranaje o polea, empleado para transmitir movimiento o transferir fuerza [12].

2.1.5.5. SolidWorks.

SolidWorks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus programas ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño, tal como se muestra en la Figura 8 el logo del software [15].



Fig. 8 Logotipo de SolidWorks. [15]

2.1.5.6. Simulación.

Son parámetros que se rigen en un proceso de diseño que consiste en desarrollar mediante software de diseño un proceso para tener un sistema de mecanismo para entender cuál es su comportamiento, y así poder imitarlo cuando se desarrolle físicamente. Durante el desarrollo computacional se realiza un análisis a los diferentes componentes del diseño para apreciar cuales son las partes más vulnerables durante la simulación [14] tal como se muestra en la Figura 9 una simulación de un sólido donde se observa la afectación que sufre el sólido durante la simulación.

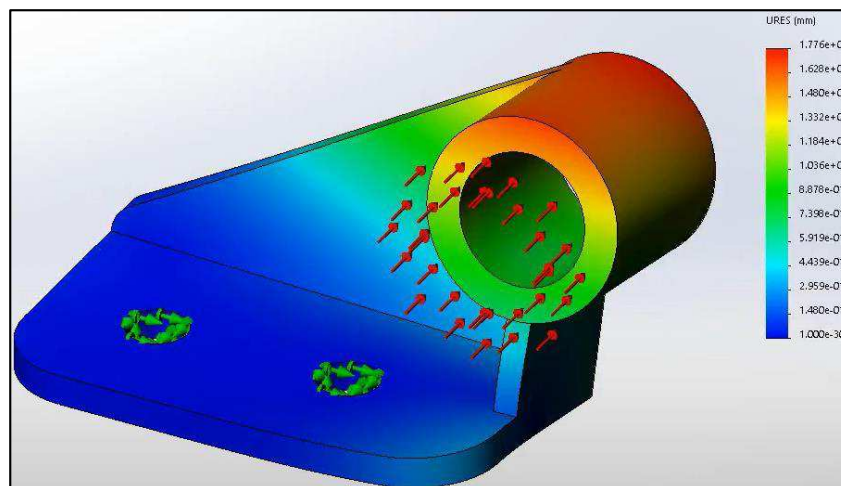


Fig. 9 Simulación de un objeto durante la fase de diseño. [15]

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Energía necesaria para la desintegración de los sólidos.

Cuando una partícula se somete a un esfuerzo esta cambia en su forma inicial, deformándose y luego rompiéndose. En resistencia de los materiales se presentan dos tipos de deformación, que son: deformación elástica y plástica [15].

La deformación elástica se presenta cuando un cuerpo recupera su forma original luego de ser sometido a una fuerza; en cambio, la deformación plástica es aquella que el material no recupera sus dimensiones iniciales después de retirar la carga aplicada [15].

2.2.2. Ley de Rittinger.

Esta afirmación surgió en 1867, asegurando que, durante la molienda de un cuerpo, la energía necesaria debería ser la que produzca una nueva superficie, ocasionando que el cuerpo que va a ser molido se rompa durante el proceso [15].

2.2.3. Ley de Kick.

Esta afirmación surgió en 1885, en donde la energía necesaria para producir un cambio en la molienda de un cuerpo y dar como resultado la reducción del mismo debería ser proporcional a la relación de reducción de su tamaño, siendo muy excesiva ya que es para operaciones muy pequeñas [15]

2.2.4. Ley de Bond.

Esta afirmación surgió en 1952, donde la energía necesaria para producir un cambio en el cuerpo a triturar desde un tamaño del cuerpo infinito hasta un 80% del tamaño original pase por el tamiz en el caso de que lo tenga, donde su exponente n sea 1.5, argumentando que esta ley es la más aplicable para todo tipo de molienda (sea fina, intermedia o gruesa) [15].

2.2.5. Transmisión por cadenas.

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia, formado por eslabones únicos unidos con dos rodillos. Este diseño posibilita tener flexibilidad, y posibilita además que la cadena transmita enormes fuerzas de tensión, como se muestra en la Figura 10. Una vez que se transmite potencia entre ejes giratorios, la cadena entra en ruedas dentadas que corresponden entre sí, denominados piñones [16].

La transmisión por cadena más común es la cadena de rodillos, en la que el rodillo sobre cada perno posibilita tener una fricción extraordinariamente baja entre la cadena y los engranes, mostrada en la Figura 11 [16].

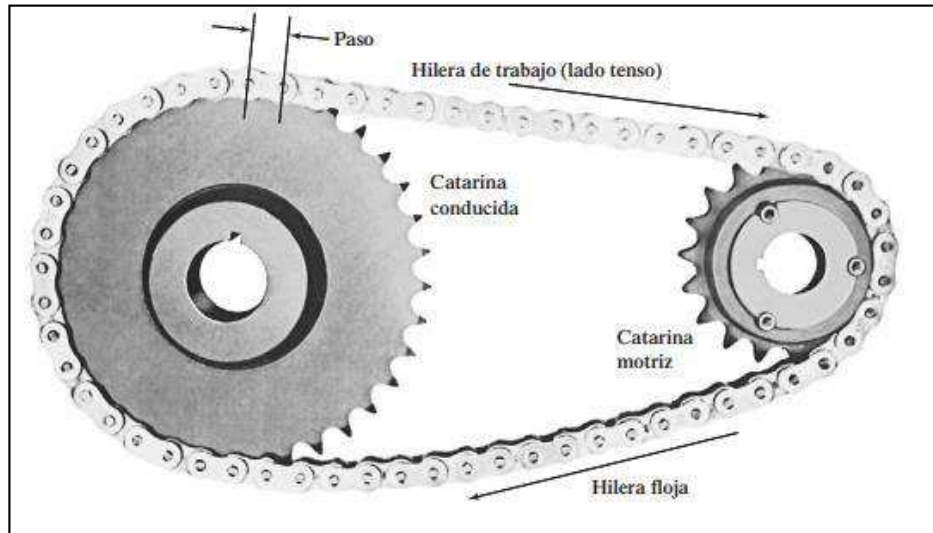


Fig. 10 Geometría básica de una transmisión por piñón. [16]

Figura 1. Tipos de cadenas de rodillos. [16]

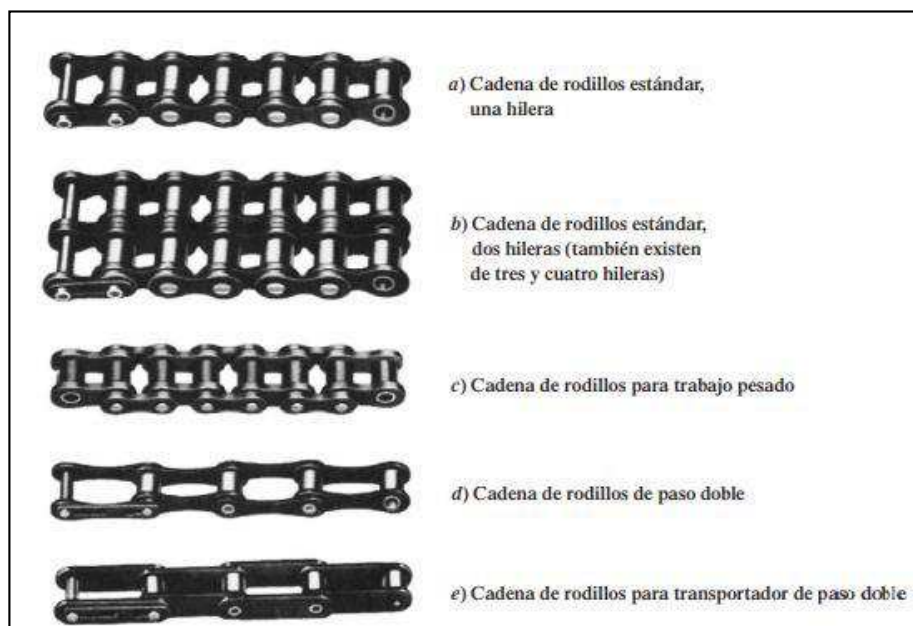


Fig. 11 Tipos de cadenas de rodillos. [16]

La función de transmisión de potencia de las cadenas tiene presente 3 métodos de falla: fatiga de las placas de eslabón, debido a la aplicación repetida de la tensión en el lado tenso de la cadena, el efecto de los rodillos al engranar en los dientes de los piñones y la abrasión entre los pernos de cada eslabón y sus bujes [17].

2.2.6. Selección de rodamientos.

Los rodamientos se encargan de transferir la carga principal mediante sus elementos de contacto rodante, donde la fricción inicial duplica la fricción de operación, siendo este empleado en diversos usos por sus diferentes formas que tienen su armado, donde se irán asentados en los ejes durante su aplicación, están formados por dos cilindros concéntricos, que intercalan una corona que contienen bolas o rodillos para su aplicación en sí, pudiendo girar libremente. La Fig. 12 muestra nomenclatura de las partes de un rodamiento típico.

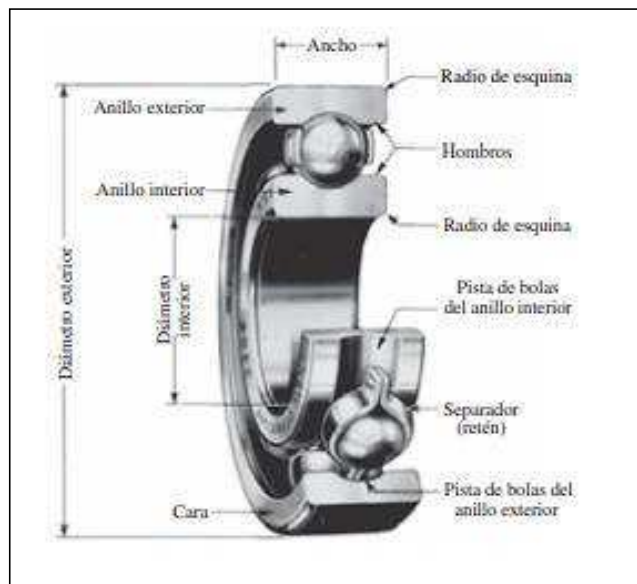


Fig. 12 Nomenclatura de un rodamiento típico. [16]

Se enlistan varios tipos de rodamientos a continuación [18], como se muestra en la Figura 12 un rodamiento típico con sus debidas partes:

- Rodamientos rígidos o de bolas.
- Rodamientos de rótulas a bolas.
- Rodamientos de bolas o de contacto angular.
- Rodamientos de rodillos a rótula.
- Rodamientos de rodillos cónicos.
- Rodamientos de rodillos esféricos.
- Rodamientos de axiales de bolas
- Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos.
- Rodamientos axiales de agujas.

2.2.7. Ingeniería concurrente.

La ingeniería concurrente es un proceso de desarrollo integrado de un producto nuevo, con la debida coordinación de las distintas actividades que surgen desde la integración de los diferentes departamentos que componen una empresa (Figura 13). Al subdividir los problemas más complejos que componen los procesos de diseño de un nuevo producto [19].

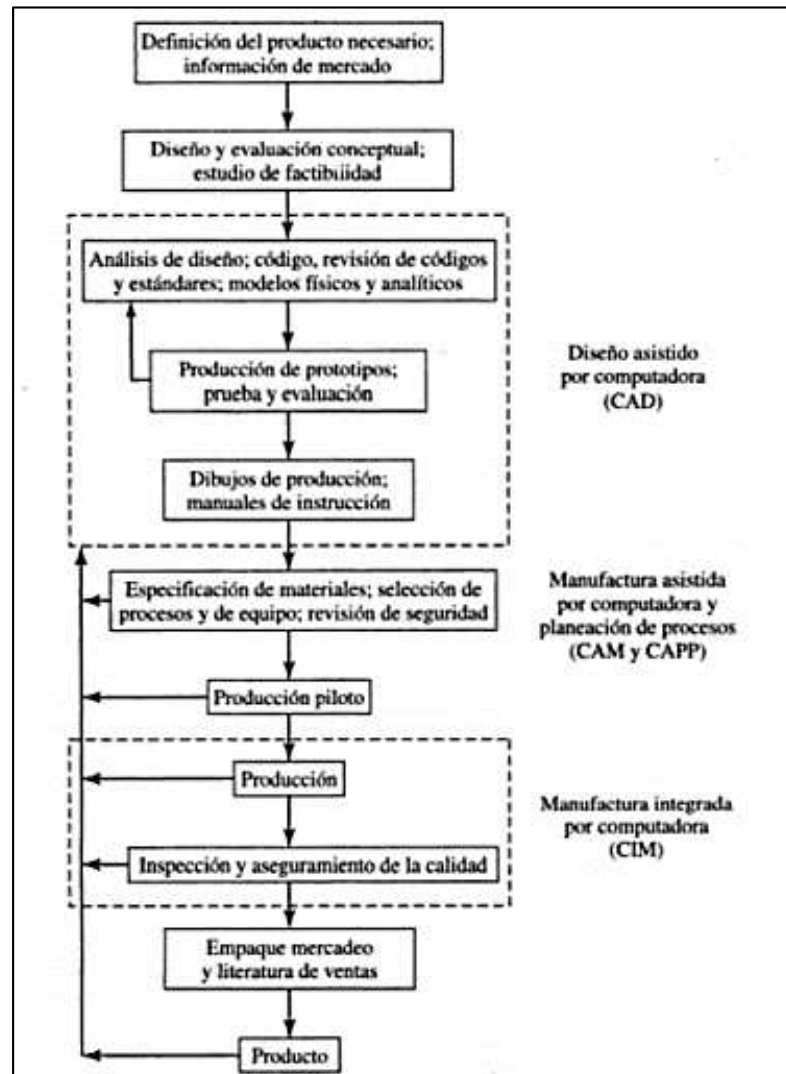


Fig. 13 Pasos comprendidos en el diseño y la manufactura de un producto según su complejidad. [20]

El ciclo de vida involucra todos los parámetros que se siguen desde el diseño, hasta la distribución y eliminación del producto, buscando reducir los cambios en diseño, para poder reducir el tiempo de los costos involucrados durante el diseño hasta su producción, y posterior a ello hasta su inserción en el mercado [20].

2.2.7.1. Principales orientaciones de la ingeniería concurrente.

Hay metodologías que ayudan a comprender el producto y los servicios en forma global, colaborando desde la idea inicial, dando como resultado el compromiso y trabajo en equipo, siendo estas de dos maneras [21]:

- Orientada al producto donde interviene, la fabricación, costes, inversión, calidad, comercialización, y apariencia.
- Orientada al entorno donde interviene, la ergonomía, seguridad, medio ambiente, y fin de vida.

2.2.8. Estructura del diseño.

2.2.8.1. Ciclo básico del diseño.

Es una característica de resolución de problemas, donde las actividades se dirigen a las funciones que lo emplean, hasta el diseño, donde siguen varios pasos como el análisis, como se muestra en la Figura 14, síntesis, simulación, evaluación, y decisión [21].

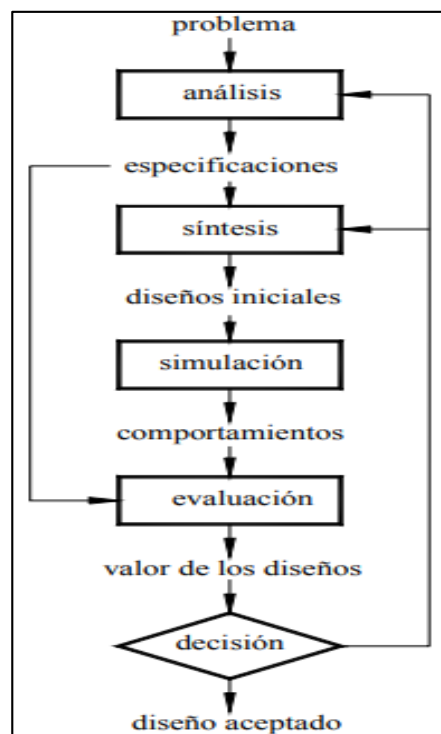


Fig. 14 Ciclo básico de diseño. [19]

2.2.9. Herramientas para el diseño concurrente.

2.2.9.1. Modularidad y complejidad de un proceso.

Los productos modulares son una estructura que están organizados por una estructura de diversos bloques constructivos, enfocada a ordenar, y orientar las distintas funciones para facilitar las operaciones de composición del producto [20].

2.2.9.2. Módulos funcionales.

Son bloques fundamentalmente orientados a concretar varias funciones, que prestan una atención a la interfaz de conexión y a los diferentes flujos de señales, ayudando a organizar e implementar las funciones requeridas de un producto [19].

2.2.9.3. Módulo constructivo.

Son bloques que están orientados a una estructura y facilita las operaciones de composición de un producto por medio de la partición de fabricación compleja secuencial, facilitando las tareas de planificación [21].

2.2.10. Características de la estructura modular.

Para los diseños que están basados en la estructura modular ya que se requiere mucha precisión y esfuerzo adicional, refiriéndose en las etapas del diseño conceptual y en las etapas de definición, donde el diseño del producto tendrá varias etapas de vida [21].

Las principales ventajas de la estructura modular son:

- Facilita la división del proyecto y posibilita la realización del diseño de diferentes módulos en paralelo, lo que permite acortar el tiempo total de diseño.
- Facilita las posibilidades de introducir nuevas funciones en módulos repetitivos, permitiendo hacer un desarrollo detallado de los módulos antes mencionados.

- Facilita el montaje, ya que implica componentes bien definidos con interfaces claramente establecidas.
- El mantenimiento es más sencillo, ya que simplifica la detección y el diagnóstico, facilitando el desmontaje y montaje y la puesta a punto, es más fiable.

Las principales limitaciones de la estructura modular son:

- Mayor dificultad para adaptarse al usuario cuando los requerimientos especiales no pueden ser cubiertos por la estructura modular.
- Una modificación de la estructura modular por muy pequeña que sea, adquiere gran complejidad por las muchas limitaciones que hay que tener en cuenta.
- Los inconvenientes de las subdivisiones en módulos pueden ser mayores que las ventajas (peso, dimensión).

2.2.11. Estructura funcional.

2.2.11.1. Función global y sus funciones.

Representa las tareas globales del producto que va a desempeñar y esta se las define como una caja negra donde todas las entradas hacen referencia a los recursos que emplearán y las salidas son las funciones que desempeñará el producto [19], como se muestra en la Figura 15.

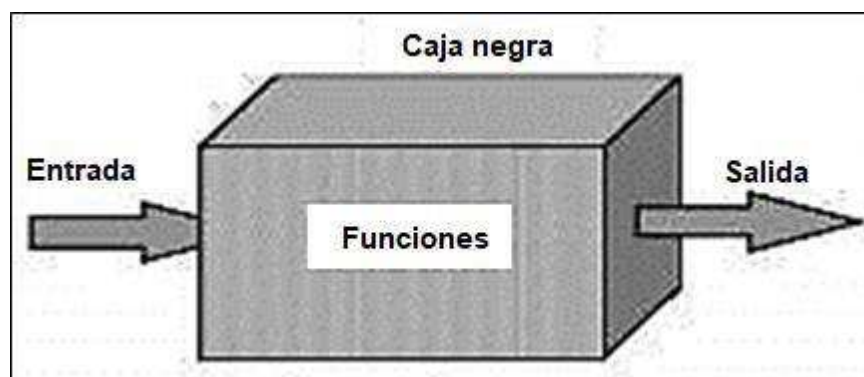


Fig. 15 Caja negra [20].

2.2.11.2. Función de la calidad o Matriz QFD.

La matriz de despliegue de la función de la calidad o QFD (Quality Function Deployment), también llamada casa de la calidad de análisis de necesidades y expectativas es una metodología empleada en la ingeniería para seleccionar o introducir los parámetros que se adapten a los gustos (Figura 16), requerimientos y necesidades del usuario. Donde la matriz QFD aporta lo siguiente al momento de diseñar un producto [22]:

- Prioridades principales y no prioritarias a seleccionar como funcionamiento y forma del producto, cuyo objetivo principal es seleccionar una alternativa que brinde una solución real a un problema específico.
- Comparación con otros productos en cuanto a rendimiento y costo, para así poder mejorarlos y sean más competitivos en el mercado.

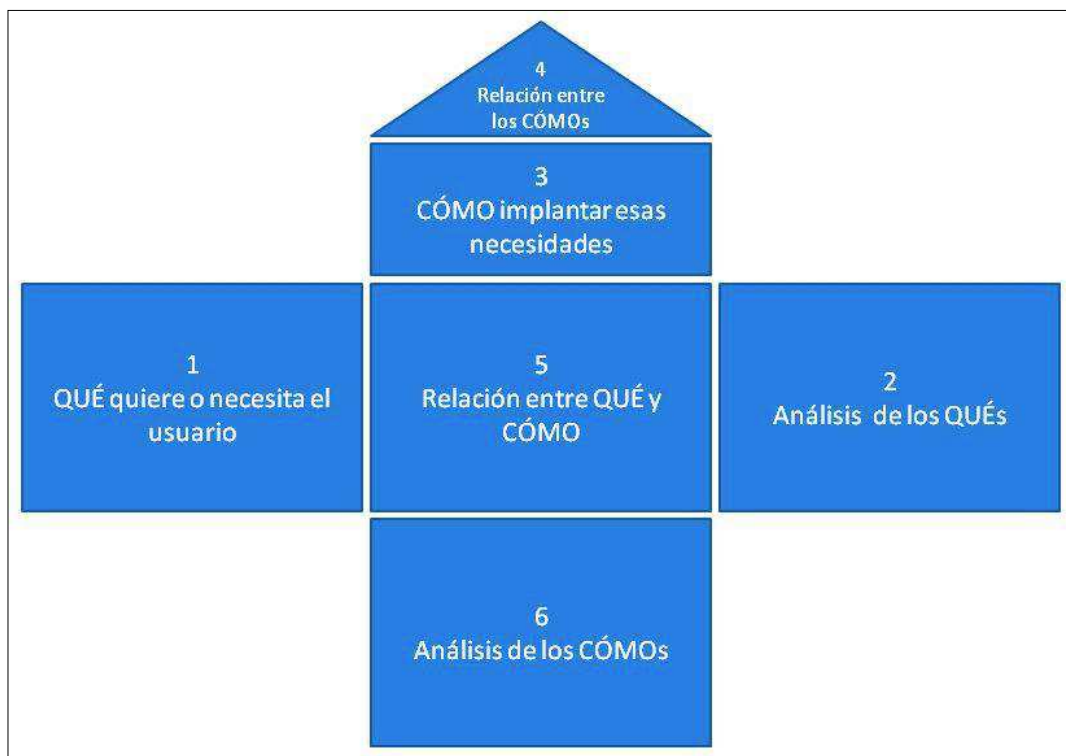


Fig. 16 Ejemplo de la esquematización de una matriz QFD [19].

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El proyecto de investigación se desarrolla en la ciudad de Quevedo (Figura 17), provincia de Los Ríos perteneciente a la República del Ecuador, donde se pretende beneficiar a todos los pequeños agricultores del territorio nacional dedicados a la molienda de gramíneas y tubérculos.



Fig. 17 Ubicación geográfica. [25]

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Investigación de campo y bibliográfica.

Con la finalidad de resolver la problemática en estudio se aplicará este tipo de investigación para analizar, indagar, observar, y discutir los diferentes tipos de molinos que existen, con las partes que lo componen, y cómo trabaja cada mecanismo de trituración, mediante una búsqueda exhaustiva en libros, artículos científicos, páginas web, y tesis relacionadas con el tema, para indicar los principios teóricos que sustenten el tema de investigación. Este tipo de investigación se usó para la recolección de datos para el diseño del molino, esta información fue obtenida mediante simulaciones dentro del software de diseño.

3.2.2. Investigación descriptiva.

La aplicación de este tipo de investigación ayudó para dar a conocer la problemática del Trabajo de investigación, y poder responder a severidad los objetivos de estudio planteados; para así poder obtener la descripción del mismo, y poder conocer a fondo los puntos tratados en el presente trabajo.

3.2.3. Investigación Linkográfica.

La investigación Linkográfica proporciona datos obtenidos “de primera mano”, por el propio investigador o, a través de una búsqueda bibliográfica en bases de datos. Este tipo de investigación se utilizará para confirmar cada uno de los procedimientos durante la fase de selección del molino, dimensionamiento del canalón, y la potencia necesaria para poder triturar las gramíneas y tubérculos, en base a datos científicos proporcionados por la web y libros avalando los procedimientos dispuestos en este trabajo de investigación.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método analítico.

Con este método se comprobará y analizará los diferentes datos existentes según la información recopilada, mediante el análisis de las variables que se realizarán durante el diseño y la simulación del molino, como la deformación y factor de seguridad para determinar si es factible construirlo.

3.3.2. Método bibliográfico.

Se utilizará este método para la realización de las respectivas consultas en libros, revistas científicas, artículos científicos, sitios web, que brindará la información necesaria para complementar el tema a desarrollar siendo estos los diferentes tipos de molinos y sus componentes principales, para ser diseñados de manera analítica.

3.3.3. Método científico.

Mediante el método científico se analizará el proceso de diseño del molino propuesto en esta investigación, posteriormente se evaluará el funcionamiento del molino con la ayuda del software SolidWorks, para comparar con los resultados obtenidos.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

Todo tipo de investigación se fundamenta en recopilar información en donde se busca registros importantes de lo que se está estudiando. En este trabajo se basará en buscar fuentes primarias y secundarias, tales como son libros, artículos científicos, de cómo se realiza la trituration por niveles, existiendo tamaños de materia fina hasta gruesa, velocidad de avance máxima del eje transportador de la materia prima, y cuál será la potencia del motor a usar en el diseño de este proyecto.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Diseño no experimental.

Consiste en observar los fenómenos sin que se manipulen deliberadamente los resultados. Se utilizó esta metodología porque se enfoca en el proceso de diseño usados por empresas que se dedican a la fabricación de máquinas. Se utilizará el software SOLIDWORKS para comprobar la resistencia a través de la simulación computacional por medio del análisis de elementos finitos, luego se procederá con la construcción y según el comportamiento se procederá al análisis.

3.6. Instrumentos de investigación.

El objetivo de estudio es la mejora de un proceso y reducir los tiempos de procesamiento en moler algún tipo de tubérculo o gramínea, para eso se basará en estudios y diversos tipos de fundamentos que ayudará a cumplir el objetivo del tema de investigación, estos instrumentos son la observación y el uso de artículos científicos.

3.7. Tratamiento de los datos.

Programas de datos e información.

- Microsoft Word 2021.
- Microsoft PowerPoint 2021.
- Microsoft Excel 2021.

Programas de diseño y simulación.

- SolidWorks 2018 versión estudiantil.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recurso humano.

Autores.

- Espinoza Delgado Tito Alexander.
- Sarmiento Gómez Darwin Joel.

Director de tesis.

- Ing. Salazar Loor Rodger Benjamin MSc.

3.8.2. Recurso material.

- Calculadora.
- Impresora.
- Papel A4 INEN.
- Lápices.
- Lapiceros.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

4.1.1. Resultados esperados.

- En la investigación se analizaron los diferentes tipos de molinos que existen en la actualidad para triturar la materia prima, con diferentes aplicaciones en el campo.
- Desarrollar el sistema que integrará todo el mecanismo del molino aplicando los conocimientos de diseño y elementos de máquinas, selección de materiales, para su correcto funcionamiento.
- Empleando el software SolidWorks se podrá diseñar el modelo del molino seleccionado en el método de ponderación, posteriormente se validará los resultados de los cálculos realizados.
- Empleando el método de ponderación y análisis de las especificaciones de las necesidades (matriz QFD) se logrará seleccionar cuál será el molino para su posterior diseño y construcción.
- Se realizarán los planos del molino con las especificaciones del ensamblaje y el tipo de juntas para su fabricación.

4.2. Parámetros de selección según diversas características.

Para las gramíneas y tubérculos se deben considerar algunos factores para la selección de un molino, estos parámetros a considerar son:

- Calidad de molienda de los tubérculos y gramíneas.
- Contaminación por molibdeno en los materiales que estén en contacto con el producto (gramíneas y tubérculos).
- Distancia de operación de maquinaria.
- Facilidad de construcción y montaje.
- Costos de fabricación.
- Mantenimiento (limpieza).
- Vibraciones.

4.2.1. Calidad de la molienda de los tubérculos y gramíneas.

Si se desea que el producto tenga buena calidad, ya sea la molienda de las gramíneas o la molienda de los tubérculos, este debe cumplir con una granulometría muy controlada, para el tamaño de la molienda y que estos se adapten a las necesidades del usuario.

4.2.2. Contaminación por molibdeno en los materiales que estén en contacto con el producto (gramíneas y tubérculos).

El producto no debe mezclarse con el molibdeno, ya que es un componente tóxico dentro del organismo, los materiales que están en contacto con el producto deben estar libres del elemento. El aluminio puro y el ACERO AISI 304L son materiales libres de este, por lo tanto, es importante considerar estos materiales para la selección.

4.2.3. Distancia de operación de maquinaria.

Es el espacio ocupado por la máquina y el operador, este no debe causar molestias con la producción actual.

4.2.4. Facilidad de construcción y montaje.

La construcción y el montaje cumplen un papel muy importante dentro del diseño del molino, estos afectan directamente a los costos de fabricación de la máquina y el mantenimiento posterior, ocasionando que la máquina esté totalmente parada y produzca pérdidas monetarias.

4.2.5. Costos de fabricación.

El costo de fabricación del molino no deberá ser mayor al de la mano de obra, para que al momento de vender el equipo al agricultor le resulte beneficioso adquirirlo en comparación con otros molinos.

4.2.6. Mantenimiento.

El diseño debe acoplarse a tal forma que las piezas deban ser reemplazadas fácilmente, sea el tiempo que tome el cambio de dicha pieza durante su mantenimiento, para que se realice el cambio lo más pronto posible, existiendo en el mercado nacional los repuestos necesarios para intercambiar la pieza averiada por la nueva en la máquina.

4.2.7. Vibraciones.

Los niveles de vibración deben ser mínimos, estos no pueden ser excesivos, porque provocarían que la máquina genere resonancia ocasionando que se desbalancee por completo.

4.3. Ponderación para la selección del molino.

Cuando se usan varios parámetros o factores, estos se evalúan independientemente para las diversas alternativas, requiriendo una jerarquización global y simultánea de todos los factores que lo componen, tal como se muestra en la TABLA I con las principales características de los molinos enlistados.

El molino seleccionado según el criterio de ponderación es el molino de eje sin fin, resultando ser el más usado actualmente por llevar mordazas que facilitan la trituración de la materia prima, donde este sistema de molino se lo conoce también como molino de eje sinfin de discos dentados. Los valores asignados para cada molino se muestran en la TABLA I.

TABLA I
MATRIZ DE PONDERACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE UN MOLINO

	Ponderación	Molino de rodillos	Molino de martillos	Molino de fricción	Molino de sin fin	Molino de eje
Calidad de molienda de tubérculos y gramíneas	10	9	6.50	8	10	
Contaminación por molibdeno en los materiales que estén en contacto con el producto (gramíneas y tubérculos)	10	9	7	10	9.50	
Tamaño	10	8	8	9	9	
Facilidad de construcción y montaje	10	10	10	8.50	8.50	
Costos de fabricación	10	8	6	9	10	
Mantenimiento (limpieza)	10	9.50	9.50	9.50	10	
Vibraciones	10	8	6	7	8.75	
TOTAL		61.50	53	61	65.75	
MOLINO SELECCIONADO						Eje sin fin

4.4. Matriz QFD para las necesidades del consumidor.

4.4.1. Matriz central con sus requerimientos.

Se compararon los requerimientos del usuario con respecto a los requerimientos funcionales para la valoración de los resultados mostrados en la TABLA II, donde se evaluará en una escala desde el nivel bajo hasta el nivel alto, con el fin de poder ponderar los requerimientos del usuario con los funcionales y poder compararlos con los diferentes tipos de molinos para poder hacer una selección de que molino se va a usar en el diseño.

TABLA II
MATRIZ QFD (REQUERIMIENTOS DEL USUARIO)

				Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)	X	▲	▼	▲	▲	▲	X	▲	X	▲							Competitive (0= Worst)						
Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Material	Número de espiras	Avance controlado.	Materiales no tóxicos para la mollienda de la materia prima...	Acabado superficial.	Panel de control...	Boton de emergencia.	Desensamble facil de realizar...	Estructura rígida (no genere vibración cuando la maquina este funcionando)	Selección de velocidad							Molino de martillos	Molino de bolas	Molino de rodillos	molino de piedra		
1	9	11,2	5,0	Precio	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖							5	5	5	5		
2	9	9,0	4,0	Estética	⊖	⊖			⊖					⊖								3	4	3	4		
3	9	11,2	5,0	Facilidad de manejo	▲	⊖	⊖				⊖	⊖	⊖	⊖	⊖							3	4	3	4		
4	9	6,7	3,0	Peso	⊖	⊖	⊖															5	5	5	5		
5	9	9,0	4,0	Dimensiones	⊖	⊖					⊖	⊖		⊖								3	3	2	2		
6	9	11,2	5,0	Seguridad	⊖		⊖	⊖	▼	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖							2	3	3	2		
7	3	11,2	5,0	Fácil limpieza	⊖	▲																1	2	3	2		
8	3	11,2	5,0	Aplicable para la zona agricola	⊖	▲																4	4	4	4		
9	9	10,1	4,5	Ajustable para la mollienda			⊖				⊖				⊖							2	3	4	2		
10	9	9,0	4,0	Eficiencia energética			⊖				⊖	⊖			⊖							5	5	5	5		

4.4.2. Ponderación de los resultados de la matriz QFD.

En la Figura 19 se muestra los resultados de la ponderación entre los requerimientos se indica que el de mayor importancia fue:

- Materiales (12%), siendo estos materiales de fácil adquisición al momento de realizar la construcción del molino.
- Materiales no tóxicos para la molienda de la materia prima (5,4%), siendo estos materiales el aluminio, acero inoxidable, entre otros que no afecten la salud del consumidor.
- Estructura rígida (no genere vibraciones en su totalidad cuando la máquina esté funcionando) (12,4%), que no sufra deformaciones al momento de su funcionamiento, dicho parámetro se deberá verificar en las simulaciones de deformación que se realice el diseño.

TABLA III
RESULTADO DE LA PONDERACIÓN

Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)										
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Weight / Importance	449,4	379,8	536,0	202,2	182,0	556,2	397,8	168,5	465,2	407,9
Relative Weight	12,0	10,1	14,3	5,4	4,9	14,9	10,6	4,5	12,4	10,9

4.4.3. Análisis de competencia.

Se ha determinado que el molino de eje sinfín al igual que los otros tipos de molinos usan materiales costosos, habiendo sido seleccionado por medio de la matriz QFD (molino de eje sinfín) siendo el más indicado, ya que puede triturar cualquier tipo de grano y raíz, permitiendo graduar el tamaño por medio de los discos trituradores, a diferencia de los otros tipos de molino que sirven para su aplicación específica (minería, trituración de plásticos). La propuesta de diseñar y construir un molino de eje sinfín se ve reflejada con una mayor aceptación por su seguridad en el manejo, fácil mantenimiento de la máquina, y ajuste para la molienda de la materia prima por medio de los discos trituradores.

Por ello se escogió como alternativa principal la opción del molino de eje sinfín ya que su construcción es sencilla, usa en la mayoría del ensamble, materiales amigables con la materia prima a triturar (acero inoxidable para su construcción), tal como se muestra en la Fig. 18 de selección del molino.

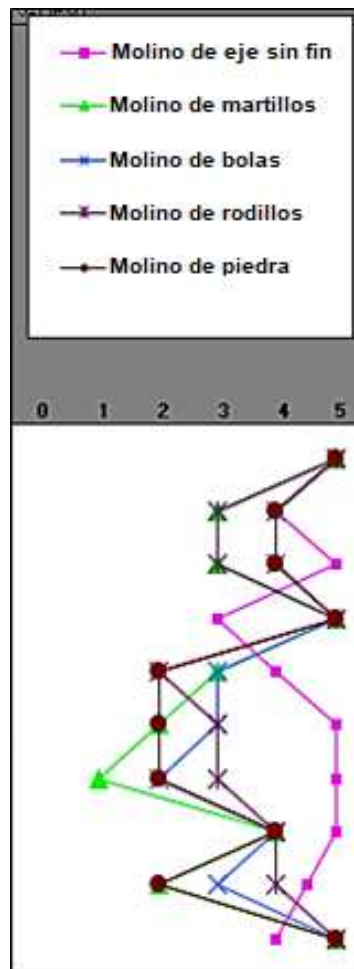


Fig. 18 Comparación de las diferentes alternativas.

4.5. Dimensionamiento y validación.

El dimensionamiento y validación es el procedimiento en el cual se construye la versión final de un producto, y este será realizado teniendo en cuenta diversos estándares de calidad. Estos modelos de ingeniería son utilizados por algunas empresas para probar por primera vez un nuevo diseño, y puede ser modificable basándose en factores que faciliten el proceso de construcción del mismo.

Los elementos que deberán ser validados son los siguientes:

- El tornillo sin fin transportador.
- Las mordazas para la molienda.
- La estructura de soporte.

4.5.1. Establecer los requisitos de transportación y trituración.

Para diseñar de forma correcta un transportador que logre cumplir con los requisitos de operación, es fundamental conocer las variables iniciales relacionados con la aplicación:

- **Flujo requerido:** Se desea triturar al menos $1 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$ considerando un flujo constante y uniforme.
- **Distancia a transportar:** La distancia de transporte será de aproximadamente 1 m, hasta llegar a los martillos trituradores del molino, este parámetro puede ser ajustable.

4.5.2. Identificar el material y el código de material correspondiente.

El material que se desea triturar puede tener un efecto significativo en el dimensionamiento del tornillo transportador y en base a cálculos se comprobará su resistencia.

La norma CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) / ANSI (American National Standard Institute) No. 350 establece una serie de parámetros que permitirán clasificar al material.

Los valores que la norma facilita para el dimensionamiento y validación están basados en la experimentación; por lo tanto, se los representa por constantes dependientes de algunas características de funcionamiento del molino.

El código de clasificación, la carga del transportador, el peso y el factor de material del maíz, cacao y café se especifica en la TABLA IV y servirá para obtener valores necesarios para encontrar la velocidad de giro del transportador y la potencia del material, mediante la Ecuación 1 y Ecuación 4.

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL [24]

Material	Código de clasificación del material	Carga del transportador	Grupo de componentes	Peso (lb/ft ³)	Factor de material F _M	Vertical*
Maíz, semilla	45C25PQ	45	1A, 1B, 1C	45	0.4	
Granos de cacao	38C25Q	30A	1A, 1B	38	0.5	
Café, grano	25C25PQ	45	1B	25	0.4	x

El código de clasificación permite identificar las características de cada producto a ser triturado. La TABLA V muestra detalladamente el significado de cada sigla para el maíz, cacao y café.

Las características de transportación y molienda del maíz, café y cacao son casi similares. Por lo tanto, se escogerá la densidad del maíz por ser la de mayor magnitud que la del café y cacao. La densidad es de $45 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3}$.

El código de clasificación es único para cada producto y permite conocer las características de cada material, como: Tamaño del grano, fluidez, abrasividad, otras características (Deterioro en almacenamiento, inflamabilidad, muy polvoriento, contaminante, etc.).

TABLA V
CÓDIGO DE CLASIFICACIÓN DEL MAÍZ, CAFÉ Y CACAO [24]

Código	Tipo de características	Significado de clasificación
MAÍZ, SEMILLA (45C25PQ)		
45	Densidad	Densidad aparente (lb/ft ³)
C	Tamaño	Granular – ½” o menos
2	Fluidez	Flujo libre
5	Abrasividad	Ligeramente abrasivo
P	Otras características	Contaminable, afectando el uso.
Q	Otras características	Degradable, afectando el uso.
GRANOS, CACAO (38C25Q)		
38	Densidad	Densidad aparente (lb/ft ³)
C	Tamaño	Granular – ½” o menos
2	Fluidez	Flujo libre
5	Abrasividad	Ligeramente abrasivo
Q	Otras características	Degradable, afectando el uso.
Q	Otras características	Degradable, afectando el uso.
CAFÉ, GRANO (25C25PQ)		
38	Densidad	Densidad aparente (lb/ft ³)
C	Tamaño	Granular – ½” o menos
2	Fluidez	Flujo libre
5	Abrasividad	Ligeramente abrasivo
Q	Otras características	Degradable, afectando el uso.
Q	Otras características	Degradable, afectando el uso.

4.5.3. Capacidad, tamaño y la velocidad del transportador.

La velocidad del transportador será el término utilizado para indicar la relación que existe entre el caudal de trituración del molino por hora y la cantidad de volumen del producto transportado por revolución y está representado en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Velocidad de rotación aparente del molino.

$$N_{\text{aparente}} = \frac{\dot{V}}{\alpha}$$

Donde:

N_{aparente} = Velocidad angular aparente del transportador.

$\dot{V}$ = Capacidad requerida o caudal de transportación.

α = Volumen transportado por revolución.

En el Anexo 2 la cantidad de volumen transportado es de $2,2 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$ por revolución para un diámetro de hélice de 6 pulgadas.

El caudal de trituración del molino por hora es la cantidad de volumen de producto que pasa a través del molino en una hora.

Ecuación 2. Capacidad del molino.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{maiz}}}$$

Donde:

$\dot{m}$ = Flujo másico de la materia prima.

ρ_{maiz} = Densidad máxima del producto a triturar.

$$\dot{V} = \frac{2\,000,34 \frac{\text{lbs}}{\text{h}}}{45 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3}}$$

$$\dot{v} = 44,45 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

La capacidad requerida para poder triturar 1 tonelada de material en 1 hora deberá ser mayor o igual a $44,45 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$ o $1,26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ en unidades métricas.

Realizando la sustitución de los valores de la Ecuación 1, se obtiene:

$$N_{\text{aparente}} = \frac{44,45 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}}{2,20 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \text{ rpm}}$$

$$N_{\text{aparente}} = 20,20 \text{ rpm}$$

La velocidad máxima de giro recomendada en el Anexo 2 para una capacidad de carga del 45% es de 165 rpm teniendo un diámetro del tornillo de 6 pulgadas. Como la velocidad de rotación del molino es baja se considera un valor tentativo de 100 rpm ya que esté no afectará el correcto funcionamiento de la máquina.

$$N_f = 100 \text{ rpm}$$

4.5.4. Cálculo de la potencia del molino.

4.5.4.1. Potencia de fricción.

La potencia de fricción es la potencia necesaria para girar el molino cuando este está únicamente girando. Se considera la fricción de los cojinetes o rodamientos, juntas y otros elementos que generan resistencia a la rotación. Se puede expresar matemáticamente mediante la Ecuación 3:

Ecuación 3. Potencia de fricción.

$$HP_f = \frac{LN_f F_d F_b}{1\,000\,000}$$

Donde:

HP_f = Potencia de fricción.

L = Longitud del transportador.

N_f = Velocidad angular aparente del transportador.

F_d = Factor de potencia del diámetro del transportador.

F_b = Factor de potencia del cojinete de suspensión.

Reemplazando los valores, se obtiene:

$$HP_f = \frac{(3,28 \text{ ft}) * (100 \text{ rpm}) * (18) * (1,00)}{1\,000\,000}$$
$$HP_f = \frac{(3,28 \text{ ft}) * (100 \text{ rpm}) * (18) * (1,00)}{1\,000\,000}$$
$$HP_f = 0,005904 \text{ hp}$$

4.5.4.2. Potencia del material.

La potencia del material es la potencia requerida para transportar el material al granel a través de toda la longitud del tornillo, hasta llegar a los discos para su posterior molienda. Se puede expresar matemáticamente mediante la Ecuación 4:

Ecuación 4. Potencia del material.

$$HP_m = \frac{\dot{V}L\rho_{\text{maiz}}F_mF_fF_p}{1\,000\,000}$$

Donde:

HP_m = Potencia del material.

F_m = Factor de material.

F_f = Factor de potencia de modificación de vuelo.

F_p = Factor de modificación de las aspas.

$$HP_m = \frac{\left(44,45 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}\right) * (3,28 \text{ ft}) * \left(45 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}\right) * (0,5) * (1,00) * (1,00)}{1\,000\,000}$$
$$HP_m = 0,00328041 \text{ hp}$$

4.5.4.3. Potencia de trituración.

Se debe conocer la fuerza y torque necesario para triturar los productos dentro del molino, para ello se usó el maíz, cacao y café, donde se emplea una pesa convencional y un molino tradicional (Véase la Fig. 19 y 20). Se realizaron 15 muestras por producto y el mayor valor mostrado en la pesa se tomará para determinar la fuerza de trituración de trituración, los valores obtenidos se encuentran en la TABLA VI.



Fig. 19 Pesa convencional usada para medir la fuerza de trituración.

Para determinar la fuerza y el torque máximo necesario para la trituración, un molino convencional puede ser muy útil ya que a través de una pesa sostenida al mango se puede obtener la masa necesaria para la trituración y al menos realizar 15 intentos para lograr disminuir el margen de error entre los valores obtenidos. El proceso experimental se encuentra representado en la Fig. 20.



Fig. 20 Proceso experimental para seleccionar la fuerza necesaria para la trituración.

Los valores obtenidos de capacidad de trituración se muestran en la TABLA VI cuyo valor máximo es de 10,50 kg para el café en el 8vo intento y se usará en la Ecuación 5.

TABLA VI
CAPACIDAD DE TRITURACIÓN PARA EL MAÍZ, CACAO Y CAFÉ

PRODUCTO	CAPACIDAD DE TRITURACIÓN HASTA 180° DE GIRO DEL MANGO DEL MOLINO														
	Intentos (kg)														
	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{ro}	4 ^{to}	5 ^{to}	6 ^{to}	7 ^{mo}	8 ^{vo}	9 ^{no}	10 ^{mo}	11 ^{vo}	12 ^{vo}	13 ^{vo}	14 ^{vo}	15 ^{vo}
Maíz	5,75	7,50	7,25	6,35	6,75	7,10	6,50	6,75	7,75	6,55	6,90	7,15	8,05	7,05	7,00
Cacao	6,75	6,45	7,00	7,15	8,00	6,25	7,05	7,75	6,50	6,25	7,30	7,10	7,00	6,75	6,50
Café	9,75	8,25	9,30	10,10	8,50	8,00	7,50	10,50	9,00	9,75	9,25	9,35	8,25	8,60	9,15

Ecuación 5. Fuerza necesaria para la molienda.

$$F_t = m_t * g$$

Donde:

F_t = Fuerza de trituración.

m_t = Masa de trituración.

g = Gravedad.

Reemplazando valores, se obtiene:

$$F_t = 10,50 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_t = 103,01 \text{ N}$$

La longitud de la palanca del molino que se usó para determinar los valores de la TABLA VI es de 0,30 m; por lo tanto, se reemplaza en la Ecuación 6, como se indica:

Ecuación 6. Torque necesario para la molienda.

$$T_t = F_t * L_p$$

Donde:

T_t = Torque de trituración.

L_p = Longitud de la palanca.

Reemplazando de la Ecuación 6:

$$T_t = (103,01 \text{ N}) * (0,30 \text{ m})$$

$$T_t = 30,90 \text{ N.m}$$

El valor del torque necesario para la trituración se multiplicará para la velocidad de giro del tornillo en $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ para obtener la potencia de trituración de la Ecuación 7:

Ecuación 7. Potencia para la trituración.

$$HP_t = T_t * N_f$$

$$HP_t = 30,90 \text{ N.m} * 10,47 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$HP_t = 323,55 \text{ W}$$

$$HP_t = 0,4339 \text{ hp}$$

4.5.4.4. Potencia mínima requerida.

La potencia que va a necesitar un molino se basa en su instalación, una tasa de alimentación uniforme y regular al molino, capacidad de trituración y otros criterios de diseño.

La potencia mínima requerida es el sumatorio total de la potencia para superar la fricción (HP_f) de los componentes del transportador, la potencia para transportar el material (HP_m) y la capacidad de trituración del producto (HP_t), todo esto multiplicado por el factor de sobrecarga (F_o) y dividida por la eficiencia de accionamiento (e). Se encuentra representado mediante la Ecuación 8:

Ecuación 8. Potencia mínima de impulso.

$$HP_{\text{total}} = \frac{(HP_f + HP_m + HP_t)F_o}{e}$$

Donde:

HP_{total} = Potencia mínima requerida.

F_o = Factor de potencia de sobrecarga.

e = Eficiencia mecánica.

El factor de potencia de sobrecarga F_o depende de la suma total de las potencias ($HP_f + HP_m + HP_t$) y su valor viene representado en el Anexo 7, por lo tanto:

$$\begin{aligned}HP_f + HP_m + HP_t &= 0,005904 \text{ hp} + 0,00328041 \text{ hp} + 0,4339 \text{ hp} \\HP_f + HP_m + HP_t &= 0,4431 \text{ hp}\end{aligned}$$

Para obtener el valor de potencia de sobrecarga F_o según el Anexo 7, se deberá trazar una línea vertical del valor ($HP_f + HP_m + HP_t$), hasta que intercepte con la línea diagonal. Desde ahí, se desplazará horizontalmente hasta encontrar el valor F_o . El valor obtenido fue:

$$F_o = 2,52$$

Matemáticamente se encuentra F_o por medio de la Ecuación 9 siempre y cuando la sumatoria de las potencias ($HP_f + HP_m + HP_t$) sea menor que 5,2; si dicho valor es mayor o igual a 5,2 el valor de F_o siempre será igual a 1. Entonces:

Ecuación 9. Factor de potencia de sobrecarga.

$$F_o = [\ln(HP_f + HP_m + HP_t) * -0,6115] + 2,024$$

Reemplazando, se obtiene:

$$\begin{aligned}F_o &= [\ln(0,4431) * -0,6115] + 2,024 \\F_o &= 0,4977 + 2,02 \\F_o &= 2,52\end{aligned}$$

Se muestra que usando el Anexo 7, como la fórmula de la Ecuación 9 se puede determinar el valor de F_o y el margen de error es mínimo.

Ahora, la eficiencia mecánica es un valor que se mide en base a los componentes utilizados para la transmisión de potencia. El sistema de transmisión será por cadena y catarina y el Anexo 8 especifica que la eficiencia mecánica es de 0,93.

$$e = 0,93$$

Una vez obtenido todos los parámetros necesarios para encontrar la potencia mínima requerida del motor, se reemplaza de la Ecuación 8:

$$HP_{total} = \frac{(0,01804 \text{ hp} + 0,00328041 \text{ hp} + 0,4339 \text{ hp}) * 2,52}{0,93}$$

$$HP_{total} = 1,20 \text{ hp}$$

El motor que se ubicará en el molino deberá tener una potencia mayor que la mínima requerida de 1,20 hp. En el Anexo 9 se muestra un fragmento de un catálogo de fabricantes de motores eléctricos monofásicos y muestran las potencias de cada motor, siguiendo el manual la potencia que más se ajusta al resultado es de 1,50 hp. Por lo tanto, esa potencia será la escogida para el motor del molino.

$$HP_{motor} = 1,50 \text{ hp}$$

4.5.4.5. Limitación del tamaño del material.

El tamaño del tornillo transportador no solo depende de la capacidad necesaria, sino también del tamaño y la proporción de los grumos en el material a triturar.

El carácter del tipo de material se lo clasifica en 3 diferentes clases:

- **Clase 1:** Una mezcla de polvo y partículas finas. Relación de clase = 1,75.
- **Clase 2:** Una mezcla de grumos y partículas finas. Relación de clase = 2,50.
- **Clase 3:** Una mezcla de grumos solamente. Relación de clase = 4,50.

El maíz en semilla, el cacao en grano y los granos de café se encuentran dentro de clasificación de clase 1.

La TABLA VII permite seleccionar el diámetro nominal del eje donde se soldará el tornillo de transporte, además permite seleccionar la holgura radial luego de calcular el espacio libre radial requerido, mostrada en la Ecuación 10.

TABLA VII
TAMAÑO MÁXIMO DE LOS GRUMOS PARA TORNILLOS ESTÁNDAR [24]

Diámetro del tornillo	Diámetro nominal del eje (pulgada)	Holgura radial (pulgadas)	CLASS 1 10% grumos Tamaño máximo de grumos (pulgadas)	Clase 2 25% grumos Tamaño máximo de grumos (pulgadas)	Clase 3 95 % grumos Tamaño máximo de grumos (pulgadas)
6	$2\frac{3}{8}$	$2\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$

Ecuación 10. Espacio libre radial.

$$E_{\text{libre}} = R_{\text{clase}} * T_{\text{bulto}}$$

Donde:

E_{libre} = Espacio libre radial requerido.

R_{clase} = Relación de clase.

T_{bulto} = Tamaño del bulto.

$$E_{\text{libre}} = 1,75 * 1\frac{1}{4} \text{ in}$$

$$E_{\text{libre}} = \frac{35}{16} \text{ in} = 2\frac{3}{16} \text{ in} = 2,1875 \text{ in} = 55,56 \text{ mm}$$

Entonces, el valor de la holgura radial de la TABLA VII a escoger será de $2\frac{5}{16}$ pulgadas.

$$H_r = 2\frac{5}{16} \text{ in} = 2,31 \text{ in} = 58,67 \text{ mm}$$

Según la TABLA VII, para una holgura radial de $2\frac{5}{16}$ inch, el diámetro nominal del eje debería ser de $2\frac{3}{8}$ in para cumplir con la holgura de $\frac{1}{2}$ inch, especificado en la Fig. 21.

$$D_n = 2\frac{7}{8} \text{ in} = 73,03 \text{ mm}$$

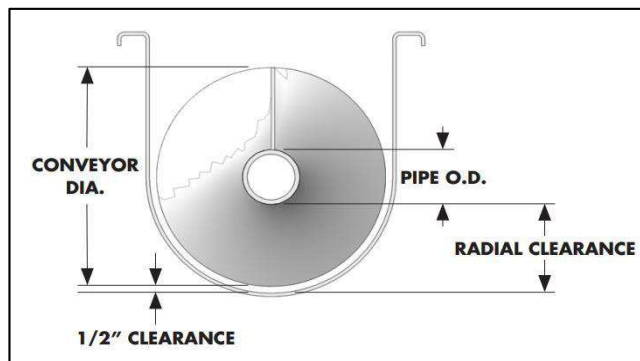


Fig. 21 Holgura radial del tornillo y el canalón. [24]

4.5.4.6. Dimensionamiento y validación del tornillo transportador.

La dirección de giro del tornillo es en sentido de las agujas del reloj, el diámetro de la hélice de 6 pulgadas (152,40 milímetros) y el diámetro del tubo de 2 pulgadas (50,80 milímetros), el material utilizado es acero al carbono. Una representación del tornillo del molino se muestra en la Fig. 22.

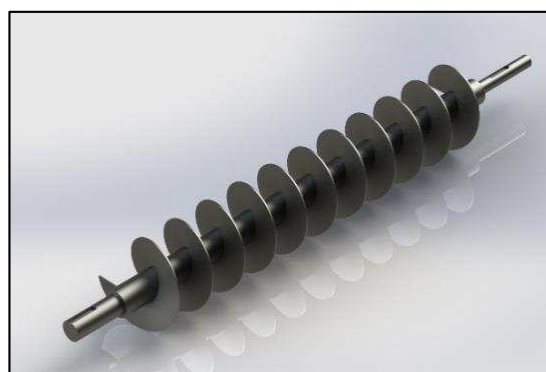


Fig. 22 Sentido de giro del tornillo en dirección a las agujas del reloj.

El dimensionamiento del tornillo transportador en ocasiones se ve limitado por la cantidad de torque que se puede transmitir con mucha seguridad a todos los componentes, no solo del tornillo, sino también de los que realizan la molienda. La fórmula del torque está determinada por la Ecuación 11:

Ecuación 11. Capacidad de torsión.

$$T = \frac{63,025 \times HP_{\text{motor}}}{N_f}$$

Donde:

T = Capacidad de torsión.

HP_{motor} = Potencia usada en el motor.

N_f = Velocidad angular de funcionamiento del transportador.

$$T = \frac{63,025 \times 1,50 \text{ hp}}{100 \text{ rpm}}$$

$$T = 0,95 \text{ lbs.in}$$

El valor máximo de torsión máximo para el acero al carbono es de 2,57 lbs.in, el cual se muestra en la TABLA VIII y este no es superado por la capacidad de torsión.

TABLA VIII
PAR DE TORSIÓN MÁXIMO DE LOS COMPONENTES (LBS.IN) [24]

Diámetro de eje	Material	
	SS/CS	4140
2 in (50,80 mm)	2,57	3,55

En la TABLA IX se puede identificar ciertas características del tubo de 2" seleccionado para el transportador del molino. La cantidad de pandeo debido al peso propio es directamente proporcional a la vida útil y se determina mediante la Ecuación 12.

TABLA IX
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TUBO DEL TRANSPORTADOR [24]

Tipo de tubo	Tubo de transmisión
Material	Acero al carbono
Módulo de elasticidad	2,9 x 10 ⁷ psi
Diámetro (in)	2 (0,0508 m)
Peso (kg/m)	14,30

Ecuación 12. Deflexión o pandeo del transportador.

$$D_{\text{eje}} = \frac{nWL^3}{76,8EI}$$

Donde:

D_{eje} = Deflexión o pandeo del eje del transportador.

n = Número de hélice.

W = Peso de cada hélice.

E = Módulo de elasticidad del acero al carbono.

I = Segundo momento de inercia.

El momento de inercia de área o simplemente segundo momento de inercia es una característica de todo componente estructural y es una propiedad intrínseca de la deflexión. Para el tubo celulósico seleccionado se lo determina matemáticamente mediante la Ecuación 13.

Ecuación 13. Segundo momento de inercia.

$$I = \frac{\pi}{64} d^4$$

Donde:

d = diámetro del eje

$$I = \frac{\pi}{64} (2 \text{ in})^4$$

$$I = 0,7854 \text{ in}^4$$

La inercia del tubo es de $0,7854 \text{ in}^4$ y se usará para encontrar la deflexión del eje debido al propio peso.

Reemplazando de la Ecuación 12, se obtiene el siguiente valor de deflexión:

$$D_{\text{eje}} = \frac{11 \text{ hélice} * \left(0,88 \frac{\text{lbs}}{\text{hélice}}\right) * (36,14 \text{ in})^3}{76,8 * \left(29\,000\,000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}\right) * (0,7854 \text{ in}^4)}$$

$$D = 0,0002612 \text{ in}$$

La TABLA X muestra valores máximos aceptables de deflexión para diversas situaciones de operación de un tornillo sin fin, para una configuración estándar de acero al carbono la deflexión máxima es de 0,125 in.

El valor máximo obtenido de la Ecuación 13 es de 0,0002612 in, dicho valor se encuentra dentro del rango de deflexión máxima aceptable.

El ángulo de flexión en los extremos del eje permite conocer si el tiempo de vida útil del transportador y los rodamientos será considerable. A mayor ángulo de flexión se obtendría un corto periodo de vida útil tanto del tornillo, como de los rodamientos, mostrado en la Ecuación 14:

Ecuación 14. Ángulo de flexión del tubo.

$$\phi = \frac{183D_{\text{eje}}}{L}$$

Donde:

ϕ = Ángulo de flexión del tubo.

$$\phi = \frac{183 * (0,0002612 \text{ in})}{36,14 \text{ in}}$$

$$\phi = 0,001323^\circ$$

TABLA X
DEFLEXIÓN PARA TUBOS DE ACERO AL CARBONO [24]

Tipo	Máxima deflexión
Configuración estándar de acero al carbono	0,125 in
Accionamiento de tipo transportador de tornillo	0,100 in
Ejes soldados	0,100 in
Accionamiento en el extremo de entrada	0,100 in
Ejes bridados	0,100 in
Tolerancias estrechas en el cuello	0,100 in

El ángulo de flexión del tubo por acción del peso propio es de $0,001323^\circ$, por lo tanto, el valor se encuentra dentro del límite máximo permitido mostrado en la TABLA XI.

TABLA XI
LÍMITES DE ÁNGULO DE EXTREMO DEL EJE [24]

Tipo	Ángulo máximo de flexión en los extremos 2 pernos
Configuración estándar de acero inoxidable	0,200°
Accionamiento de tipo transportador de tornillo	0,150°
Ejes soldados	0,150°
Accionamiento en el extremo de entrada	0,150°
Ejes bridados	0,150°
Tolerancias estrechas en el cuello	0,110°
Cojinetes dobles en los extremos	0,150°

En la TABLA XII se muestra el dimensionamiento general que tiene la hélice del tornillo, usado para el molino, cabe recalcar que estos parámetros fueron de utilidad para determinar la deflexión y el ángulo de flexión.

TABLA XII
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA HÉLICE DEL TRANSPORTADOR

Tipo de hélice	Estándar con giro horario
Material	Acero al inoxidable
Diámetro de hélice (in)	6 in (152,40 mm)
Paso (in)	6 in (152,40 mm)
Espesor (mm)	4 mm

4.6. Parámetros de transmisión por cadenas.

4.6.1. Potencia de diseño.

La potencia de diseño es una expresión en donde se considera los diversos tipos de pérdidas que tiene una máquina multiplicando la potencia resultante por un factor (mayor a la unidad), matemáticamente viene expresado en la Ecuación 15. Mediante la TABLA XIII se escoge el factor de servicio.

TABLA XIII
FACTOR DE SERVICIO [16]

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme).	1,0	1,0	1,2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimentos y molinos)	1,2	1,3	1,4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamiento de molino de rodillos)	1,4	1,5	1,7

La potencia resultante del motor de la Ecuación 8 es de 1,14 hp y el factor de servicio según la TABLA XIII es 1,3.

Ecuación 15. Potencia de diseño del sistema de transmisión.

$$P_d = HP_{total} * f_s$$

Donde:

P_d = Potencia de diseño.

f_s = factor de servicio.

$$P_d = 1,14 \text{ hp} * 1,3$$

$$P_d = 1,48 \text{ hp}$$

4.6.2. Selección de motor y reductor de velocidad.

El motor y reductor deberá cumplir con la potencia de 1,5 hp y la velocidad angular de 100 rpm en el transportador estipulado en la Ecuación 1 y Ecuación 15, respectivamente. En la TABLA XIV se muestran las especificaciones del sistema motor-reductor.

TABLA XIV
ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN MOTOR-REDUCTOR [25]

Motor		Reductor de velocidad			
Potencia	RPM	Sistema	Relación de	Velocidad angular de	
kW	HP		reducción	salida del reductor	
1,1	1,5	2880	Tipo sinfín -	1:14	206 rpm
			corona		

La velocidad de salida del reductor es de 288 rpm y la catarina pequeña tendrá que estar conectada con la catarina grande de tal forma que la velocidad de giro del transportador sea de 100 rpm o un valor lo más cercano posible. El renderizado digital del sistema motor-reductor del molino se muestra en la Fig. 23.



Fig. 23 Motor reductor de velocidad de origen chino.

4.6.3. Relación de transmisión.

La relación de transmisión representa la relación de velocidad angular de las dos catarinas que se encuentran conectadas entre sí, matemáticamente se muestra en la Ecuación 16.

Ecuación 16. Relación de transmisión.

$$r = \frac{\omega_{\text{entrada}}}{\omega_{\text{salida}}}$$

Donde:

r = Relación de transmisión.

ω_{entrada} = Velocidad angular de entrada.

ω_{salida} = Velocidad angular de salida.

$$r = \frac{206 \text{ rpm}}{100 \text{ rpm}}$$
$$r = 2,06$$

La velocidad angular a la salida del reductor es de 206 rpm y el transportador tendrá que girar al menos a 100 rpm, obteniendo así una relación de transmisión de 2,06.

4.6.4. Número de dientes de las catarinas.

El tipo de cadena del molino es de número 40 y de paso 0,50 in, el Anexo 11 muestra valores de potencia mínimos requeridos para una velocidad de giro y la cantidad de dientes de las catarinas.

El número de dientes de la catarina pequeña es de 13 para una velocidad angular de 206 rpm, la potencia requerida es de 1,47 hp. El número de dientes de la catarina grande es de 25.

La Fig. 24 muestra el desarrollo de ambos piñones usado en el sistema de transmisión para el molino.

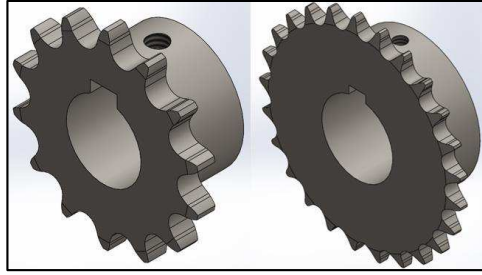


Fig. 24 Catarinas pequeñas y grandes.

Finalmente, la velocidad angular de salida esperada se representa en la Ecuación 17.

Ecuación 17. Velocidad angular de salida esperada.

$$\omega_{\text{resultante}} = \omega_{\text{entrada}} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

Donde:

$\omega_{\text{resultante}}$ = Velocidad angular real del transportador.

N_1 = Número de dientes de la catarina pequeña.

N_2 = Número de dientes de la catarina grande.

$$\omega_{\text{resultante}} = 206 \text{ rpm} \left(\frac{13}{25} \right)$$

$$\omega_{\text{resultante}} = 107,12 \text{ rpm}$$

La velocidad angular del transportador será de 107,12 rpm, para piñones de 13 y 25 dientes.

4.6.5. Diámetros de paso.

El diámetro de paso hace referencia al diámetro externo de las catarinas usadas en el molino para la transmisión, la Ecuación 18 muestra el respectivo desarrollo matemático.

Ecuación 18. Diámetro de paso de los piñones.

$$D = \frac{p}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_1}\right)}$$

Donde:

D = Diámetro de paso para las catarinas.

p = Diámetro primitivo de la catarina.

Para la catarina pequeña:

$$D_1 = \frac{0,50 \text{ in}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{13}\right)}$$

$$D_1 = 2,09 \text{ in}$$

Para la catarina grande:

$$D_2 = \frac{0,50 \text{ in}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{25}\right)}$$

$$D_2 = 3,99 \text{ in}$$

4.6.6. Longitud necesaria de la cadena.

La longitud de la cadena está relacionada directamente con la distancia entre centros y el número de dientes de los piñones. La Fig. 25 muestra una vista posterior del molino donde a través de un croquis se puede visualizar la medida exacta de la distancia entre centros de las catarinas.

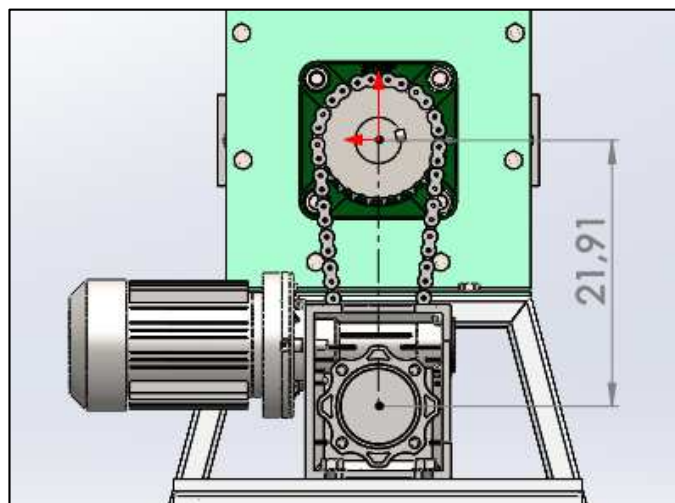


Fig. 25 Distancia entre centros de piñones.

La distancia entre centros es igual a 21,91 centímetros o 8,63 pulgadas y dicho valor servirá para determinar la longitud total a usar en la cadena de la Ecuación 19.

Ecuación 19. Longitud de la cadena.

$$L_{\text{cadena}} = 2,54 \left((2C * 0,39) + \left(\frac{N_2}{4} + \frac{N_1}{4} + 1 \right) \right)$$

Donde:

L_{cadena} = Longitud de la cadena.

C = Distancia entre centros de las catarinas.

$$L_{\text{cadena}} = 2,54 \left((2 * 21,91 * 0,39) + \left(\frac{25}{4} + \frac{13}{4} + 1 \right) \right)$$

$$L_{\text{cadena}} = 70,08 \text{ cm} = 27,59 \text{ in} = 700,80 \text{ mm}$$

La longitud total de la cadena a considerar es de 70,58 cm, cuyo valor servirá al momento de su respectiva compra.

4.6.7. Ángulo de contacto.

El ángulo es una medida que detalla los grados de contacto tangencial que tiene la cadena con las catarinas. Para la catarina pequeña el ángulo de contacto debe ser mayor que 120°. La Ecuación 20 permite determinar el ángulo de contacto existente entre la cadena y las catarinas.

Ecuación 20. Ángulo de contacto para las catarinas.

$$\theta = 180^\circ \pm 2 \sin^{-1} \left[\frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right]$$

Donde:

θ = Ángulo de contacto para las catarinas.

D_1 = Diámetro de paso de la catarina pequeña.

D_2 = Diámetro de paso de la catarina grande.

Para la catarina pequeña:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{3,99 \text{ in} - 2,09 \text{ in}}{2 * 8,63 \text{ in}} \right]$$
$$\theta_1 = 167,36^\circ$$

Para la catarina grande:

$$\theta_1 = 180^\circ + 2 \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{3,99 \text{ in} - 2,09 \text{ in}}{2 * 8,63 \text{ in}} \right]$$
$$\theta_1 = 192,64^\circ$$

Los valores obtenidos en los diversos procedimientos matemáticos se encuentran explicados gráficamente en la Fig. 26.

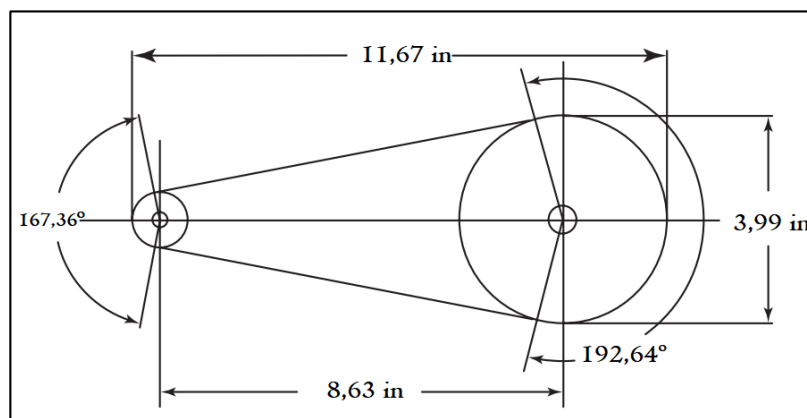


Fig. 26 Representación gráfica de los valores obtenidos.

Resumen de diseño.

Paso: Cadena número 40, 0,50 in de paso.

Longitud de cadena: 27,59 in.

Distancia entre centros: 8,63 in (máxima).

Catarinas: Hilera simple, número 40, ½ in de paso.

Pequeña: 13 dientes, $D_1 = 2,09$ in.

Grande: 26 dientes, $D_2 = 3,99$ in.

4.7. Selección de la chumacera.

La chumacera actúa como apoyo al eje de rotación del molino en los extremos y así se disminuye la fricción entre contactos. La chumacera a usarse es del tipo pared o FLANGE MOUNTED BALL BEARING y ayuda a soportar las cargas radiales del tornillo.

La TABLA XV muestra las dimensiones normalizadas de una chumacera de pared para cuando el diámetro de acople del cojinete es de 1 ½ in, además las medidas son de utilidad al momento del diseño CAD. La Fig. 27 representa una vista isométrica de la chumacera.

TABLA XV
DIMENSIONES DE LA CHUMACERA

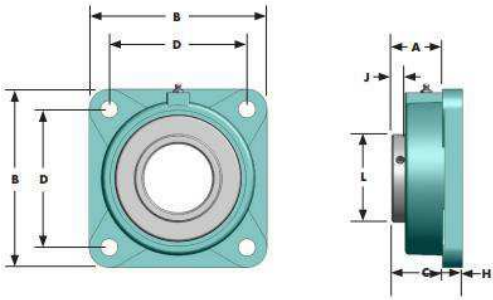
									
Eje	A	B	C	D	H	J	L	D. Tor.	w
1 ½	1 11/16	5 1/8	1 7/8	4	9/16	17/32	2 3/64	1/2	5
mm	42,86	130,18	47,63	101,60	14,29	13,49	52,00	12,7	-



Fig. 27 Chumacera SKF de 1 ½ in.

4.8. Diseño de los discos trituradores.

Los elementos de trituración son dos discos ranurados (también se lo conoce como muelas) de tal forma que permita partir el grano en partículas finas para posteriormente procesarlas hasta obtener un producto final. La Fig. 28 muestra algunas configuraciones de muelas útiles para la trituración.

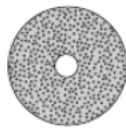
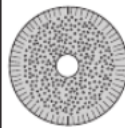
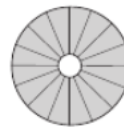
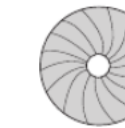
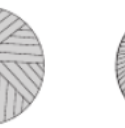
Simple dressing	Complex dressing					
	Honeycomb dressing	Mixed dressing	Furrowed dressing			
Random pecking pattern	"Honeycomb" pattern	Mixed pattern	Simple furrows pattern		Complex furrows pattern	
			straight	curved		curved
						
type 1	type 2	type 3	type 4	type 5	type 6	type 7

Fig. 28 Configuraciones geométricas usadas en muelas de molinos a lo largo de la historia.
[5]

Las muelas pueden ser de diferentes formas, tamaños y materiales; las formas han ido cambiando a lo largo de la historia desde cuando utilizaban piedras para moler, esto se debe a que en esa época ya existía un sistema de patentes. El material más utilizado es la fundición de hierro con recubrimiento en níquel para evitar la contaminación de la materia prima con el acero.

4.8.1. Disco triturador estático.

El disco estático es aquel que va sujetado con la estructura principal y su función es permitir la salida del producto para realizar la molienda. Su ranura permite presionar el producto a la salida y triturarlo con la misma carga.

Para el disco fijo son 20 ranuras en total a una profundidad de 2,5 mm mostrado en la Fig. 29. Las dimensiones de los espacios de las ranuras están colocadas libremente siempre y cuando se mantenga el patrón de surcos simples curvado de la Fig. 28.



Fig. 29 Disco triturador fijo con orejas de soporte.

4.8.2. Disco triturador móvil.

El disco móvil va conectado al transportador a través de un sistema chaveta, chavetero y prisionero, impidiendo el desplazamiento y rotación involuntario.

Las medidas, disposición y profundidad de las ranuras deben ser iguales, la diferencia es que el disco móvil no cuenta con las salidas del producto y está conectado al transportador, así como se presenta en la Fig. 30.

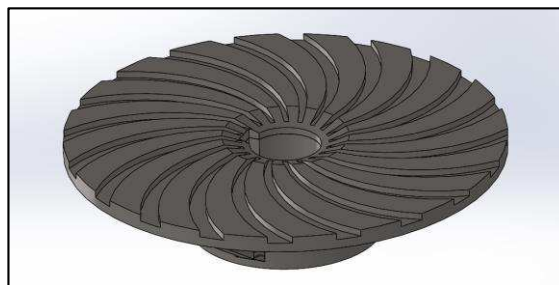


Fig. 30 Disco triturador giratorio.

4.8.3. Materiales para la construcción de los discos.

Se debe tener en cuenta que los discos deben resistir a la fricción; por lo tanto, el material seleccionado tiene que desgastarse poco y además debe de contener elementos no perjudiciales para la salud.

El material utilizado es ACERO ASTM A36 con recubrimiento de níquel para disminuir la corrosión y la contaminación de la materia prima. Por el trabajo que realiza el desgaste no será tan considerable porque los discos no estarán en contacto entre sí, sino que permanecerán a una distancia regulable no menor a 2 mm.

4.8.4. Peso de los discos trituradores.

Se puede determinar el peso de los discos a través de SolidWorks que mostrará la masa, el volumen, la densidad y a su vez el peso. La Fig. 31 y la TABLA XVI muestra las propiedades físicas del disco triturador estático mostradas por el software SolidWorks.

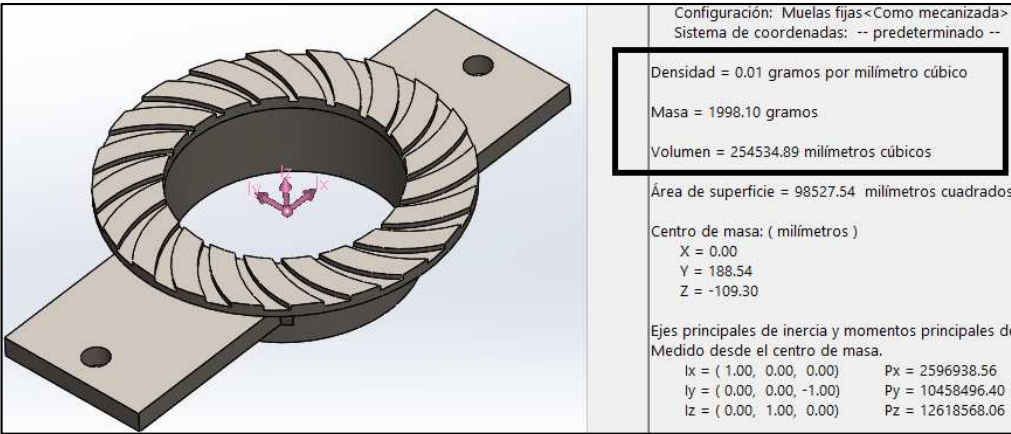


Fig. 31 Propiedades físicas del disco triturador estático.

TABLA XVI

FACTOR DE CONVERSIÓN DE UNIDADES DISCO TRITURADOR ESTÁTICO

Propiedades físicas disco triturador estático		
Densidad	0,007850 $\frac{g}{mm^3}$	7850 $\frac{kg}{m^3}$
Masa	1988,10 g	1,99 kg
Volumen	254534,89 mm ³	0,00025453489 m ³

Finalmente, en la Fig. 32 y TABLA XVII se muestran las propiedades físicas del disco triturador estático mostradas por el software SolidWorks.

TABLA XVII

FACTOR DE CONVERSIÓN DE UNIDADES DISCO TRITURADOR MÓVIL

Propiedades físicas disco triturador estático		
Densidad	0,007850 $\frac{g}{mm^3}$	7850 $\frac{kg}{m^3}$
Masa	1669,80 g	1,67 kg
Volumen	212713,11 mm ³	0,00021271311 m ³

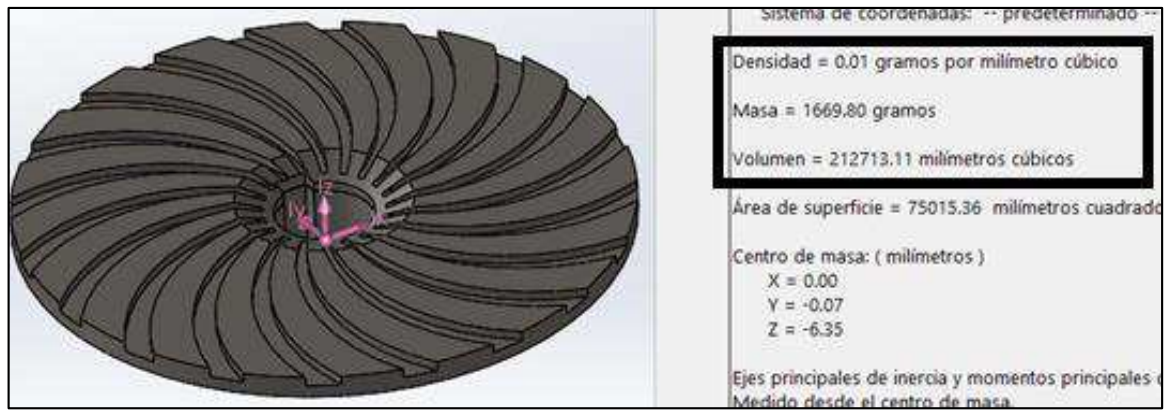


Fig. 32 Propiedades físicas del disco triturador móvil.

El peso total de un objeto es directamente proporcional a la masa y la constante de la aceleración de la gravedad, tal como se indica en la Ecuación 21.

Ecuación 21. Peso total de los discos de trituración.

$$W_{\text{discos}} = W_{\text{de}} + W_{\text{dg}}$$

Desarrollando la ecuación, se obtiene la siguiente expresión.

$$W_{\text{discos}} = m_{\text{de}} * g + m_{\text{dg}} * g$$

Factorizando la Ecuación 21 queda de la siguiente manera.

$$W_{\text{discos}} = (m_{\text{de}} + m_{\text{dg}}) * g$$

Donde:

W_{discos} = Peso de los discos.

m_{de} = Masa de disco estático.

m_{dg} = Masa de disco giratorio.

$$W_{\text{discos}} = (1,99 \text{ kg} + 1,67 \text{ kg}) * \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$W_{\text{discos}} = 35,90 \text{ N}$$

4.9. Diseño y validación de la estructura de soporte del molino.

La estructura que sirve para soporte del molino tiene tubos cuadrados de 25mmx2.0mm, cuyo material es ACERO ASTM A36. Esta estructura deberá resistir todas las cargas sin provocar inestabilidad y fallo posteriormente, por tal motivo se usará el complemento SOLIDWORKS Simulation para su respectiva validación. La Fig. 33 muestra una vista isométrica de la estructura del molino.



Fig. 33 Vista isométrica de la estructura (antes de colocar las cargas).

La masa del motor es de 7,5 kg y su peso de 73,58 N. La materia prima dentro del molino ocupa un volumen de 8 088 cm³ cuya masa da 5,83 kg, obteniendo un peso de 57,19 N y se distribuirá equitativamente en la parte frontal y posterior de la estructura.

4.9.1. Sujeciones fijas y cargas asignadas a la estructura.

Las cargas que va a soportar la estructura se muestran en la Fig. 34. La primera carga es el peso del motor-reductor (flechas color naranja), y, finalmente la segunda carga es el peso del material dentro del molino (flechas de color rojo). Los apoyos que se usarán para la simulación son del tipo fijo sin traslación (nodos de color verde) en la parte inferior de las cuatro patas triangulares de la estructura de soporte.

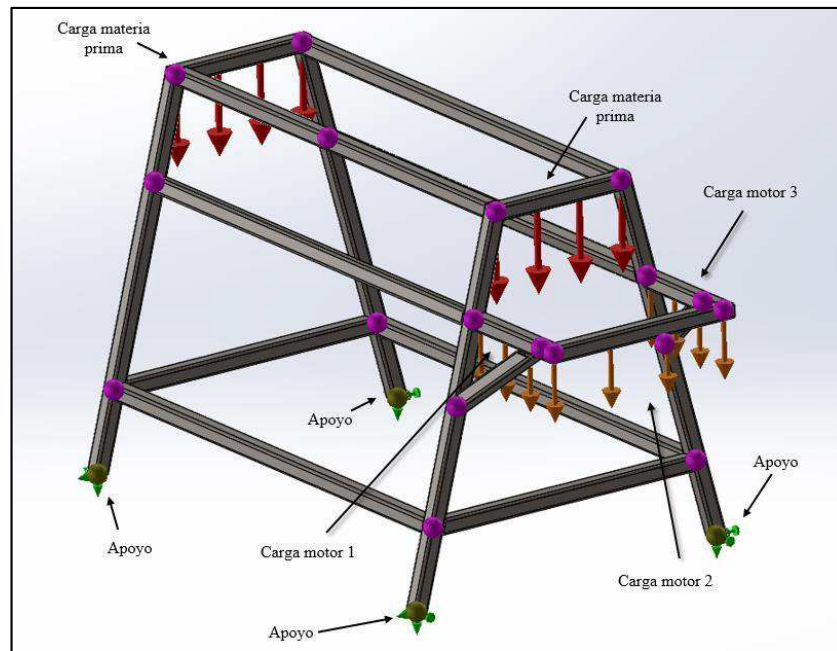


Fig. 34 Vista isométrica de la estructura (asignaciones de las cargas).

El peso que ejerce la materia prima al molino es de 57,19 N y como las bridas estarán distribuyendo la carga a la parte frontal y posterior, se divide la carga a la mitad dando como resultado 28,60 N. La carga que ejercerá el motor es de 73,58 N y se distribuirá en los 3 largueros de la parte posterior donde se alojará el motor, dando dos cargas de 19,99 N a una distancia de 20 cm y 28,6 N a una distancia de 33 cm, mostrada en la TABLA XVIII.

TABLA XVIII
CARGA SOPORTADA POR LA ESTRUCTURA

Anotación	Carga
Carga del motor 1	19,99 N
Carga del motor 2	53,58N
Carga del motor 3	19,99 N
Carga materia prima	28,6 N

4.9.2. Mallado para simulación estructural.

El mallado es un elemento fundamental para la obtención de resultados exactos en un análisis de elementos finitos (FEA). Cuando se usa un mallado con la mayor cantidad de nodos posibles los resultados serán más exactos y, por tal motivo, los tiempos de resolución serán extensos.

La Fig. 35 muestra la cantidad de nodos y elementos que se utilizaron para obtener los resultados de validación de la estructura, la densidad de la malla utilizada es de tipo media, teniendo un parámetro de mallado de 10 elementos. Para simulaciones estructurales el único requisito para la simulación es definir correctamente el espesor de la malla, asignar apoyos y cargas, ya que el proceso de validación es diferente que el de una pieza común.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-SIMULATIOM<Como mecanizada>-)
Tipo de malla	Malla de viga
Control de malla	Definida
Número total de nodos	312
Número total de elementos	167
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05
Nombre de computadora	

Fig. 35 Detalles de la malla usada para la simulación de la estructura de soporte.

Cuando se utiliza el complemento miembro estructural en SolidWorks, el mallado de los elementos se muestra de forma cilíndrica y esto no afecta en la correcta obtención de los resultados. El mallado, los apoyos y las cargas obtenidas se muestra en la Fig. 36.

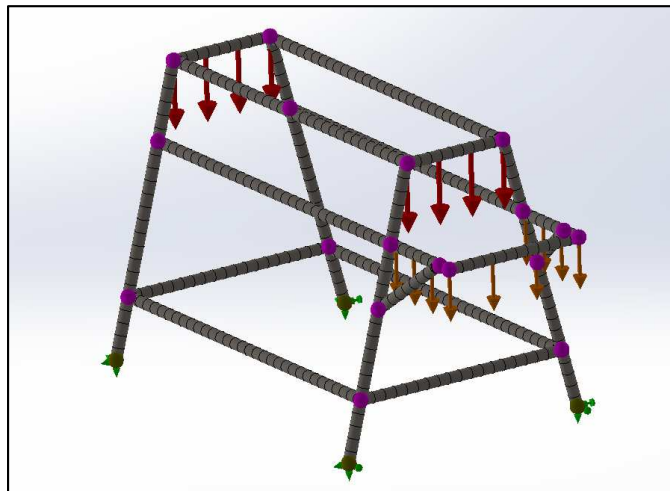


Fig. 36 Mallado, apoyos y cargas de la estructura de soporte del molino.

4.9.3. Límites máximos y mínimos de tensión y flexión.

Los esfuerzos que la estructura va a soportar deben ser menores que el límite elástico, en caso de no ser así se modificará la geometría de la estructura, material o simplemente se cambiará el tipo de perfil por uno que cumpla con los requisitos de resistencia.

El esfuerzo máximo que soportará la estructura con las cargas asignadas para la simulación es de 2,53 MPa y se puede corroborar en la Fig. 37. El límite elástico del material de los perfiles estructurales es de 250 MPa, esto demuestra que la estructura resistirá el trabajo de molienda de la máquina.

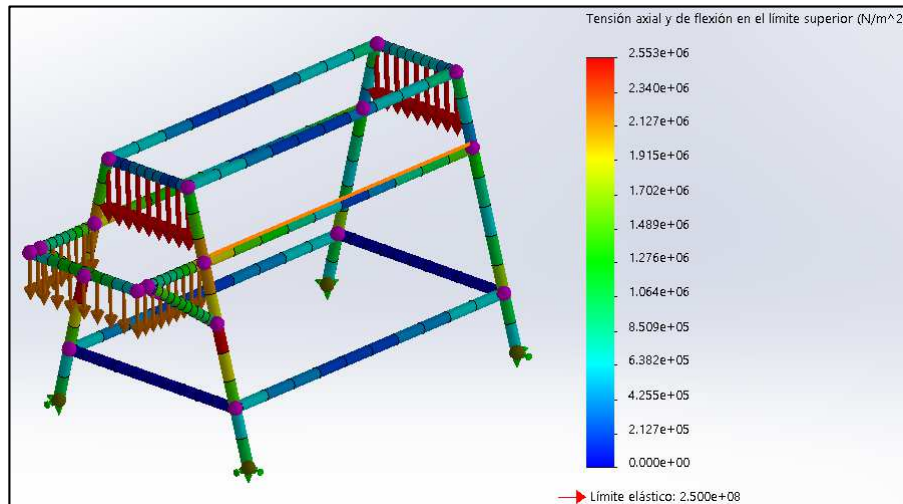


Fig. 37 Límites de flexión y tensión existentes en la estructura.

4.9.4. Deformación de la estructura.

La deformación en SolidWorks está representada en unidades milimétricas y permitirá conocer el desplazamiento resultante (URES) producto de las cargas asignadas a la estructura el límite superior de desplazamiento es 0,0433 mm, tal como se muestra en la Fig. 38.

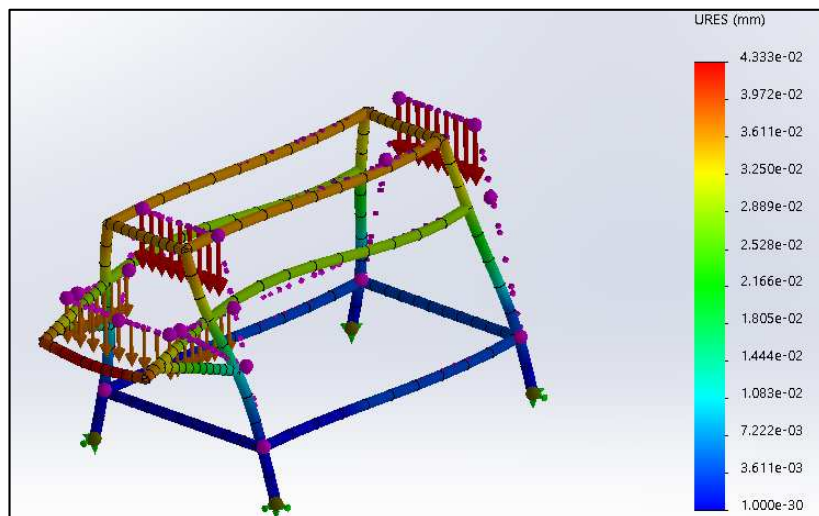


Fig. 38 Deformación en la estructura de soporte.

4.9.5. Factor de seguridad.

El factor de seguridad es la relación entre la capacidad máxima que puede tener un elemento o un sistema y la carga por la cual se verá sometido. El valor debe ser mayor a 1 y el sistema de unidades es adimensional.

El factor de seguridad mínima es de 5,32, esto significa que el material y la geometría que se está utilizando para la estructura cumple con los requerimientos de resistencia. En la Fig. 39 podemos apreciar valores de factor de seguridad en todos los lugares de la estructura.

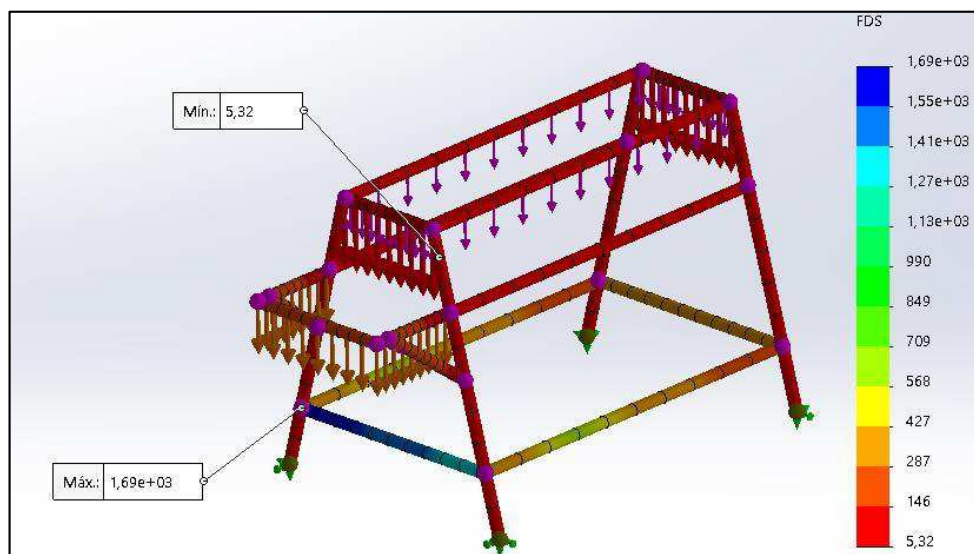


Fig. 39 Factor de seguridad en la estructura.

La TABLA XIX muestra un resumen de los resultados obtenidos en la validación de la estructura del molino.

TABLA XIX
RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

Resultado	Valor mínimo	Valor máximo
Esfuerzos	-	2,53 MPa
Deformación	$1,00 \times 10^{-30}$ mm	0,0433 mm
Factor de seguridad	5,32	-

4.10. Costos del proyecto.

El molino está pensado para los pequeños agricultores de la zona 5, por lo cual los costos de construcción deben ser los más económicos posibles. A continuación, se analizará los costos de inversión para todos los componentes que conforman el molino, se dividirá en dos partes: materiales, mano de obra. Los costos totales por adquisición de materiales son de \$ 661,75 y se ve reflejado en la TABLA XX. Los costos totales por mano de obra son de \$ 450,00 y se encuentra detallado en la TABLA XXI.

TABLA XX
COSTOS DE MATERIALES

Descripción	Cantidad	Precio	Total
Plancha acero ASTM A36 4x8 pies	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Acero de transmisión de 2 pulgadas	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Funda de electrodo 6011	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Pernos $\frac{3}{8}$ pulgada	35	\$ 0,35	\$ 12,25
Arandela plana para pernos $\frac{3}{8}$ pulgada	35	\$ 0,15	\$ 5,25
Tuercas para perno $\frac{3}{8}$ pulgada	35	\$ 0,25	\$ 8,75
Tubo cuadrado 25x25x2,0 mm	1	\$ 25,50	\$ 25,50
Ángulo 50x50x3 mm	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Galón de pintura alimenticia	1	\$ 55,00	\$ 55,00
Chumacera de pared de 1 $\frac{1}{2}$ pulgada	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Cojinete de 1 pulgada	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Motor con reductor de velocidad	1	\$ 350,00	\$ 350,00
Total			\$ 661,75

TABLA XXI
MANO DE OBRA

Descripción	Precio
Mecanizado y realización de hélices del transportador	\$ 100,00
Mano de obra	\$ 300,00
Materiales adicionales	\$ 50,00
Total	\$ 450,00

La inversión total por la construcción de un molino es de \$ 1 111,75, mostrada en la TABLA XXII, donde se consideró costos tanto materiales como mano de obra y estos pueden reducirse hasta un 35% si las máquinas se fabricarán en masa.

TABLA XXII
COSTO TOTAL DEL MOLINO

Descripción	Precio
Materiales	\$ 661,75
Mano de obra	\$ 450,00
Total	\$ 1 111,75

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se tuvieron varias alternativas para la selección del molino ideal para el presente proyecto y mediante el método de ponderación y matriz QFD (Quality Function Deployment) se escogió la máquina trituradora de discos con muelas porque permitía obtener una molienda de calidad ajustable. Las variables usadas para optar por un equipo fueron varias, entre ellas destacan: precio, estética, peso, seguridad, dimensiones, entre otros.
- En el proceso de dimensionamiento del molino de uso la norma CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) para los elementos como el transportador, el canalón, la tolva, la tapa superior; para las demás partes se optó por probar otros criterios de diseño de máquinas y materiales para los discos con muelas, estructura de soporte, sistema de transmisión y motor – reductor, tapa frontal y posterior; permitiendo agilizar el proceso de modelación computacional mediante el software educativo SolidWorks. Se obtuvieron valores de diámetro de hélice de transportador y discos de 0,15 m y 0,16 m, una longitud total de 1,23 m, un ancho de 0,58 m y una altura de 1,06 m.
- La estructura de soporte fue necesaria validarla mediante el complemento CAE Solidworks Simulation ya que para este elemento no existe ninguna documentación que permita sustentar si en realidad va a resistir el peso y trabajo del molino. Se usaron perfiles cuadrados de 25x2 mm, obteniendo un factor de seguridad de 5,32.
- El proceso de fabricación del molino triturador inició con la realización de las piezas que lo conforman, teniendo en cuenta las dimensiones especificadas en los planos de taller basadas en la norma INEN E003; luego, se procedió con el ensamble y finalmente se procedió con las pruebas de funcionamiento, obteniendo los resultados esperados de una capacidad de producción de $1 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$.

5.2. Recomendaciones.

- En el proceso de fabricación se recomienda utilizar personal con experiencia en la manufactura de máquinas industriales, además de cumplir con las especificaciones técnicas (memoria de cálculo, planos).
- Se recomienda antes de usar la máquina que el encargado realice la debida inspección visual a todos los componentes del molino, como la comprobación de la tensión de las bandas de las poleas, los tornillos de fijación de las poleas hacia el eje reductor y el eje sinfín, de esta forma se asegurará que trabaje la máquina correctamente.
- Se sugiere realizar la limpieza del equipo antes y después de su uso, para evitar el deterioro de sus componentes.
- Realizar continuamente el debido mantenimiento de la máquina, para los diferentes componentes como el motor, chumaceras, y ejes, se deberá revisar en los catálogos y las respectivas fichas técnicas de mantenimiento para evitar fallas que ocasionen averías que repercutan el correcto funcionamiento del molino de eje sinfín.
- La máquina trituradora debe trabajar por debajo de la demanda establecida de 1 ton/h para evitar fallos prematuros en el equipo.
- En el presente proyecto no se consideró utilizar un sistema de recolección de producto triturado y un sistema de clasificación de calidad de material, se recomienda la implementación de estos dispositivos para mejorar el proceso de trituración y para alargar la vida útil del motor.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

- [1] Z. L. d. F. Agnes Chase, Libro de las gramineas, Turrialba: Iica, 2018.
- [2] Equipo de Botanica-online, «Botanica-online,» 15 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.botanical-online.com/alimentos/tuberculos-comestibles-tipos>. [Último acceso: 24 Agosto 2020].
- [3] V. Hopp, Fundamento de tecnología química, España: Reverte, S.A, 2017.
- [4] J. O. Cañavate, Las maquinas agrícolas y su aplicación, México: Mundi-prensa, 2019.
- [5] V. P. d. Villarreal, «Molino y molinería,» MacHall, Lecároz, 2019.
- [6] D. C. Bermeo, *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas*, Latacunga, 2016.
- [7] D. C. B. Martinez, «Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas.,» *ESPE*, p. 4.
- [8] E. A. Blanco, «OCW,» [En línea]. Available: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/8._molienda.pdf. [Último acceso: 25 Junio 2020].
- [9] C. Pleguezuelos, Planificación del mantenimiento de un molino de rodillos en una industria dedicada a la fabricación de carbonato de estroncio, Cartagena, 2017.
- [10] H. Rodriguez, «Ingemecánica,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorial143.html>. [Último acceso: 24 Agosto 2020].
- [11] «Ingemecánica,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorial143.html>. [Último acceso: 21 Febrero 2021].
- [12] R. G. Nissbett, Diseño de ingeniería mecánica, New York: McGraw Hill, 2018.
- [13] «Solid Bi,» [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: 25 Junio 2020].
- [14] E. U. G. Carmen Fulana Bleda, «Los modelos de investigación: una herramienta multidisciplinaria de investigación.,» Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.encuentros->

multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen_Fullana_Belda_y_Elena_Urqu%C3%ADa_Grande.pdf. [Último acceso: 25 Junio 2020].

- [15] J. B. N. C. A. L. J. G Brennan, Las operaciones de la ingeniería de los alimentos, Zaragoza: Acriba S.A., 2016.
- [16] R. L. Mott, Diseño de elemento de máquinas, México: Pearson educación, 2019.
- [17] J. K. N. Richard G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw-Hill, 2020.
- [18] L. Wiley, Diseño de elementos de máquinas, New York: Limusa S.A. Lhon Wiley, 2016.
- [19] E. Barva, Ingeniería Concurrente, Barcelona: Gestión 2000, 2017.
- [20] S. Kalpakjian, Manufactura, ingeniería y tecnología, México: Pearson Educación, 2019.
- [21] C. R. Romeva, diseño concurrente, Barcelona: UPC, 2017.
- [22] J. J. Bernal, «Pdca Hoe,» 18 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].
- [23] Google, «Google Maps,» 25 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/place/Quevedo/@-1.0196141,-80.0254019,9z/data=!4m5!3m4!1s0x902b4e07de33a1ff:0x3ad078d90c4540a1!8m2!3d-1.0225124!4d-79.4604035?hl=es&authuser=0>.
- [24] C. E. &. MANUFACTURING, «CONVEYOR ENGINEERING & MANUFACTURING,» [En línea]. Available: <https://www.conveyoreng.com/>. [Último acceso: 12 Agosto 2021].
- [25] T. SAS, «TECNOTRANS SAS,» [En línea]. Available: <https://www.tecnotranssas.com/>. [Último acceso: 15 Agosto 2021].
- [26] L. Bazurto, «ALNICOLSA,» [En línea]. Available: <http://taninos.tripod.com/index.htm>. [Último acceso: 25 Junio 2020].
- [27] Cosmos, «Molino de bolas,» [En línea]. Available: <https://molinodebolas.com.mx/>. [Último acceso: 25 Junio 2020].

- [28] «Upv,» Eduroam, 10 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas%20Angiospermas/Comenilidas/Gramineas.htm>. [Último acceso: 202 Agosto 24].
- [29] A. Miravete y E. Larrodé, Transportadores y elevadores, Barcelona: Reverte, 2004.
- [30] Rodavigo, «Rodavigo S.A.,» [En línea]. Available: <https://rodavigo.net/catalogos/OPTIBELT/Correas%20trapeciales/OPTIBELT%206%20C%C3%A1lculo%20de%20transmisi%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [31] Böhler, «Aceros Böhler,» [En línea]. Available: <https://www.acerosbohler.com/es/products/m303/>. [Último acceso: 22 Marzo 2021].
- [32] D. A. Pfenning, «La ciencia de los materiales cobra vida para los estudiantes de ingeniería.,» Granta Desing Limited, Berlin, 2019.
- [33] J. J. Bernal, «Pdca Hoe,» 18 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].

CAPÍTULO VII

ANEXOS



Cartilla de mantenimiento para molino triturador de gramíneas y tubérculos.

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 el sinfin este correctamente instalado.
4. Inspeccionar que las mordazas tengan la debida separación para que realice la molienda.

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:

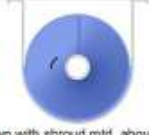
1. Zapatos punta de acero.
2. Buzo fino.
3. Goggles.
4. Casco.
5. Audífonos protectores de ruido.

Anexo 1. Frecuencias de mantenimiento.

ITEM	PARTE	ACCIÓN	FRECUENCIA													
			1												2	3
			MESES													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Rodamientos	Lubricación			x			x			x			x		
		Reemplazo													x	
2	Chumacera	Lubricación			x			x			x			x		
		Reemplazo													x	
3	Motor	Limpieza		x		x		x		x		x		x		
		Ajuste	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
4	Tolva	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
5	Discos con muelas	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
		Afilar dientes			x			x			x			x		
		Reemplazo														x
6	Tornillo	Limpieza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
		Reemplazo														x
7	Canalón	Limpieza				x				x				x		

Anexo 2. Capacidad del transportador.

TABLE D: Conveyor Capacities

PERCENT TROUGH LOAD	SCREW DIAMETER	MAXIMUM RECOMMENDED RPM	CAPACITY (FT ³ /HR) at MAX RPM	CAPACITY (FT ³ /HR) per RPM
15% 	6	60	45	0.8
	9	55	150	2.7
	12	50	325	6.5
	14	50	520	10.4
	16	45	700	15.6
	18	45	1,010	22.5
	20	40	1,250	31.2
	24	40	2,180	54.6
	30	30	3,152	105.0
	36	20	3,597	184.0
30% A 	6	120	180	1.5
	9	100	545	5.5
	12	90	1,160	12.9
	14	85	1,770	20.8
	16	80	2,500	31.2
	18	75	3,380	45.0
	20	70	4,370	62.5
	24	65	7,100	109.0
	30	50	10,506	210.0
30% B 	6	60	90	1.5
	9	55	295	5.7
	12	50	646	12.9
	14	47	696	14.8
	16	44	1,382	31.4
	18	41	1,834	44.7
	20	38	2,361	62.1
	24	36	3,928	109.1
	30	27	5,673	210.0
45% 	6	165	368	2.2
	9	155	1,270	8.2
	12	145	2,820	19.4
	14	140	4,370	31.2
	16	130	6,060	46.7
	18	120	8,120	67.6
	20	110	10,300	93.7
	24	100	16,400	164.0
	30	70	22,062	315.0
95%  (Shown with shroud mtd. above screw) see p.92 for more on Feeder Screws	6	300*	1,415	4.7
	9	275*	4,832	17.6
	12	255*	10,760	42.0
	14	240*	16,342	68.0
	16	220*	22,280	101.0
	18	210*	30,529	145.0
	20	190*	37,385	196.0
	24	170*	58,858	346.0
	30	115*	76,519	665.0
	36	70*	79,754	1,139.0

* Static balancing of screws typically necessary to operate at these max speeds.

Anexo 3. Factor de potencia del diámetro del transportador.

TABLE L: Diameter HP Factor

SCREW DIA.	F _d	SCREW DIA.	F _d
6	18	24	235
9	31	30	360
10	37	36	512
12	55	42	720
14	78	48	940
16	106	54	1200
18	135	60	1500
20	165		

Anexo 4. Factor de potencia del cojinete de suspensión.

TABLE M: Hanger Bearing HP Factor		
COMPONENT GROUP	BEARING TYPE	FACTOR F_b
A	Ball	1.0
B & C	Babbitt	1.7
	Bronze	1.7
	Bronze (oil impregnated)	1.7
	Bronze w/Graphite Plugs	1.7
	Canvas Based Phenolic	1.7
	Ertalyte	2.5
	Gatke	1.7
	Melamine	3.5
	Nylon/Nylatron GS	2.0
	Plastic Resin	2.0
	Ryertex	1.7
	Teflon	2.0
	UHMW	2.0
	Wood (oil impregnated)	1.7
D Req's hardened cplg shaft	Chilled Hard Iron	4.4
	Hardened Alloy Sleeve	4.4
	Stellite	4.4

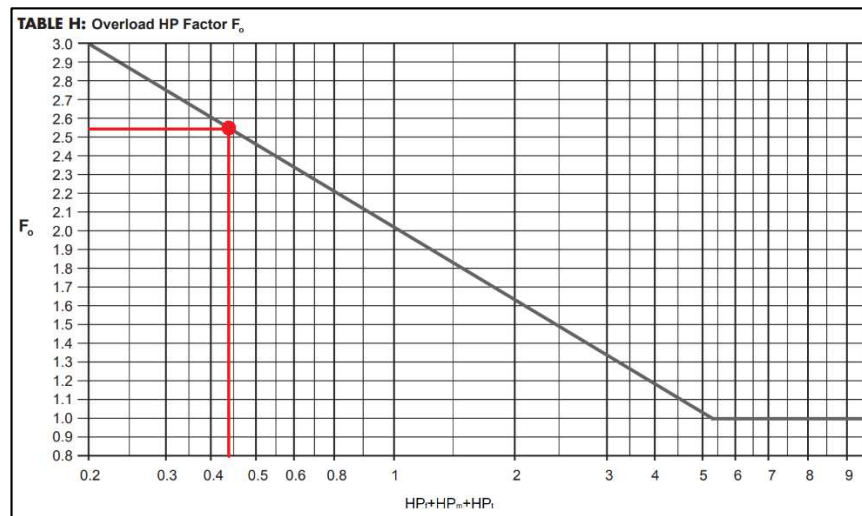
Anexo 5. Factor de modificación de vuelo.

TABLE J: Flight Modification HP Factor, F_f				
TYPE OF FLIGHTING	CONVEYOR LOADING			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.00	1.00	1.00	1.00
Cut	1.10	1.15	1.20	1.30
Cut & Folded	NR	1.50	1.70	2.20
Ribbon	1.05	1.14	1.20	NR

Anexo 6. Factor de modificación de las aspas.

TABLE K: Paddle HP Factor, F_p				
STD PADDLES PER PITCH SET AT 45° REVERSE PITCH				
NONE	1	2	3	4
1.00	1.29	1.58	1.87	2.16

Anexo 7. Factor de sobrecarga Fo.



Anexo 8. Eficiencia mecánica "e".

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

* Drive efficiencies from either Table G1 (complete drive configurations) or G2 (individual components) may be used for horsepower calculations. If using G2, multiply individual component efficiencies together to obtain total drive efficiency.

Anexo 9. Catálogo de motores eléctricos WEG, según su potencia y algunas características adicionales.

W22 Monofásico - Con condensador permanente - 60 Hz																			
Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado Ii/In	Par con rotor trabado Ti/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
												Rendimiento			Factor de potencia				
kW	HP											50	75	100	50	75	100	220 V	440 V
El Polos																			
0,09	0,12	63	0,025	4,8	0,60	3,1	0,0002	11	9,0	50	3500	30,2	39,9	47,0	0,87	0,89	0,93	0,936	0,468
0,12	0,16	63	0,033	4,7	0,65	3,1	0,0002	9	9,3	50	3505	31,4	41,5	49,2	0,93	0,94	0,96	1,15	0,575
0,18	0,25	63	0,050	4,9	0,50	3,0	0,0002	6	9,6	50	3505	37,5	48,2	55,6	0,76	0,84	0,88	1,67	0,835
0,25	0,33	63	0,070	4,4	0,50	2,5	0,0002	6	9,8	50	3480	42,2	53,1	60,2	0,91	0,92	0,95	1,99	0,995
0,37	0,5	71	0,106	4,0	0,55	2,25	0,0005	14	10,8	60	3415	45,5	55,6	61,3	0,94	0,96	0,99	2,74	1,37
0,55	0,75	71	0,157	4,2	0,45	2,2	0,0006	11	11,8	60	3410	53,6	62,8	67,2	0,94	0,97	0,99	3,76	1,88
0,75	1	80	0,212	4,1	0,45	2,1	0,0009	18	16,4	65	3450	59,4	68,8	73,2	0,96	0,98	0,99	4,70	2,35
1,1	1,5	90S	0,310	5,2	0,30	2,2	0,0022	8	24,0	69	3455	70,0	77,0	79,2	0,94	0,96	0,97	6,51	3,26
1,5	2	90L	0,428	5,2	0,30	2,15	0,0023	13	26,5	69	3410	76,7	81,3	81,9	0,95	0,97	0,97	8,58	4,29
2,2	3	90L	0,623	6,0	0,45	2,3	0,0027	6	28,0	69	3440	73,0	79,0	81,5	0,97	0,98	0,99	12,4	6,20

Anexo 10. Dimensionamiento del transportador.

SECTIONAL SCREW

A technical diagram of a sectional screw conveyor. It shows a horizontal shaft with several flights (screws) attached. The diagram is labeled with three dimensions: 'SCREW DIA.' with a vertical double-headed arrow indicating the diameter of the shaft; 'LENGTH' with a horizontal double-headed arrow indicating the total length of the section; and 'PITCH' with a horizontal double-headed arrow indicating the distance between the peaks of two adjacent flights.

SCREW DIA	COUPLING SHAFT DIA	SCREW PART #	NOMINAL PIPE SIZE	PIPE OD	FLIGHT THICK.	STD LENGTH	STD LENGTH SCREW WT* (LB)			FLIGHT WT EACH (LB)
							SCH 40	SCH 80	SCH 80 CLAD**	
6	1 ½	6SS309	2	2 ¾	10 ga	9'-10"	62	75	NA	1.1
6	1 ½	6SS312	2	2 ¾	⅜	9'-10"	70	83	NA	1.6
6	1 ½	6SS316	2	2 ¾	¼	9'-10"	80	93	NA	2.1
9	1 ½	9SS309	2 ½	2 ¾	10 ga	9'-10"	78	91	NA	3.0
9	1 ½	9SS312	2 ½	2 ¾	⅜	9'-10"	115	132	NA	3.9
9	1 ½	9SS316	2 ½	2 ¾	¼	9'-10"	131	148	NA	5.2
9	2	9SS409	2 ½	2 ¾	10 ga	9'-10"	97	115	NA	2.8
9	2	9SS412	2 ½	2 ¾	⅜	9'-10"	111	128	NA	3.9
9	2	9SS416	2 ½	2 ¾	¼	9'-10"	127	144	NA	5.2
9	2	9SS424	2 ½	2 ¾	⅝	9'-10"	159	176	NA	7.7
10	1 ½	10SS309	2 ½	2 ¾	10 ga	9'-10"	106	124	NA	3.6
10	1 ½	10SS312	2 ½	2 ¾	⅜	9'-10"	122	139	NA	5.0
10	2	10SS409	2 ½	2 ¾	10 ga	9'-10"	103	120	NA	3.6
10	2	10SS412	2 ½	2 ¾	⅜	9'-10"	118	136	NA	5.0
10	2	10SS416	2 ½	2 ¾	¼	9'-10"	137	154	NA	6.6
10	2	10SS424	2 ½	2 ¾	⅝	9'-10"	174	191	NA	9.9
12	2	12SS412	2 ½	2 ¾	⅜	11'-10"	134	151	NA	7.6
12	2	12SS416	2 ½	2 ¾	¼	11'-10"	157	175	NA	10.1
12	2 ⅞	12SS512	3	3 ½	⅜	11'-9"	178	208	257	7.1
12	2 ⅞	12SS516	3	3 ½	¼	11'-9"	205	235	284	9.5
12	2 ⅞	12SS524	3	3 ½	⅝	11'-9"	258	288	337	14.2
12	3	12SS612	3 ½	4	⅜	11'-9"	193	231	287	6.8
12	3	12SS616	3 ½	4	¼	11'-9"	218	256	312	9.0
12	3	12SS624	3 ½	4	⅝	11'-9"	268	306	363	13.5

Anexo 11. Capacidades para cadena simple número 40 con paso 0,5 in.

TABLA 7-5 Capacidades en caballos de fuerza - Cadena simple de rodillos número 40

Núm. de dientes	0.500 pulgadas de paso				Velocidad mínima de giro de la catarina, rev/min																				
	10	25	50	100	180	200	300	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	9000
11	0.06	0.14	0.27	0.52	0.91	1.00	1.48	2.42	3.34	4.25	4.70	5.60	6.49	5.57	4.66	3.70	2.85	2.17	1.72	1.41	1.01	0.77	0.61	0.50	0.00
12	0.06	0.15	0.29	0.56	0.99	1.09	1.61	2.64	3.64	4.64	5.13	6.11	7.09	6.34	5.31	4.22	3.25	2.47	1.96	1.60	1.15	0.87	0.69	0.57	0.00
13	0.07	0.16	0.31	0.61	1.07	1.19	1.75	2.86	3.95	5.02	5.56	6.62	7.68	7.15	5.99	4.76	3.66	2.79	2.21	1.81	1.29	0.98	0.78	0.00	
14	0.07	0.17	0.34	0.66	1.15	1.28	1.88	3.08	4.25	5.41	5.98	7.13	8.27	7.99	6.70	5.31	4.09	3.11	2.47	2.02	1.45	1.10	0.87	0.00	
15	0.08	0.19	0.36	0.70	1.24	1.37	2.02	3.30	4.55	5.80	6.41	7.64	8.86	8.86	7.43	5.89	4.54	3.45	2.74	2.24	1.60	1.22	0.97	0.00	
16	0.08	0.20	0.39	0.75	1.32	1.46	2.15	3.52	4.86	6.18	6.84	8.15	9.45	9.76	8.18	6.49	5.00	3.80	3.02	2.47	1.77	1.34	0.00		
17	0.09	0.21	0.41	0.80	1.40	1.55	2.29	3.74	5.16	6.57	7.27	8.66	10.04	10.69	8.96	7.11	5.48	4.17	3.31	2.71	1.94	1.47	0.00		
18	0.09	0.22	0.43	0.84	1.48	1.64	2.42	3.96	5.46	6.95	7.69	9.17	10.63	11.65	9.76	7.75	5.97	4.54	3.60	2.95	2.11	1.60	0.00		
19	0.10	0.24	0.46	0.89	1.57	1.73	2.56	4.18	5.77	7.34	8.12	9.66	11.22	12.64	10.59	8.40	6.47	4.92	3.91	3.20	2.29	0.09	0.00		
20	0.10	0.25	0.48	0.94	1.65	1.82	2.69	4.39	6.07	7.73	8.55	10.18	11.81	13.42	11.44	9.07	6.99	5.31	4.22	3.45	2.47	0.00			
21	0.11	0.26	0.51	0.98	1.73	1.91	2.83	4.61	6.37	8.11	8.98	10.69	12.40	14.10	12.30	9.76	7.52	5.72	4.54	3.71	2.65	0.00			
22	0.11	0.27	0.53	1.03	1.81	2.01	2.96	4.83	6.68	8.50	9.40	11.20	12.99	14.77	13.19	10.47	8.06	6.13	4.87	3.98	2.85	0.00			
23	0.12	0.28	0.56	1.08	1.90	2.10	3.10	5.05	6.98	8.89	9.83	11.71	13.58	15.44	14.10	11.19	8.62	6.55	5.20	4.26	3.05	0.00			
24	0.12	0.30	0.58	1.12	1.98	2.19	3.23	5.27	7.28	9.27	10.26	12.22	14.17	16.11	15.03	11.93	9.18	6.99	5.54	4.54	0.87	0.00			
25	0.13	0.31	0.60	1.17	2.06	2.28	3.36	5.49	7.59	9.66	10.69	12.73	14.76	16.78	15.98	12.68	9.76	7.43	5.89	4.82	0.00				
26	0.13	0.32	0.63	1.22	2.14	2.37	3.50	5.71	7.89	10.04	11.11	13.24	15.35	17.45	16.95	13.45	10.36	7.88	6.25	5.12	0.00				
28	0.14	0.35	0.67	1.31	2.31	2.55	3.77	6.15	8.50	10.82	11.97	14.26	16.53	18.79	18.94	15.03	11.57	8.80	6.99	5.72	0.00				
30	0.15	0.37	0.72	1.41	2.47	2.74	4.04	6.59	9.11	11.59	12.82	15.28	17.71	20.14	21.01	16.67	12.84	9.76	7.75	6.34	0.00				
32	0.16	0.40	0.77	1.50	2.64	2.92	4.31	7.03	9.71	12.38	13.68	16.30	18.89	21.48	23.14	18.37	14.14	10.76	8.54	1.41					
35	0.18	0.43	0.84	1.64	2.88	3.19	4.71	7.69	10.62	13.52	14.96	17.82	20.67	23.49	26.30	21.01	16.17	12.30	9.76	0.00					
40	0.21	0.50	0.96	1.87	3.30	3.65	5.38	8.79	12.14	15.45	17.10	20.37	23.62	26.85	30.06	25.67	19.76	15.03	0.00						
45	0.23	0.56	1.08	2.11	3.71	4.10	6.08	9.89	13.66	17.39	19.24	22.92	26.57	30.20	33.82	30.63	23.58	5.53	0.00						
	Tipo A				Tipo B										Tipo C										

Tipo A

Tipo B

Tipo C

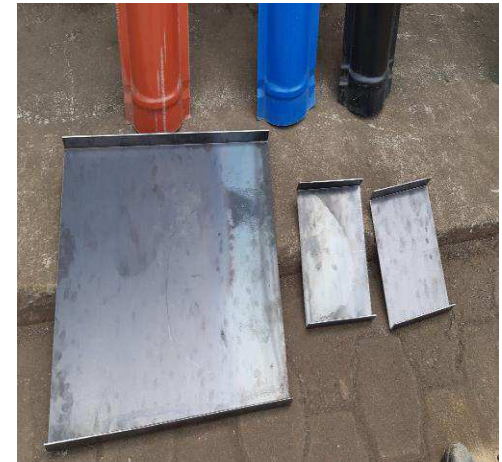
Tipo A: Lubricación manual o por goteo
 Tipo B: Lubricación en baño o con disco
 Tipo C: Lubricación con chorro de aceite

Fuente: American Chain Association, Naples, FL

Anexo 12. Ensamble de la estructura metálica.



Anexo 13. Dobles de las tapas frontales y posteriores.



Anexo 14. Trazado, Corte y perforado de las bridas del canalón



Anexo 15. Rolado del canalón y canalón reductor.



Anexo 16. Soldadura de las bridas en el canalón y remoción de escoria.



Anexo 17. Torneado del eje para soldadura de las hélices de avance.



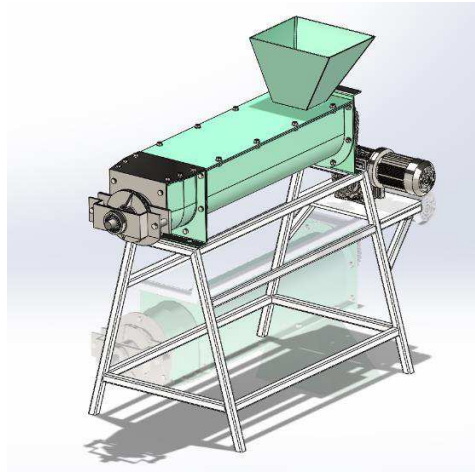
Anexo 18. Pintado de la con epóxido a las partes del molino.



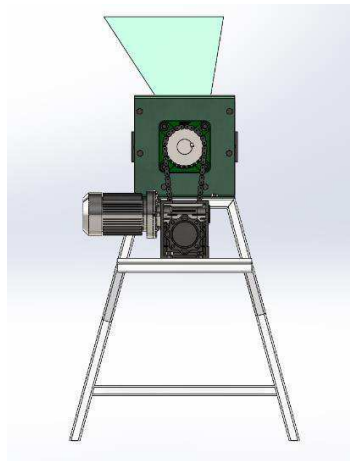
Anexo 19. Máquina ensamblada, antes y después de pintarla.



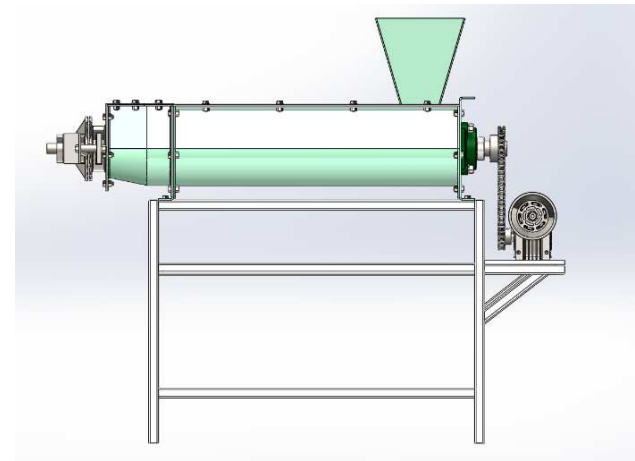
Anexo 20. Vistas generales del modelo en el software educativo SolidWorks.



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA POSTERIOR



VISTA LATERAL IZQUIERDA