



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOLINO
DE MARTILLOS PARA LA TRITURACIÓN DE GRANOS SECOS,
PARA LA MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL, UBICADA EN LA
PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA
DE COTOPAXI.”**

Tesis presentada previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Autores:

Corrales Castellano Byron Patricio

Recalde Carrera Gustavo Alejandro

Director:

Ing. Salazar Cueva Edison Patricio

Latacunga – Ecuador

Marzo - 2014





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Latacunga - Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente informe técnico de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto los postulantes: Corrales Castellano Byron Patricio y Recalde Carrera Gustavo Alejandro, con el título de tesis: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA LA TRITURACIÓN DE GRANOS SECOS, PARA LA MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL, UBICADA EN LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 18 del 2014

Para constancia firman:

Ing. Raúl Reinoso
PRESIDENTE

Dt. Galo Terán
MIEMBRO

Ing. Mgs. Edwin Moreano
OPOSITOR

AUTORÍA

Los autores certifican que la redacción, investigación y propuesta del presente trabajo son de su exclusiva autoría.

Se declara en tal virtud que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de nuestra sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'BYRON CORRALES', is written over a horizontal dashed line.

SR. CORRALES CASTELLANO

BYRON PATRICIO

C.I. 050253203-9

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'GUSTAVO RECALDE', is written over a horizontal dashed line.

SR. RECALDE CARRERA

GUSTAVO ALEJANDRO

C.I. 050324968-2

AVAL

HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
DE COTOPAXI.

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que los postulantes: Corrales Castellano Byron Patricio con CI 0502532039, y Recalde Carrera Gustavo Alejandro con CI 0503249682, han desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA LA TRITURACIÓN DE GRANOS SECOS, PARA LA MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL, UBICADA EN LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”** cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado se encuentra habilitada para presentarse al acto de defensa.

Latacunga, 21 de Febrero del 2014

EL DIRECTOR



.....
Ing. Edison Patricio Salazar Cueva
C.C. # 0501843171
DIRECTOR DE TESIS



Latacunga, 08 de Agosto del 2013

CERTIFICADO

Yo, Martha Yolanda Castellano Trávez, portadora de la cédula de ciudadanía 0501062715 en mi calidad de encargada de Molinera Comunitaria EDREVAL desde el año 2010, **certifico y avalo** que los señores Corrales Castellano Byron Patricio con C.C. 0502532039 y Recalde Carrera Gustavo Alejandro con C.C. 0503249682, construyeron un molino de martillos para la molinera a la que me encuentro a cargo, actualmente se encuentra dicho molino instalado y en correcto funcionamiento.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente.



Martha Castellano
ENCARGADA DE LA MOLINERA



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica De Cotopaxi, yo Lic. MSc. Liliana Elizabeth Jínez Tapia con la C.C. 171118471-1 CERTIFICO que he realizado la respectiva revisión del Abstract; con el tema: "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA LA TRITURACIÓN DE GRANOS SECOS, PARA LA MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL, UBICADA EN LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI." cuyos autores son: Byron Patricio Corrales Castellano con C.C. 0502532039 y Gustavo Alejandro Recalde Carrera con C.C. 0503249682, director de tesis Ing. Edison Patricio Salazar Cueva con C.C. 0501843171

Latacunga, 09 de Agosto del 2013

Docente:

Lic. MSc. Liliana Elizabeth Jínez Tapia

C.C. 171118471-1

AGRADECIMIENTO

Nuestro más profundo sentimiento de gratitud a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI por haber permitido que nos formemos humana y profesionalmente en sus aulas; estamos seguros que la presente investigación aportará significativamente al desarrollo de los conocimientos de diseño y construcción de máquinas así como también será una guía de estudio para los futuros profesionales de la especialidad de electromecánica.

Agradecemos también a absolutamente todos los docentes que nos guiaron por el camino adecuado para conseguir los objetivos y metas planteadas, compartiéndonos sus conocimientos en las aulas y fuera de ellas. Un agradecimiento especial al Ing. Edison Salazar, director de tesis por su apoyo y constante preocupación en el presente trabajo de investigación.

EL GRUPO.

DEDICATORIA

A mis padres quienes con sacrificio y esfuerzo constante me supieron guiar por el buen camino, y saber valorar las cosas por las cuales se lucha y se logran con tanto sacrificio, y a la confianza que me brindaron al ayudarme en mis estudios y poder alcanzar las metas y éxitos de la vida.

Byron

A mis padres Gustavo y Rocío, a mis hermanos Juan y Naty; a mis tíos Marco, Sonia y especialmente Melba que en búsqueda de mi superación personal siempre supieron ayudarme, guiarme y darme sabios consejos; a mis amados abuelitos papi Isaías y mami Marujita que con su infinito amor y cariño supieron enseñarme desde siempre el verdadero significado de la lucha por los objetivos que uno tanto anhela; a Pauly por inyectarme energía y positivismo para lograr conseguir esta meta de superación.

Gustavo

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pg.
Portada.....	i
Autoría.....	ii
Aval.....	iii
Certificado de implementación.....	iv
Aval de traducción.....	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Índice de contenido.....	viii
Índice de figuras.....	xviii
Índice de tablas.....	xxi
Índice de gráficos.....	xxiii
Índice de anexos.....	xxiv
Resumen.....	xxvi
Abstract.....	xxvii
Introducción.....	xxviii

CAPITULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. El maíz.....	1
-------------------	---

1.1.1. Clases de maíz.....	1
1.1.2. El maíz en el Ecuador.....	2
1.1.3. Producción nacional de maíz.....	3
1.1.4. Propiedades del maíz.....	4
1.1.4.1. Dureza del maíz.....	4
1.1.4.2. Métodos para evaluar dureza en el grano de maíz.....	4
1.1.4.3. Humedad.....	5
1.1.4.4. Nivel de humedad.....	6
1.2. La molienda.....	7
1.2.1. El molino.....	7
1.2.2. Tipos de molinos.....	8
1.2.2.1. Molino de piedra o discos.....	9
1.2.2.2. Molino de bolas o cilindros.....	9
1.2.2.3. Molino de Rodillo.....	10
1.2.2.4. Molino de Martillos.....	11
a. Principio de funcionamiento.....	12
b. Características.....	12
1.2.3. Molienda seca de maíz.....	13
1.3. Fundamentos de diseño.....	13
1.3.1. Definiciones de diseño.....	13
1.3.2. Criterios generales de diseño.....	14

1.4. Diseño mecánico.....	15
1.4.1. Definición.....	15
1.4.2. Máquina.....	15
1.4.3. Cinemática.....	15
1.4.3.1. Clasificación de los movimientos.....	15
1.4.3.2. Movimiento circular.....	16
a.) Movimiento circular uniforme (MCU).....	17
b.) Movimiento circular uniformemente variado (MCUV).....	18
1.4.4. Leyes de Newton.....	19
1.4.4.1. Primera ley de Newton del movimiento.....	20
1.4.4.2. Segunda ley de Newton del movimiento.....	20
1.4.4.3. Tercera ley de Newton del movimiento.....	21
1.4.5. Dinámica.....	21
1.4.5.1. Masa.....	21
1.4.5.2. Fuerza.....	22
1.4.5.3. Inercia.....	22
1.4.5.4. Trabajo.....	22
1.4.5.5. Potencia.....	23
1.4.5.6. Torque.....	23
1.4.5.7. Esfuerzo interno.....	24
a.) Esfuerzo normal.....	24

b.) Esfuerzo cortante.....	24
1.4.5.8. Dinámica de un cuerpo rígido.....	24
a.) Momento de inercia.....	25
b.) Radio de giro.....	25
c.) Rotación de un cuerpo rígido.....	26
d.) Segunda Ley de Newton para la rotación.....	27
1.5. Diseño y selección de elementos mecánicos.....	28
1.5.1. Energía.....	28
1.5.1.1. Energía cinética.....	28
1.5.1.2. Energía potencial.....	29
1.5.2. Análisis de tensiones.....	29
1.5.2.1. Teorías de falla de un material.....	30
1.5.3. Esfuerzos.....	30
1.5.3.1. Esfuerzo permisible.....	30
1.5.4. Diseño de ejes.....	32
1.5.4.1. Fuerzas producidas por elementos mecánicos.....	33
a.) Deflexiones en el eje.....	33
b.) Carga equivalente.....	33
c.) Cargas en el centro sobre apoyos simples.....	33
1.5.4.2. Selección del diámetro del eje cuando trabaja en flexión y torsión.....	34

a.) Fuerza cortante.....	34
b.) Momento flector.....	34
c.) Momento flector máximo.....	35
d.) Esfuerzo por flexión.....	35
e.) Esfuerzo por torsión.....	35
1.5.5. Selección de rodamientos.....	36
1.5.5.1. Clasificación de rodamientos.....	37
a.) Cojinetes radiales.....	37
b.) Cojinetes axiales.....	37
1.5.5.2. Procedimiento de selección de rodamientos.....	37
a.) Dimensionamiento.....	38
b.) Selección del tipo de rodamiento.....	40
1.5.6. Diseño de discos giratorios o volantes.....	40
1.5.6.1. Energía almacenada por el volante.....	40
1.5.6.2. Grado de irregularidad o coeficiente de fluctuación.....	42
1.5.6.3. Dimensionamiento del volante.....	43
1.6. Componentes del molino de martillos.....	44
1.6.1. Martillo.....	44
1.6.2. Disco porta martillos.....	45
1.6.3. Eje de martillos.....	46
1.6.4. Separadores o bocines.....	47

1.6.5. Eje del molino.....	48
1.6.6. Correa.....	49
1.6.6.1. Correa plana.....	50
1.6.6.2. Correa trapezoidal.....	50
1.6.7. Polea.....	51
1.6.7.1. Sistema de poleas.....	51
1.7. Motor eléctrico.....	53
1.7.1. Potencia en un motor eléctrico.....	53
1.7.2. Aceleración angular en un motor eléctrico.....	54
1.7.3. Motor eléctrico trifásico.....	54
1.7.3.1. Principio de funcionamiento.....	55
1.7.3.2. Tipos de motores trifásicos.....	55
a.) Motores síncronos.....	56
b.) Motores asíncronos.....	57
1.7.4. Protección.....	59
1.7.4.1. Contactor.....	59
1.7.4.2. Seccionador.....	59
1.7.4.3. Relé térmico.....	60

CAPÍTULO II

PRESENTACIÓN, TABULACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1. Reseña histórica de la molinera EDREVAL.....	61
2.2. Visión.....	61
2.3. Misión.....	62
2.4. Objetivos institucionales.....	62
2.5. Diseño Metodológico.....	62
2.5.1. Tipología de investigación.....	62
2.5.2. Métodos y técnicas de investigación.....	63
2.5.3. Instrumentos.....	64
2.6. Operacionalización de variables.....	64
2.7 Análisis e interpretación de los resultados de la entrevista aplicada a la encargada de la molinera comunitaria EDREVAL.....	65
2.7.1 Análisis e interpretación.....	67
2.8 Tabulación, graficación, análisis e interpretación de los resultados de las encuestas aplicadas a los clientes de la molinera EDREVAL.....	67
2.8.1 Conclusión.....	76
2.9. Comprobación de la Hipótesis.....	76
2.10. Decisión.....	77

CAPÍTULO III

CÁLCULO Y DISEÑO DE ELEMENTOS

3.1.	Introducción.....	78
3.2.	Análisis y selección de alternativas.....	79
3.3.	Justificación.....	81
3.4.	Parámetros de diseño.....	82
3.5.	Propuesta.....	83
3.6.	Objetivos.....	84
3.6.1.	Objetivo General.....	84
3.6.2.	Objetivos Específicos.....	84
3.7.	Cálculo y análisis de diseño.....	85
3.7.1.	Características del motor eléctrico.....	85
3.7.2.	Requisito de energía para triturar maíz duro.....	85
3.7.2.1.	Velocidad tangencial del extremo del martillo.....	86
3.7.3.	Diseño del martillo.....	87
3.7.3.1.	Módulo de resistencia del martillo y dimensiones.....	91
3.7.4.	Diseño del pasador de los martillos.....	94
3.7.4.1.	Determinación del diámetro del pasador.....	97
3.7.5.	Diseño del eje principal.....	97
3.7.5.1.	Determinación del diámetro del eje.....	100
3.7.6.	Selección de poleas.....	101

3.7.7.	Selección de banda.....	102
3.7.8.	Selección del rodamiento.....	103
3.8.	Construcción de la máquina.....	106
3.8.1.	Maquinaria empleada.....	106
3.8.2.	Instrumentos de medida.....	107
3.8.3.	Herramientas de taller.....	107
3.8.4.	Etapas de construcción.....	108
3.8.4.1.	Construcción del eje principal.....	108
3.8.4.2.	Construcción de los martillos.....	108
3.8.4.3.	Construcción de los bocines.....	109
3.8.4.4.	Construcción de los discos porta martillos.....	110
3.8.4.5.	Construcción de la cámara de trituración y tapa.....	110
3.8.4.6.	Construcción de la base del molino.....	111
3.8.4.7.	Construcción del tamiz.....	112
3.8.4.8.	Construcción del soporte del motor.....	113
3.8.4.9.	Construcción de la tolva.....	114
3.8.4.10.	Construcción del protector de la banda.....	114
3.8.4.11.	Montaje de elementos y construcción del molino de martillos.....	115
•	Montaje de elementos de la estructura externa del molino de martillos.....	115

- Montaje de elementos de la estructura interna del molino de martillos..... 117

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Eficiencia del proyecto.....	124
4.2.	Conclusiones.....	125
4.3.	Recomendaciones.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1.1. Aplicación de los cultivos de maíz en Ecuador.....	4
FIGURA 1.2. Ensayo de ruptura de un grano de maíz.....	5
FIGURA 1.3. Molino harinero moderno.....	8
FIGURA 1.4. Molino de discos.....	9
FIGURA 1.5. Esquema de un molino de bolas.....	10
FIGURA 1.6. Esquema de un molino de rodillos.....	11
FIGURA 1.7. Esquema de un molino de martillos.....	11
FIGURA 1.8. Modo de operación de un molino de martillos.....	12
FIGURA 1.9. Clasificación del movimiento según la trayectoria.....	16
FIGURA 1.10. Clasificación del movimiento según las características del vector velocidad.....	16
FIGURA 1.11. Partes de un rodamiento de bolas.....	36
FIGURA 1.12. Función de un volante y descripción.....	41
FIGURA 1.13. Esquema de choque grano – martillo.....	44
FIGURA 1.14. Clases de discos porta martillos.....	45
FIGURA 1.15. Posición de los martillos con respecto al movimiento..	47
FIGURA 1.16. Separadores.....	48
FIGURA 1.17. Martillos, separadores, discos y ejes porta martillos....	48
FIGURA 1.18. Representación gráfica del eje del molino.....	49

FIGURA 1.19. Correa de transmisión y poleas.....	50
FIGURA 1.20. Motor eléctrico.....	54
FIGURA 1.21. Rotor de polos lisos.....	56
FIGURA 1.22. Rotor de polos salientes.....	57
FIGURA 1.23. Rotor jaula de ardilla.....	58
FIGURA 1.24. Rotor bobinado o de anillos rozantes.....	59
FIGURA 1.25. Símbolo de un seccionador portafusible.....	60

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1. Torneado del eje principal.....	108
FIGURA 3.2. Perforación de martillos.....	109
FIGURA 3.3. Alisamiento interno y de bordes de los bocines.....	109
FIGURA 3.4. Trazo de circunferencia previa al corte.....	110
FIGURA 3.5. Corte de placas para construcción de cámara de trituración.....	111
FIGURA 3.6. Soldadura entre base del molino y cámara de trituración.....	112
FIGURA 3.7. Embarolamiento de plancha.....	113
FIGURA 3.8. Taladrado de agujeros en base del motor.....	113
FIGURA 3.9. Decapado de filos previos a soldadura.....	114
FIGURA 3.10. Estructura doblada y barolada previa a la soldadura....	115
FIGURA 3.11. Soldadura entre base del molino y cámara de trituración.....	115

FIGURA 3.12. Unión de tapa superior y parte inferior de la cámara de trituración.....	116
FIGURA 3.13. Soldadura entre tolva y tapa superior de la cámara de trituración.....	116
FIGURA 3.14. Soldadura entre la base del motor y la base del molino.....	117
FIGURA 3.15. Colocación de discos en el eje principal del molino.....	118
FIGURA 3.16. Discos ubicados correctamente en el eje del molino.....	118
FIGURA 3.17. Colocación de eje de martillos, martillos y bocines.....	119
FIGURA 3.18. Eje, discos, eje de martillos, martillos y bocines ensamblados.....	119
FIGURA 3.19. Colocación de chumaceras en el eje.....	120
FIGURA 3.20. Ajuste de chumaceras.....	120
FIGURA 3.21. Conjunto ensamblado y montado.....	120
FIGURA 3.22. Colocación de la polea en el eje principal.....	121
FIGURA 3.23. Ajuste de la polea al eje.....	121
FIGURA 3.24. Colocación de la polea en el eje del motor.....	121
FIGURA 3.25. Disposición de bandas.....	122
FIGURA 3.26. Bases de la carcaza protectora de la banda.....	122
FIGURA 3.27. Carcaza protectora de bandas.....	122
FIGURA 3.28. Molino de martillos ensamblado.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

TABLA 1.1. Características de diferentes tipos de maíz.....	2
TABLA 1.2. Superficie de los cultivos en las regiones del ecuador.....	3
TABLA 1.3. Humedad de almacenamiento y molienda de diferentes tipos de maíz.....	7
TABLA 1.4. Diferencias entre tipos de molinos.....	13
TABLA 1.5. Correlación entre la traslación y la rotación.....	28
TABLA 1.6. Coeficiente de fluctuación según el tipo de máquina.....	43
TABLA 1.7. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de discos...	46
TABLA 1.8. Secciones de bandas en V estándar.....	51

CAPÍTULO II

TABLA 2.1. Resultados de la pregunta N° 1 de la encuesta.....	68
TABLA 2.2. Resultados de la pregunta N° 2 de la encuesta.....	69
TABLA 2.3. Resultados de la pregunta N° 3 de la encuesta.....	70
TABLA 2.4. Resultados de la pregunta N° 4 de la encuesta.....	71
TABLA 2.5. Resultados de la pregunta N° 5 de la encuesta.....	72
TABLA 2.6. Resultados de la pregunta N° 6 de la encuesta.....	73
TABLA 2.7. Resultados de la pregunta N° 7 de la encuesta.....	74
TABLA 2.8. Resultados de la pregunta N° 8 de la encuesta.....	75

CAPITULO III

TABLA 3.1. Calificación de los diferentes tipos de molinos.....	80
TABLA 3.2. Calificación según el tipo de disco porta martillos.....	81
TABLA 3.3. Característica del motor a ser utilizado.....	85
TABLA 3.4. Propiedades acero ASTM: A517.....	87
TABLA 3.5. Maquinaria empleada.....	106
TABLA 3.6. Instrumentos de medición.....	106
TABLA 3.7. Herramientas del taller.....	107

CAPITULO IV

TABLA 4.1. Comparación entre maquinaria existente en molinera comunitaria EDREVAL.....	124
TABLA 4.2. Calidad del producto obtenido según velocidad de molienda.....	125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO II

GRÁFICO 2.1. Resultado de la pregunta N°1 de la encuesta.....	68
GRÁFICO 2.2. Resultado de la pregunta N°2 de la encuesta.....	69
GRÁFICO 2.3. Resultado de la pregunta N°3 de la encuesta.....	70
GRÁFICO 2.4. Resultado de la pregunta N°4 de la encuesta.....	71
GRÁFICO 2.5. Resultado de la pregunta N°5 de la encuesta.....	72
GRÁFICO 2.6. Resultado de la pregunta N°6 de la encuesta.....	73
GRÁFICO 2.7. Resultado de la pregunta N°7 de la encuesta.....	74
GRÁFICO 2.8. Resultado de la pregunta N°8 de la encuesta.....	75

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1. Área y volumen de cuerpos geométricos.
- ANEXO 2. Factores de conversión.
- ANEXO 3. Momentos de inercia.
- ANEXO 4. Momento de inercia en relación al área del cuerpo.
- ANEXO 5. Vigas de sección transversal uniforme.
- ANEXO 6. Momentos axiales de inercia de áreas, módulos de sección y esfuerzos máximos por flexión.
- ANEXO 7. Características de elementos en torsión.
- ANEXO 8. Guía de encuesta.
- ANEXO 9. Guía de entrevista.
- ANEXO 10. Datos para arranque directo 220V trifásico.
- ANEXO 11. Planos de la máquina.
 - ANEXO 11.1. Molino (medidas generales).
 - ANEXO 11.2. Molino (Despiece).
 - ANEXO 11.3. Sistemas principales.
 - ANEXO 11.4. Cámara de trituración.
 - ANEXO 11.5. Cámara de trituración inferior.
 - ANEXO 11.6. Cámara de trituración superior.
 - ANEXO 11.7. Soporte de chumacera.
 - ANEXO 11.8. Soporte de tolva.
 - ANEXO 11.9. Tamiz.
 - ANEXO 11.10. Tolva.
 - ANEXO 11.11. Tolva de salida.

ANEXO 11.12. Sistemas de trituración.

ANEXO 11.13. Eje principal.

ANEXO 11.14. Disco porta martillos.

ANEXO 11.15. Espaciadores.

ANEXO 11.16. Martillo.

ANEXO 11.17. Pasador martillos.

ANEXO 11.18. Sistema de soporte.

ANEXO 11.19. Base estructural.

ANEXO 11.20. Soporte de motor.

ANEXO 11.21. Protector de bandas.

ANEXO 11.22. Sujetadores de protector de banda.

ANEXO 12. Diagrama de conexión eléctrica.

ANEXO 13. Propiedades mecánicas.

ANEXO 14. Descripción de símbolos empleados en ecuaciones.

ANEXO 15. Prueba de velocidad angular para molienda óptima.

ANEXO 16. Fotografías.

ANEXO 17. Manual del usuario y de mantenimiento de la máquina.

RESUMEN

En el mundo actual es importante que las industrias busquen formas de mejorar sus niveles de producción, teniendo como principal objetivo llegar a ser competitivos y mantener esta competitividad con industrias similares; la mejor opción es tecnificando sus procesos industriales; esto conlleva a realizar un profundo análisis de la situación actual en la que la empresa se encuentra, luego buscar soluciones viables que permitan solucionar los problemas que limitan su desarrollo productivo.

El número de empresas dedicadas a la producción de alimentos para consumo humano y animal han aumentado considerablemente, generando así una notable desventaja competitiva entre grandes, medianas y pequeñas industrias. Esto obliga a las empresas a ir mejorando la calidad de sus productos.

Las empresas dedicadas a la molienda de granos y cereales no están a salvo de esta realidad y se ven en la obligación de brindar un producto de calidad que a través de la satisfacción del cliente logre ubicarlas en un nivel competitivo y así garantice sus ingresos y ganancias económicas.

La presente investigación marca la situación de la molinera comunitaria EDREVAL, ubicada en el barrio Brazales. En dicha investigación se menciona la importancia de emplear la maquinaria apropiada para diferentes tipos de molienda que requieren los clientes de dicha empresa molinera.

EDREVAL únicamente posee molinos que permiten la obtención de harinas, pero carece de un molino que permita triturar y partir granos, especialmente maíz duro que es generalmente empleado para la alimentación de aves de corral y de ganado.

Se presenta el proceso de diseño y construcción de un molino de martillos que pretende mejorar la calidad del producto y el nivel productivo de la empresa, mediante su implementación y su eficiencia de consumo eléctrico con relación al tiempo de molienda.

ABSTRACT

In the current world is important that industries look for forms of improving their production levels, having as main objective to become competitive and maintain this competitiveness with similar industries; the best option is becoming technical their industrial processes; this carry out to do a deep analysis about the current situation of the company, then look for a viable solutions that allow to solve the problems that limit its productive development.

The number of companies dedicated to the food production for human and animal consumption has increased considerably, generating a remarkable competitive disadvantage among big, medium and small industries. This pushes to the companies to upgrade the quality of their products.

Companies engaged in mill grains and cereals don't keep out of this reality and they are obligated to offer a quality product that is able to locate them in a competitive level through the client's satisfaction and in this way to guarantee their incomes and economic earnings.

The research shows marks the situation of the communal milling EDREVAL, it is located in Brazales neighborhood. In this investigation is mentioned the importance of using the appropriate machinery for different milling types that the clients of this company require.

EDREVAL only possesses mills to get flours, but it has lack of a mill to crush and to leave beans, especially hard corn that is generally used for feeding of corral birds and pigs.

The process of design and construction a mill of hammers is presented to upgrade the quality of the product and the company productive level, through its implementation and its power consumption efficiency related at milling time.

INTRODUCCIÓN

La tecnificación de los procesos industriales se ha convertido en una prioridad para las empresas y fábricas a nivel mundial, con ello se pretende dinamizar los procesos de producción y a la vez optimizar recursos e incluso materia prima mediante una selección de herramientas o maquinaria apropiada para la ejecución de una tarea específica.

La incorporación de procesos tecnificados tiene un impacto positivo en la competitividad industrial y económica de una empresa, así como también en el aumento de su producción, buscando siempre lograr captar las mayores ganancias posibles para la empresa.

La carente o deficiente tecnificación en las empresas ya sean estas pequeñas, medianas o grandes, está provocando problemas en su desarrollo empresarial y marcadas diferencias competitivas que conllevan a la quiebra de algunas de estas empresas, generando así grandes impactos sociales negativos en el desarrollo de los pueblos.

Nuestro país no se excluye de esta realidad, las principales causas de la deficiente tecnificación en los procesos industriales en Ecuador se profundizan por el bajo nivel de ingreso de una pequeña empresa, la desigual distribución de la riqueza, y el nivel de educación de la población.

De lo expuesto consecuentemente se desprende, que el barrio Brazales perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi no se halla relegada de este escenario, la deficiente tecnificación de procesos abarca a casi la totalidad de las empresas del sector; debido a que existen industrias netamente del tipo artesanal.

Consecuentemente el presente trabajo de investigación centra su atención en la molinera comunitaria EDREVAL perteneciente al barrio Brazales, al ser

considerada una de las molineras más importantes del sector pero que carece de la maquinaria adecuada para lograr obtener un buen nivel de productividad. Por dicho motivo se ha llegado a plantear la siguiente hipótesis:

“El diseño de un molino de martillos para la trituración de granos secos como alternativa para optimizar el crecimiento de la producción, que genere ahorro de tiempo y de energía”.

La propuesta de la investigación pretende demostrar que con la máquina se podrá mejorar la calidad del producto así como también el nivel de producción, a la vez que se reducirán costos en la planilla de consumo eléctrico.

La utilización de máquinas y herramientas adecuadas para realizar una tarea o una función específica dentro de los procesos de producción de una empresa deben ser aspectos que permitan aprovechar de mejor manera los recursos y traigan consigo aspectos principalmente que beneficien al desarrollo empresarial.

El estudio resulta ser de gran importancia, debido a que la falta de maquinaria y equipamiento en los sectores productivos, y específicamente en la molinera EDREVAL ha causado la inconformidad de los clientes en lo que se refiere a calidad del producto. El objetivo de dicha molinera es elaborar un producto del agrado de los clientes; se pretende cumplir esta meta mediante la implementación de un molino de martillos para así lograr obtener un producto uniforme que sea del agrado del cliente, permitiendo a la molinera la captación de mayor número de clientes y logrando así contribuir al desarrollo productivo principalmente del barrio Brazales.

Por tanto, la investigación dotará de utilidad metodológica en el levantamiento de la línea base de la molinera EDREVAL, aportando de forma disipada la identificación de su necesidad de equipamiento. El estudio sirve para analizar la factibilidad de la implementación del molino de martillos.

La determinación de la inexistencia de maquinaria en la molinera EDREVAL hizo del trabajo un elemento de novedad científica al no contar con datos que determinen el grado de afectación en sus procesos.

Se desarrolló un estudio de diagnóstico que permitió determinar las causas de las falencias que inciden en la calidad del producto, y se determinó que estas afectan directamente al desarrollo de la molinera EDREVAL, e incluso al desarrollo del barrio Brazales.

Por lo antes mencionado, el proyecto es factible, por cuanto se dispone de la aceptación de la propietaria de la molinera, así como también de los recursos humanos, económicos y materiales para su elaboración.

Para el presente trabajo se plantean los siguientes tipos de investigación. El tipo descriptivo para determinar las causas y efectos sobre la falta de equipamiento que afecta a la molinera comunitaria EDREVAL, por ende los problemas que tiene para lograr cumplir con los requerimientos de los usuarios, ya sean estos en tiempo, calidad de producto, etc.

La investigación a ejecutarse es del tipo cuasi experimental, por medio de este tipo de investigación se podrá aproximar a los resultados de una investigación experimental, interpretando y analizando resultados.

Finalmente se recurrirá a la investigación ex post facto, debido a que existe una gran cantidad de información técnica y de diseño, siendo esta de gran utilidad para la construcción del molino de martillos.

Se requiere además de la utilización de métodos y técnicas, los mismos que servirán para su análisis, diseño y montaje en base a información bibliográfica, internet, así como también de pruebas experimentales que tendrán como finalidad llegar a determinar el comportamiento de la máquina y garantizar la confiabilidad del operario al momento de manipularla; por consiguiente se emplearán problemas y posteriormente se llegará a conclusiones.

Consecuentemente se utilizará el método científico que permitirá explicar fenómenos, establecer relaciones entre los hechos y enunciar leyes que expliquen los fenómenos físicos que están presentes durante el funcionamiento del molino, permitiendo así obtener conocimientos útiles para el diseño y construcción de la máquina. Posteriormente se basará en las conclusiones lógicas deductivas de la información adquirida, así como del conocimiento empírico y técnico para llegar a la constatación de la hipótesis establecida.

Por medio del método analítico se conocerá la naturaleza de los fenómenos que ocurren para que el molino de martillos funcione de manera eficaz; además permitirá profundizar el conocimiento acerca de la máquina, con lo cual se puede comprender su comportamiento y en caso de ser necesario se podrán establecer nuevas teorías.

El método sintético consiste en un proceso que tiende a reconstruir un todo a partir de los elementos distinguidos por el análisis de algún objeto, en consecuencia se elaborará una síntesis de lo referente a un molino de martillos. Así se llegará a la comprensión de las particularidades y fenómenos que se desarrollarán en la máquina y en sus componentes.

Adicionalmente se utilizará el método experimental, ya que por medio de este se llegará a construir la máquina y analizar de qué modo o por qué causa se producen ciertas situaciones o acontecimientos particulares en el funcionamiento del molino de martillos.

Como instrumento básico para el desarrollo del proyecto se emplearán encuestas. La aplicación de la encuesta estará dirigida a los usuarios de la molinera, obteniendo así resultados que serán expuestos en cuadros para interpretación, graficación y análisis.

En la presente investigación se establecen tres capítulos, al primer capítulo le corresponde la fundamentación teórica donde se habla de temas relacionados

con el maíz debido a que nuestro proyecto se enfoca a la trituración de granos secos, principalmente al maíz; se desarrollan temas como tipos de maíces, sus propiedades de dureza y humedad, así como también se realiza un breve análisis socio económico de la producción de este importante alimento. También se desarrollan temas relacionados con la molienda como proceso de producción, dentro de la molienda se realiza un breve análisis de los diferentes tipos de molinos para posteriormente enfocarnos en el molino de martillos.

En el segundo capítulo se trata el análisis situacional de EDREVAL, así como también el análisis de los resultados obtenidos con la encuesta, adicionalmente se plantearan conclusiones y recomendaciones en base a los datos arrojados durante el desarrollo del presente capítulo.

Finalmente en el tercer capítulo constan parámetros de diseño, cálculo y análisis de diseño, así como también la construcción de la máquina.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. El maíz.

Según un artículo virtual publicado por Maicerías Españolas S.A. “DACSA” (2011) sobre el maíz se detalla que “El Maíz constituye un alimento completo, que aporta elementos nutritivos y materiales energéticos al organismo”.

Se utiliza para consumo humano así como también para alimentar al ganado (cerdos, ganado vacuno y aves de corral). Además tiene aplicaciones industriales como la producción de alcohol, la obtención de aceite y harina.

Este cereal se caracteriza por un elevado potencial de rendimiento y alta productividad, ya que datos que son arrojados por conocedores del tema aseguran que una semilla puede producir de 600 a 1000 granos.

De lo antes expuesto, se puede deducir que el maíz es una fuente de alimentación importante en la alimentación de los seres humanos y de los animales; además de que su nivel de productividad es alto, y es por ello que su cultivo resulta atractivo para los agricultores del mundo entero.

1.1.1. Clases de maíz.

Existen diferentes clases de maíz; en la TABLA 1.1. se realiza un breve análisis de los diferentes tipos de maíz, claramente se aprecia que todas muestran diferentes propiedades, características y usos.



TABLA 1.1. CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE MAÍZ.

TIPO DE MAÍZ	ZONA DE CULTIVO	USO COMÚN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Maíz Baby	Tropical	Hortaliza de consumo humano	Puede ser cosechado durante todo el año	Humedad del 70 %.
Maíz Dulce	Andina	Consumo humano	Sus granos poseen gran cantidad de azúcares	Susceptible a enfermedades.
Maíz Ceroso	China y escasas zonas asiáticas	Proceso de investigación para uso industrial		No es cultivable en el Ecuador.
Maíz Harinoso	Zona andina de América central y del sur	Consumo humano	Posee granos de distintas texturas y colores	Susceptible a pudrición y a presencia de gusanos.
Canguil	Zona cálida	Consumo humano	No es susceptible a pudrición	Extremadamente duro y de tamaño reducido.
Maíz Duro	Zonas frías y húmedas	Consumo humano y animal	Humedad relativamente baja.	Puede volverse harinoso en caso de pasar mucho tiempo almacenado.

Fuente: Varios Autores.

Elaboración: Grupo investigador.

Después de analizar los tipos de maíz más comunes, sin duda alguna se puede asegurar que el maíz duro y sus variedades como el morocho y morochillo son las mejores alternativas de molienda en seco, obviamente por su bajo nivel de humedad y porque es uno de los más cultivados en el Ecuador.

1.1.2. El maíz en el Ecuador.

Varios historiadores aseguran que el maíz habría cruzado Panamá hace aproximadamente 5000 años a.C., entrando a Colombia, para luego alcanzar la costa ecuatoriana.

En Ecuador el maíz se cultiva en todo el país excluyendo los páramos y sub páramos (sobre los 3000m de altitud), con siembras concentradas en las

provincias de Loja, Azuay y Pichincha; y en menor cantidad en las provincias de Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Tungurahua e Imbabura.

Este cultivo se encuentra también presente en las provincias costaneras de Manabí, Esmeraldas y Guayas. En la Región Amazónica destaca la provincia de Pastaza.

1.1.3. Producción nacional de maíz.

Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en el Ecuador, anualmente se produce un promedio de 717.940 TM (toneladas métricas) de maíz duro seco y 43.284 TM de maíz duro choclo o húmedo. En la TABLA 1.2 se puede observar la superficie de los cultivos en regiones del país.

De la producción nacional de maíz, la avicultura consume el 57%, alimentos balanceados para otros animales 6%, exportación a Colombia 25%, industrias de consumo humano 4%, el resto sirve para el autoconsumo y semilla. En la FIGURA 1.1 se muestran dichas aplicaciones.

Ecuador tiene la capacidad de exportar subproductos del maíz, como por ejemplo el grits y la sémola, que son utilizados para elaborar snacks polenta y arepas.

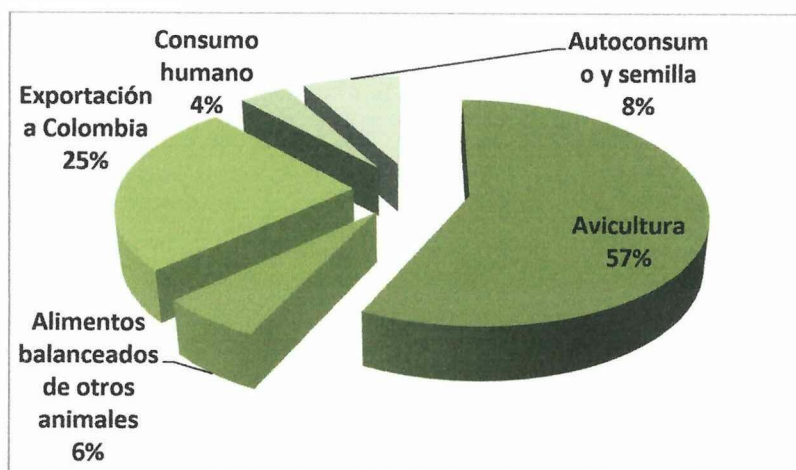
TABLA 1.2. SUPERFICIE DE LOS CULTIVOS EN LAS REGIONES DEL ECUADOR.

Regiones	Maíz Duro choclo [ha]	Maíz Duro seco [ha]	Maíz Suave choclo [ha]	Maíz Suave seco [ha]
Total Nacional	18397	237170	40910	146848
Región Sierra	1093	43853	40825	145925
Región Costa	17176	184359	60	910
Resto del País	128	8958	25	13

Fuente: Servicio de información y censo agropecuario del Ecuador (SICA) www.sica.gov.ec, datos del año 2006.

Elaboración: Grupo investigador.

FIGURA 1.1. APLICACIÓN DE LOS CULTIVOS DE MAÍZ EN ECUADOR.



Fuente: Servicio de información y censo agropecuario del Ecuador (SICA) www.sica.gov.ec, datos del año 2006.

Elaboración: Grupo investigador.

1.1.4. Propiedades del maíz.

El maíz así como cualquier cuerpo posee propiedades físicas, para el presente trabajo se considerará su dureza así como también su grado de humedad.

1.1.4.1. Dureza del maíz.

Se puede definir como la fuerza necesaria que debe emplearse para su rompimiento.

Es un factor importante que determina el tipo de molienda a utilizarse y la calidad del producto molido; por ello los molineros se interesan en ésta porque afecta el comportamiento del proceso de molienda y cernido, así como también al consumo de energía como consecuencia del tiempo de operación de la maquinaria.

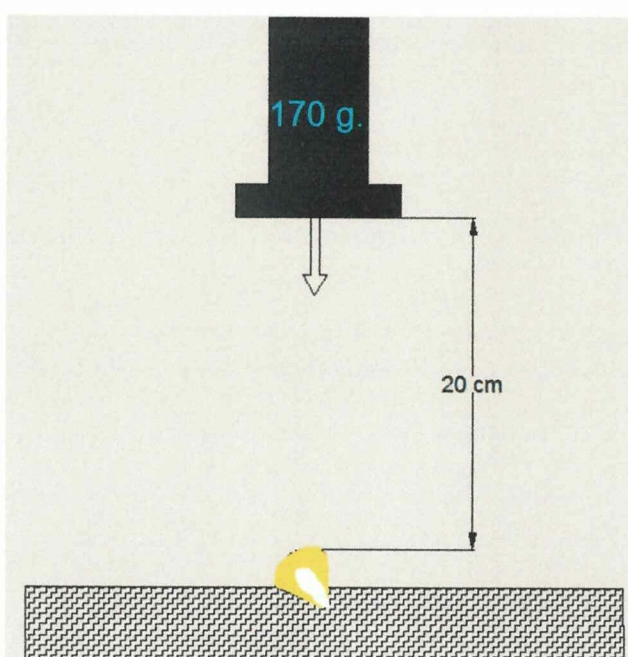
1.1.4.2. Métodos para evaluar dureza en el grano de maíz.

Existen métodos que buscan determinar la dureza del maíz, como una de las propiedades principales a analizarse para su procesamiento.

Un método simple consiste en dejar caer un objeto metálico de superficie regular y de peso conocido desde una altura específica, contra un grano de un cereal determinado, en este caso sería un grano de maíz duro seco.

Para el caso del maíz duro seco el peso del cuerpo de ruptura es de 170 gramos, y se lo deja caer libremente desde una altura de 20 cm., lo que es suficiente para triturar el grano de maíz, la FIGURA 1.2 muestra el esquema de este ensayo.

FIGURA 1.2. ENSAYO DE RUPTURA DE UN GRANO DE MAÍZ.



Fuente: Grupo Investigador

El grano de maíz absorbe la energía potencial del objeto metálico en la caída, es decir que esa es la energía necesaria para triturar el grano.

1.1.4.3. Humedad.

El concepto general de este factor se podría enunciar como la cantidad de agua que contiene un cuerpo, en el caso de la investigación se relacionará a la humedad que contiene uno o varios granos de maíz.

Según Hart en su libro Análisis de Alimentos, 1991; “Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. Las cifras de contenido en agua varían entre un 60% y un 95% en los alimentos naturales. En los tejidos vegetales y animales, puede decirse que existe en dos formas generales: “agua libre” Y “agua ligada”.

En el presente trabajo investigativo es predominante conocer el nivel de humedad. El grado de humedad del grano de maíz debe ser lo mas bajo posible, para que la máquina logre fácilmente romperlo y poder obtener un producto de calidad óptima. En la TABLA 1.3. se pueden observar los valores recomendados de humedad para almacenamiento así como también para el proceso de molienda recomendados por molineros.

1.1.4.4. Nivel de humedad del maíz.

La medición de los niveles de humedad del grano de maíz es un factor importante, ya que permite prevenir el desarrollo de hongos o determinar si el grano se encuentra apto para la molienda en seco, siendo así un aspecto importante que deben tomar en cuenta los productores o comercializadores. La humedad elevada disminuye la densidad y dificulta el rompimiento del grano, así como también incrementa el tiempo de molienda.

El nivel de humedad tiene efecto sobre el rompimiento del grano de maíz; a mayor humedad, la susceptibilidad al rompimiento es menor.

Este nivel de humedad se lo puede medir fácilmente tomando una pequeña muestra de maíz que se desea moler e introducirlo a un instrumento llamado humidímetro, el cual arrojará un resultado que debe ser comparado con los datos de humedad para molienda detallados en la TABLA 1.3. y así determinar si el grano se encuentra apto para la molienda.

TABLA 1.3. HUMEDAD DE ALMACENAMIENTO Y MOLIENDA DE DIFERENTES TIPOS DE MAÍZ.

TIPO DE MAÍZ	Humedad al almacenar (%)	Humedad para la molienda (%)
Maíz baby	13 +/- 3%	9,8 +/- 1%
Maíz dulce	13 +/- 3%	9,8 +/- 1%
Maíz ceroso	14 +/- 3%	12,2 +/- 1%
Maíz harinoso	13 +/- 3%	9,8 +/- 1%
Canguil	14 +/- 3%	10,4 +/- 1%
Maíz duro	17 +/- 3%	13 +/- 1%

Fuente: Ing. Edwin Palma, Gerente de Apiladora "Palmares".

1.2. LA MOLIENDA.

Es una actividad antigua, cuya principal función es hacer que los cereales o granos resulten agradables como alimentos.

Mediante la molienda se reduce el tamaño del maíz. Este proceso se lo realiza utilizando equipos giratorios o molinos. Existe una gran variedad de molinos que deben ser seleccionados según el tipo de producto que se desee obtener.

1.2.1. El molino.

El término "molino", debido a su gran utilidad y uso, ya sea en el campo industrial o en el campo doméstico es ampliamente conocido; la mayoría de fuentes bibliográficas coinciden en una misma idea sobre un molino en una concepción general.

Según la Enciclopedia Ilustrada Cumbre, segunda edición del año 2000, "el molino es una máquina que sirve para estrujar, quebrantar, triturar o moler alguna sustancia". (pág. 322)

Tomando la idea general de esta definición, se podría decir que para triturar cualquier tipo de sustancia mediante un molino es necesario emplear una fuerza

externa para lograr mover las piezas móviles de esta máquina y que el sistema de trituración trabaje.

Las fuerzas que pueden actuar sobre la máquina podrían ser la fuerza manual, es decir la fuerza que emplea el ser humano, o fuerzas externas como por ejemplo el viento, corrientes de agua, motores eléctricos o de combustión, etc. Sin una fuerza que impulse este sistema es imposible obtener el producto molido.

Hoy en día los cereales se muelen mediante energía eléctrica o energía química (motores de combustión); sus mecanismos consisten en una serie de rodillos apretados mediante muelles que van desmenuzando el grano y depositando el resultado en un sistema de cernido, que generalmente funciona por centrifugación. En la FIGURA 1.3. consta un molino que funciona mediante un motor eléctrico,

FIGURA 1.3. MOLINO HARINERO MODERNO.



Fuente: Catálogo de molinos industriales COMESA (2012).

1.2.2. Tipos de molinos.

Existen gran variedad de molinos que pueden ser seleccionados de acuerdo a las características de molienda que estos ofrecen. Todos tienen como objetivo común y primordial: reducir el tamaño de las partículas.

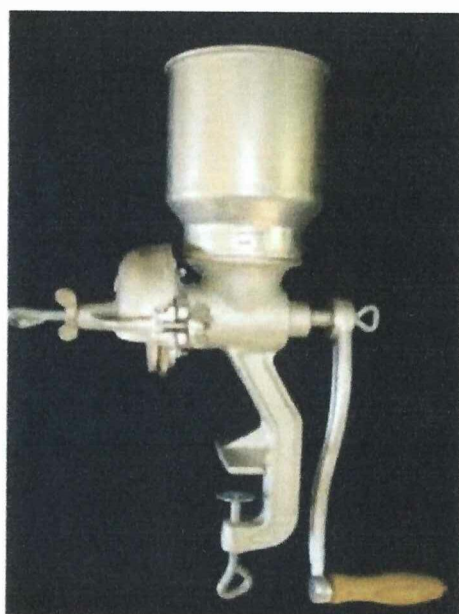
1.2.2.1. Molino de piedra o discos.

Este molino es uno de los más comunes, consta de dos discos, un disco fijo y un disco giratorio. En la FIGURA 1.4. se aprecia un molino de piedra manual; uno de los mas conocidos en el mercado.

Su proceso de molienda consiste en triturar la materia prima entre las dos piedras, al momento que rota el disco giratorio contra el disco fijo se produce la molienda por medio del frotamiento entre estos.

La textura del producto molido puede ser regulada mediante una manija que ajusta la presión entre los dos discos. Mientras exista más presión entre ambos discos la molienda será mas fina.

FIGURA 1.4. MOLINO DE DISCOS.



Fuente: Grupo investigador

1.2.2.2. Molino de bolas o cilindros.

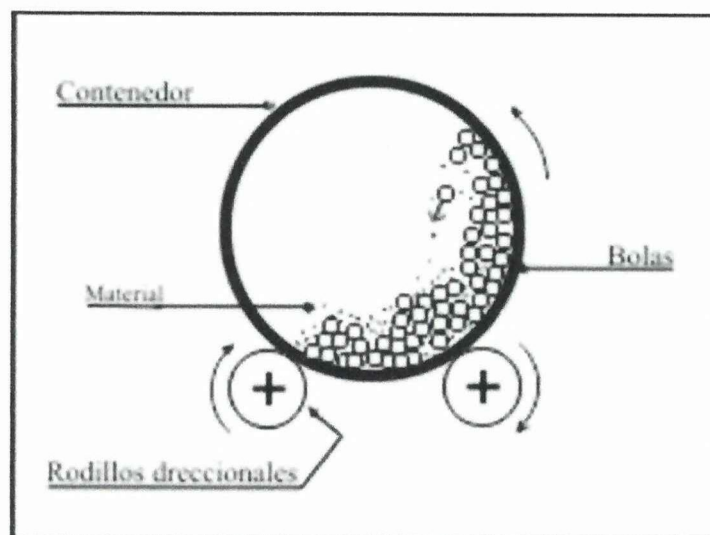
Este molino consiste en un cilindro de acero lleno hasta la mitad con bolas o cilindros de acero, para que pueda triturar es necesario aplicarle un lento movimiento rotacional que permita desplazar los mecanismos internos de

trituration de dicho molino. En la FIGURA 1.5. es visible el esquema interno de este tipo de molino.

a.) Características.

- Función estable y buena calidad a prueba de fricción.
- Productos con granularidad uniforme.
- Poca inversión.
- Fácil operación y uso con seguridad.

FIGURA 1.5. ESQUEMA DE UN MOLINO DE BOLAS.



Fuente: www.trituradoras-machacadora.mx

1.2.2.3. Molino de Rodillo.

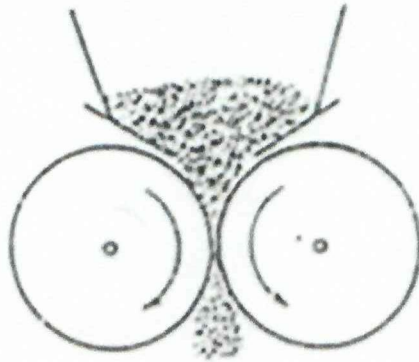
Este molino se encuentra formado por dos o más rodillos que generalmente son de acero y se encuentran situados paralelamente entre sí.

Giran concéntricamente impulsando al cereal o grano a pasar por el espacio que se encuentra entre ellos. Ver FIGURA 1.6.

La principal fuerza ejercida es la de compresión.



FIGURA 1.6. ESQUEMA DE UN MOLINO DE RODILLOS.



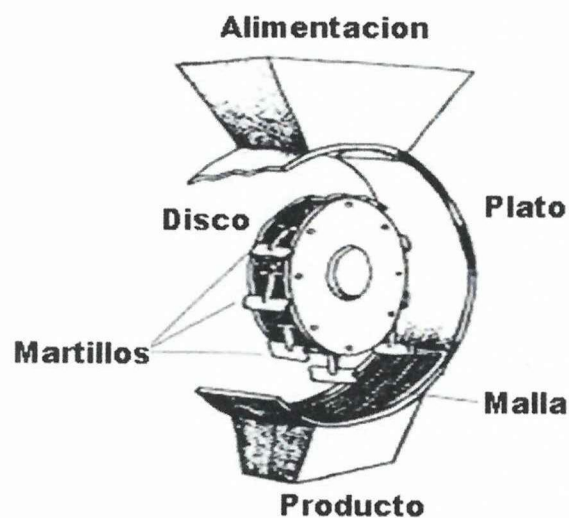
Fuente: www.docencia.udea.edu.co

1.2.2.4. Molino de Martillos.

Es una cámara cilíndrica que en su interior tiene un rotor con una serie de vástagos pegados a su eje (martillos) que giran a gran velocidad. Ver su esquema en la FIGURA 1.7.

La fuerza de impacto es la empleada en este molino, debido a que el grano es impulsado y golpeado contra las paredes de la cámara de trituración. Este es un molino que debido a las características y ventajas que brinda, ha logrado implementarse rápidamente en las zonas rurales.

FIGURA 1.7. ESQUEMA DE UN MOLINO DE MARTILLOS.



Fuente: <http://www.lidora.info/lebr7/molinosmartillo.htm>

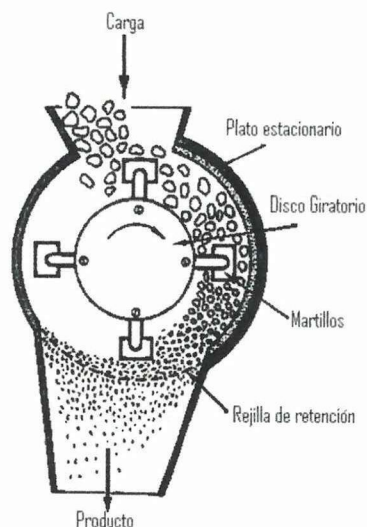
El tamaño de las partículas depende en cierto modo de la velocidad del rotor, tamaño del tamiz y velocidad de introducción del material.

a.) Principio de funcionamiento.

Se basa en el mecanismo de trituración del material entre dos cuerpos. Entre más rápida sea la fuerza de aplicación más rápido ocurre la fractura por el aumento de la energía cinética, concentrando la fuerza de fragmentación en un solo punto produciendo partículas que se fracturan rápidamente.

Consiste de un rotor horizontal o vertical unido a martillos fijos o pivotantes encajados en una carcasa (ver FIGURA 1.8). En la parte inferior se encuentra dotado de una rejilla de retención fijo o intercambiable.

FIGURA 1.8. MODO DE OPERACIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS.



Fuente: <http://www.polysius.com/Molino-de-martillos.199.0.html?&L=2>

b.) Características.

- Apropiado para la molienda en seco.
- Fácil de operar.
- Con un correcto mantenimiento se extiende su tiempo de vida.
- Se obtiene un producto uniforme.

1.2.3. Molienda seca de maíz.

La molienda seca de maíz tiene un mercado bien definido; principalmente sirve para la elaboración de harinas para consumo humano y animal.

Otro uso es también la trituración de granos y cereales que sirven principalmente como alimento de animales de crianza como pollos y cerdos. En la TABLA 1.4 se puede observar características de cada tipo de molino analizado.

TABLA 1.4. DIFERENCIAS ENTRE TIPOS DE MOLINOS.

TIPO DE MOLINO	TIPO DE MOLIENDA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Molino de discos	Seca y húmeda	Calidad excelente de molienda	Desgaste rápido de discos.
Molino de bolas	Seca	Poco desgaste de piezas	El producto final no es de tamaño uniforme.
Molino de martillos	Seca	Producto uniforme y desgaste reducido de piezas	Utilizado solamente para molienda seca.

Fuente: Sra. Martha Castellano, administradora de Molinera EDREVAL.

Elaboración: Grupo investigador.

El molino de martillos debido a sus características observadas en la TABLA 1.4, es sin duda la mejor opción para trabajar en trituración de granos secos.

1.3. Fundamentos de diseño.

1.3.1. Definiciones de diseño.

El término diseño es utilizado en una gran variedad de campos en la vida del ser humano. Diseñar enmarcado en una concepción general es crear un plan cuyo

objetivo primordial es resolver cierto problema o simplemente satisfacer una necesidad específica.

En el campo de la ingeniería cuando el plan de diseño resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

1.3.2. Criterios generales de diseño.

Para lograr construir una máquina totalmente funcional y que logre satisfacer las necesidades planteadas para las que fue creada, es necesario considerar ciertos criterios que pueden influir en el diseño del elemento, o quizá en todo el sistema.

Entre los factores de diseño más importantes se podrían considerar:

- Funcionalidad
- Resistencia / esfuerzo
- Distorsión / deflexión / rigidez
- Desgaste
- Corrosión
- Seguridad
- Confiabilidad
- Manufacturabilidad
- Utilidad
- Costo
- Fricción
- Vida útil
- Ruido
- Estilo
- Forma
- Tamaño
- Control
- Superficie
- Lubricación
- Comercialización
- Mantenimiento
- Volumen
- Responsabilidad legal
- Capacidad de reciclado / recuperación de recursos.

Adicionalmente se debe también tomar en cuenta la responsabilidad y el impacto ambiental, siendo este un aspecto que debido a los niveles de contaminación a nivel mundial ha llegado a considerarse como un factor de gran importancia en el diseño de máquinas.

1.4. Diseño mecánico.

1.4.1. Definición.

Shigley en su libro titulado Diseño en Ingeniería Mecánica plantea el siguiente concepto: “el diseño mecánico es una tarea compleja que requiere muchas habilidades. Es necesario sub-dividir grandes relaciones en una serie de tareas simples (...)” (p.4).

Se puede considerar entonces al diseño mecánico como la utilización de habilidades y destrezas, para realizar un plan que permita resolver una necesidad o problema en el campo de la mecánica.

1.4.2. Máquina.

Una máquina es un mecanismo que se utiliza principalmente para transmitir fuerzas en magnitudes y direcciones que pueden cambiar; pero que nunca aumentan el trabajo producido.

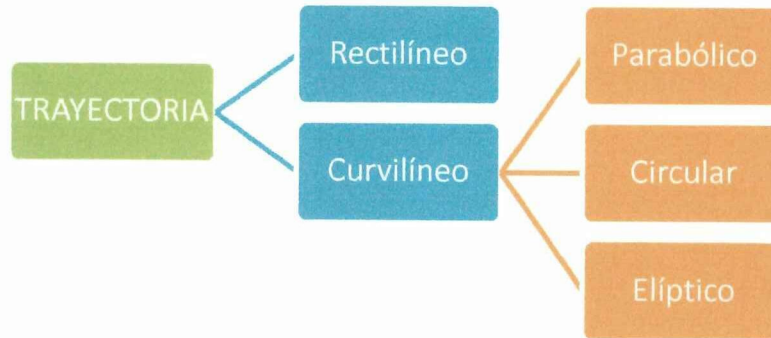
1.4.3. Cinemática.

La cinemática se encarga de analizar el movimiento y representarlo en términos de relaciones fundamentales. En este estudio no se toman en cuenta las causas que lo generan, sino el movimiento en sí mismo.

1.4.3.1. Clasificación de los movimientos.

Para clasificar los movimientos se toma en consideración los siguientes parámetros: la forma de la trayectoria y las características del vector velocidad en función del tiempo. En la FIGURA 1.9 y 1.10 se observa una clasificación de los movimientos según la trayectoria y según el vector velocidad respectivamente.

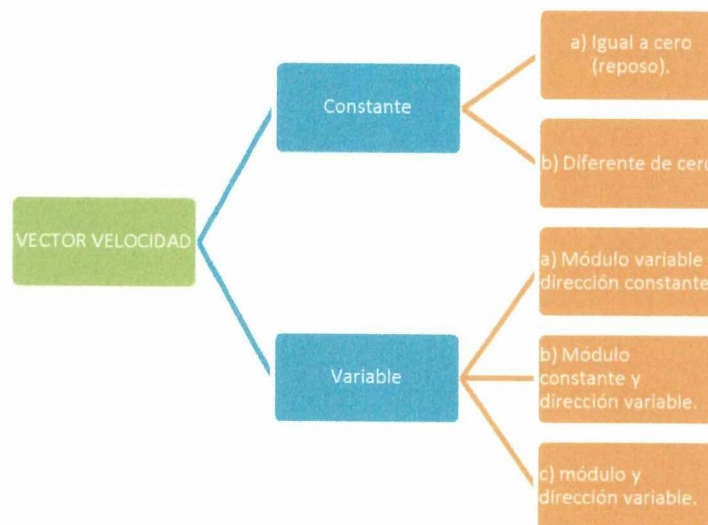
FIGURA 1.9. CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO SEGÚN LA TRAYECTORIA.



Fuente: VALLEJO, Patricio y ZAMBRANO, Jorge. Física Vectorial, Tomo I

Elaboración: Grupo investigador.

FIGURA 1.10. CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL VECTOR VELOCIDAD.



Fuente: VALLEJO, Patricio y ZAMBRANO, Jorge. Física Vectorial, Tomo I

Elaboración: Grupo investigador.

1.4.3.2. *Movimiento circular.*

Es aquel movimiento cuya trayectoria es una circunferencia. En este movimiento el vector velocidad varía constantemente de dirección, y su módulo puede también variar o no.

Esto permite clasificar el movimiento circular en:

- Si el módulo de la velocidad no varía, se denomina movimiento circular uniforme (MCU).
- Si el módulo de la velocidad varía de manera constante en relación al tiempo, se llama movimiento circular uniformemente variado (MCUV).

En estos movimientos las ecuaciones se expresan frecuentemente con magnitudes angulares como la velocidad angular, la aceleración angular y el ángulo barrido.

a.) *Movimiento circular uniforme (MCU).*

Es el movimiento que realiza un móvil que tiene por trayectoria una circunferencia.

Por tanto, la aceleración tangencial es nula, ya que el módulo de la velocidad permanece constante en el tiempo, y la aceleración normal es constante, puesto que el vector velocidad varía constantemente de dirección y el radio de curvatura de la trayectoria es constante.

El ángulo total barrido por un móvil que describe un movimiento circular uniforme con una velocidad angular ω es:

$$\theta = \theta_0 + \omega.t \quad (\text{Ec.1.1})$$

En donde:

θ = ángulo final del móvil.

θ_0 = ángulo inicial del móvil.

ω = velocidad angular.

t = tiempo.

b.) Movimiento circular uniformemente variado (MCUV).

Su trayectoria es una circunferencia y tanto el módulo como la dirección de la velocidad varían constantemente con respecto al tiempo. En consecuencia, la aceleración tangencial es constante, ya que el módulo de la velocidad varía uniformemente con el tiempo, y la aceleración normal es constante por los mismos motivos que en el movimiento circular uniforme.

La ecuación de la velocidad angular de un móvil que se desplaza con un movimiento circular uniformemente variado con una aceleración angular α es:

$$\omega = \omega_0 + \alpha.t \quad (\text{Ec.1.2})$$

En donde:

ω = velocidad angular final del móvil.

ω_0 = velocidad angular inicial del móvil.

α = aceleración angular.

t = tiempo.

El ángulo total barrido por un móvil que describe un movimiento circular uniformemente variado es:

$$\theta = \theta_0 + \omega_0.t + \frac{1}{2}.\alpha.t^2 \quad (\text{Ec.1.3})$$

En donde:

θ = ángulo total final del móvil.

θ_0 = ángulo inicial del móvil.

ω_0 = velocidad angular inicial del móvil.

α = aceleración angular.

t = tiempo.

La velocidad tangencial puede calcularse a partir de la velocidad angular. Si V es el módulo la velocidad tangencial a lo largo de la trayectoria circular de radio R , se tiene que:

$$V = \omega \times R \quad (\text{Ec. 1.4})$$

En donde:

V = velocidad tangencial.

ω = velocidad angular.

R = radio de la trayectoria circular.

Cuando el móvil experimenta un cambio de la velocidad angular por unidad de tiempo se presenta una aceleración angular.

Cuando se encuentra expresada en relación a su desplazamiento angular (θ) obtenemos que:

$$\omega_F^2 = \omega_0^2 \pm 2\alpha\theta \quad (\text{Ec. 1.5})$$

En donde:

ω_F = Velocidad angular final.

ω_0 = Velocidad angular inicial.

α = aceleración angular.

θ = desplazamiento angular.

Cuando la velocidad angular aumenta se considera que se trata de un MCUV (+) acelerado; y si la velocidad angular disminuye es considerado como un MCUV (-) desacelerado.

1.4.4. Leyes de Newton.

Consisten en 3 principios mediante los que se busca explicar la mayor parte de problemas planteados por la mecánica, es decir aquellos que tienen que ver con el movimiento de partículas o cuerpos.

1.4.4.1. Primera ley de Newton del movimiento.

La primera ley de Newton afirma que si la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre un objeto es cero, el objeto permanecerá en reposo o seguirá moviéndose a velocidad constante. El hecho de que la fuerza ejercida sobre un objeto sea cero no significa necesariamente que su velocidad sea cero. Si no está sometido a ninguna fuerza (incluido el rozamiento), un objeto en movimiento seguirá desplazándose a velocidad constante.

Ejemplificando en relación al estudio; si sobre el molino no se aplica ninguna fuerza que provoque el movimiento específicamente sobre el conjunto de elementos que constituyen el sistema de molienda, tales como: el eje del molino, disco porta martillos. ejes de los martillos y principalmente los martillos, todo el sistema permanecerá en reposo y el proceso de molienda no ocurrirá.

La fuente de movimiento de la máquina es un motor eléctrico que transmite su movimiento al eje del molino mediante un sistema de poleas y bandas.

1.4.4.2. Segunda ley de Newton del movimiento.

La segunda ley de Newton relaciona la fuerza total y la aceleración. Una fuerza neta ejercida sobre un objeto lo acelerará, es decir, cambiará su velocidad. La aceleración será proporcional a la magnitud de la fuerza total y tendrá la misma dirección y sentido que ésta. La constante de proporcionalidad es la masa m del objeto.

$$F = m.a \quad (\text{Ec.1.6})$$

En donde:

$F = \text{Fuerza.}$

$m = \text{masa del cuerpo.}$

$a = \text{aceleración del cuerpo.}$



Un objeto con mayor masa requerirá una fuerza mayor para una aceleración dada que uno con menos masa.

1.4.4.3. Tercera ley de Newton del movimiento.

La tercera ley de Newton afirma que cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro, este otro objeto ejerce también una fuerza sobre el primero. La fuerza que ejerce el primer objeto sobre el segundo debe tener la misma magnitud que la fuerza que el segundo objeto ejerce sobre el primero, pero con sentido opuesto.

La tercera ley de Newton también implica la conservación del momento lineal, el producto de la masa por la velocidad. En un sistema aislado, sobre el que no actúan fuerzas externas, el momento debe ser constante.

1.4.5. Dinámica.

Alonso Marcelo y Rojo Onofre enuncian en su libro: Física, Mecánica y Termodinámica como “una ciencia que estudia las relaciones entre el movimiento de los cuerpos y las causas que lo producen.”

En la dinámica a razón de estudiar el movimiento y sus causas es necesario añadir a los conceptos de espacio y tiempo los conceptos de masa y de fuerza.

Cuando una fuerza es aplicada sobre un cuerpo, generalmente puede dar como resultado una deformación del cuerpo o a su vez el movimiento del mismo.

1.4.5.1. Masa.

Es la medida de la cantidad de materia que tiene un cuerpo. La unidad utilizada para medir la masa en el sistema internacional es el kilogramo.

Comúnmente la masa es confundida con el peso, pero no se debe caer en este error de interpretación ya que la masa es una magnitud escalar, y el peso viene a ser una unidad vectorial que representa a una fuerza.

1.4.5.2. Fuerza.

Es la acción o influencia que modifica el estado de reposo o de movimiento de un objeto.

La fuerza que actúa sobre un objeto de masa m es igual a la variación del momento lineal (o cantidad de movimiento) de dicho objeto respecto del tiempo. Si se considera la masa constante, para una fuerza también constante aplicada a un objeto, su masa y la aceleración producida por la fuerza son inversamente proporcionales.

En el Sistema Internacional de unidades, la fuerza se mide en newtons: 1 newton (N) es la fuerza que proporciona a un objeto de 1 kg de masa una aceleración de 1 m/s^2 .

1.4.5.3. Inercia.

Es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de movimiento o reposo, siempre y cuando no se aplique sobre ellos alguna fuerza.

En física se dice que un sistema tiene más inercia cuando resulta más difícil lograr un cambio en el estado físico del mismo.

1.4.5.4. Trabajo.

Es el producto de una fuerza aplicada sobre un cuerpo y del desplazamiento del cuerpo en la dirección de esta fuerza. Al realizar trabajo sobre el cuerpo, se

produce una transferencia de energía al mismo, por lo que puede decirse que el trabajo es simplemente energía en movimiento.

La unidad de trabajo en el Sistema Internacional de Unidades es el julio (J), que se define como el trabajo realizado por una fuerza de 1 newton a lo largo de un metro. El trabajo realizado por unidad de tiempo se conoce como potencia. La potencia corresponde a un julio por segundo, esto equivale a un vatio o watt (W).

1.4.5.5. Potencia.

Es el trabajo o transferencia de energía, realizado por unidad de tiempo. El trabajo es igual a la fuerza aplicada para mover un objeto multiplicada por la distancia a la que el objeto se desplaza en la dirección de la fuerza. La potencia mide la rapidez con que se realiza ese trabajo.

En términos matemáticos, la potencia es igual al trabajo realizado dividido entre el intervalo de tiempo a lo largo del cual se efectúa dicho trabajo.

La potencia siempre se expresa en unidades de energía divididas entre unidades de tiempo.

La unidad de potencia en el Sistema Internacional es el vatio, que equivale a la potencia necesaria para efectuar 1 julio de trabajo por segundo. Una unidad de potencia tradicional es el caballo de vapor (CV), que equivale aproximadamente a 746 vatios.

1.4.5.6. Torque.

También conocido como momento o momento de fuerza; es la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje. Matemáticamente, el par se define como el producto cruzado de la distancia de brazo de palanca y la fuerza, que tiende a producir rotación.

En términos generales, el par es una medida de la fuerza de giro sobre un objeto tal como un perno o un volante de inercia . Por ejemplo, empujar o tirar de la manija de una llave conectado a una tuerca o perno produce un par de torsión (fuerza de giro) que se afloja o se aprieta la tuerca o perno.

$$\tau = F \cdot L \quad (\text{Ec.1.7})$$

En donde:

τ = Torque.

F = Fuerza.

L = Longitud.

1.4.5.7. Esfuerzo interno.

Los esfuerzos internos sobre una sección transversal plana de un elemento estructural se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección.

a.) Esfuerzo normal (normal o perpendicular al plano considerado).

Es el que viene dado por la resultante de tensiones normales, es decir, perpendiculares al área para la cual se pretende hallar el esfuerzo normal.

b.) Esfuerzo cortante (tangencial al plano considerado).

Es el que viene dado por la resultante de tensiones cortantes, es decir, tangenciales al área para la cual se pretende hallar el esfuerzo cortante.

1.4.5.8. Dinámica de un cuerpo rígido.

Los efectos que la aplicación de una fuerza puede causar sobre un cuerpo son: deformación y/o traslación y/o rotación.

La dinámica de traslación se estudia en base a las Leyes de Newton. Cuando se define el torque producido por una fuerza, se sabe que este nos permite cuantificar el efecto rotacional que produce la aplicación de la fuerza sobre algún punto del cuerpo sólido que no pertenezca a la línea de acción de esta.

Al analizar la dinámica de rotación, se debe determinar la relación entre el torque y la rotación que produce.

a.) *Momento de inercia.*

Da a conocer la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación con respecto a un eje de giro. Este depende de la posición del eje de giro y de la geometría del cuerpo mientras que es independiente de las fuerzas que generan el movimiento. Consecuentemente se puede referir al momento de inercia como la resistencia que presenta un cuerpo a adquirir una aceleración angular.

En el ANEXO 3 y ANEXO 4 se presentan dos tablas en las cuales son visibles las ecuaciones que llegan a ser necesarias para su obtención.

b.) *Radio de giro.*

Dado un sistema de partículas, el radio de giro es la distancia L a un eje a la cual una partícula de masa igual a la masa total del sistema, tendría el mismo momento de inercia que el sistema original, es decir:

$$I_{(\infty)} = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2 = MR_G^2, \quad (\text{Ec.1.8})$$

En donde:

I = Momento de inercia.

m = Masa de un cuerpo.

r = Radio de giro del cuerpo.

M = Masa total del sistema.

R_G = Radio de giro del sistema.

Sabiendo que:

$$R_G = \sqrt{\frac{I}{M}} \quad \text{y} \quad M = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \text{masa total del sistema.}$$

c.) Rotación de un cuerpo rígido.

Para estudiar la dinámica de los cuerpos en rotación se introduce el concepto de sólido rígido o cuerpo formado por un conjunto de puntos materiales cuyas distancias mutuas permanecen invariables.

Un sólido rígido está animado de un movimiento de rotación cuando se mueve ligado a dos puntos fijos que pueden ser interiores o exteriores a él. La línea que une dichos puntos fijos es el eje de giro, y los puntos de un sólido en su movimiento describen circunferencias en un plano perpendicular al eje de giro y cuyos centros se encuentran sobre dicho eje.

Los principios fundamentales de la dinámica de rotación pueden resumirse así:

1. Para que se produzca una rotación tiene que actuar un par de fuerzas. Éste está constituido por dos fuerzas iguales, paralelas y de sentidos opuestos, cuyos puntos de aplicación están separados una distancia r , llamada brazo del par. La magnitud que caracteriza un par de fuerzas es el momento del par de fuerzas, M , que es un vector perpendicular al plano del par, de módulo igual al producto de la magnitud común de las fuerzas por la distancia r , y cuyo sentido está ligado al sentido de rotación del par.

$$M = F.L \quad (\text{Ec.1.9})$$

En donde:

M = Momento del par de fuerzas.

F = Fuerza aplicada.

L = Distancia entre las que son aplicadas la fuerza o brazo del par.

Un par de fuerzas puede equilibrarse por otro par que tenga momento de igual módulo, pero de sentido opuesto al del primero.

Nunca una fuerza única puede sustituir, ni equilibrar, a un par de fuerzas.

2. La relación que existe entre el momento del par de fuerzas aplicado al cuerpo y la aceleración angular que le produce, recibe el nombre de momento de inercia, de dicho cuerpo respecto al eje de giro considerado:

$$M = I \cdot \alpha \quad (\text{Ec.1.10})$$

En donde:

M = momento del par de fuerzas.

I = momento de inercia.

α = aceleración angular.

Los ejes principales de inercia son aquellos ejes que tienen la propiedad de que cuando un sólido rota alrededor de alguno de ellos, su momento angular correspondiente está dirigido según ese eje.

d.) Segunda Ley de Newton para la rotación.

La ecuación $\sum \tau = I \cdot \alpha$ generalmente se la denomina la Segunda Ley de Newton para la rotación. Es similar a la Segunda Ley de Newton definida en la traslación pero no tan fundamental, ya que tiene que ver con esta.

Por lo antes mencionado se llega a la conclusión que el análogo rotacional de la fuerza es el torque; y el análogo rotacional de la masa es el momento de inercia. Ver TABLA 1.6.

En otras palabras el agente que causa exclusivamente la traslación de un cuerpo es la fuerza, y el agente que causa exclusivamente la rotación es el torque.

La oposición al cambio de estado en la traslación es la masa y quien cuantifica la oposición de un cuerpo a la rotación es el momento de inercia.

TABLA 1.5. COORELACIÓN ENTRE LA TRASLACIÓN Y LA ROTACIÓN.

TRASLACIÓN	ROTACIÓN
Fuerza (F)	Torque (τ)
Masa (m)	Momento de inercia (I)
Aceleración (a)	Aceleración angular (α)
$\sum F = m \cdot a$	$\sum \tau = I \cdot \alpha$

Fuente: VALLEJO, Patricio y ZAMBRANO, Jorge. Física Vectorial, Tomo II

Elaboración: Grupo investigador.

1.5. Diseño y selección de elementos mecánicos.

Antes de construir algún elemento mecánico se deben considerar factores de diseño. Siendo algunos de estos: el tiempo de trabajo de los materiales, los esfuerzos que deben realizar, etc. Obviamente también influye el factor económico y la facilidad de encontrar el material en el mercado de preferencia local. Todos estos aspectos determinan las características que deben ser tomadas en cuenta para realizar un correcto diseño y selección de elementos mecánicos para la elaboración del molino de martillos.

1.5.1. Energía.

En términos de física y mecánica se define a la energía como la capacidad para realizar un trabajo.

1.5.1.1. Energía cinética.

Puede definirse como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. Una vez conseguida esta

energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad; para que el cuerpo regrese a su estado de reposo se requiere un trabajo negativo de la misma magnitud que su energía cinética. Esta puede expresarse mediante la ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad (\text{Ec.1.11})$$

En donde:

E_c = Energía cinética.

m = Masa del cuerpo.

v = Velocidad del cuerpo.

1.5.1.2. Energía potencial.

Es la energía que mide la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición o configuración. Puede pensarse como la energía almacenada en el sistema, o como una medida del trabajo que un sistema puede entregar. Suele abreviarse como

$$E_p = m \times g \times h \quad (\text{Ec.1.12})$$

En donde:

E_p = Energía potencial.

m = Masa del cuerpo.

g = Aceleración de la gravedad.

h = Altura

1.5.2. Análisis de tensiones.

Joseph E. Shigley enuncia “Uno de los primeros problemas que enfrenta el ingeniero diseñador es tener la certeza de que la resistencia de la parte que se diseño siempre sea mayor que el esfuerzo atribuido a cualquier carga que se le pueda aplicar” (pág. 27).

1.5.2.1. Teorías de fallas de un material.

Si se tiene que evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a las que se va a someter cuando este en servicio. Como la resistencia es la capacidad de una estructura para resistir cargas, el criterio anterior se puede replantear como: la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida. La relación de la resistencia real entre al resistencia requerida se llama factor de seguridad (n):

$$n = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}} \quad (\text{Ec.1.13})$$

1.5.3. Esfuerzos.

Los factores de seguridad se definen e implantan de diversa formas. Para muchas estructuras es importante que el material permanezca dentro del intervalo linealmente elástico, para evitar deformaciones permanentes cuando se retiren las cargas. En estas condiciones se establece el factor de seguridad con respecto al esfuerzo de fluencia (o la resistencia de fluencia) se obtienen un esfuerzo permisible (o esfuerzo de trabajo) que no se debe rebasar en lugar alguno de la estructura. Viene dado por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sigma_{per}}{\tau} \quad (\text{Ec.1.14})$$

En donde:

n = Factor de seguridad.

σ_{per} = Esfuerzo permisible.

τ = Esfuerzo cortante total.

1.5.3.1. Esfuerzo permisible.

Cuando la fuerza cortante es nula y no existen cargas de torsión o axiales presentes se dice que una viga presenta flexión. Shigley en su libro Diseño en



Ingeniería Mecánica presenta la siguiente ecuación que representa el esfuerzo normal en flexión en una viga recta en relación al momento producido en el cuerpo y su módulo de resistencia.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \quad (\text{Ec.1.15})$$

En donde:

σ_{max} = Esfuerzo permisible.

M = Momento producido.

S = Módulo de resistencia.

El momento resistente o módulo de resistencia es una magnitud geométrica que caracteriza resistencia de un prisma mecánico sometido a flexión.

Se lo calcula a partir de la forma y dimensiones de la sección transversal, y representa la relación entre las tensiones máximas sobre dicha sección transversal y el esfuerzo de flexión aplicado sobre dicha sección.

Para una sección rectangular se pueden obtener mediante las siguientes ecuaciones:

- Para un análisis del esfuerzo con relación al eje Y:

$$S = \frac{b \times h^2}{6} \quad (\text{Ec.1.16})$$

- Para un análisis del esfuerzo con relación al eje Z:

$$S = \frac{h \times b^2}{6} \quad (\text{Ec.1.17})$$

En donde:

S = módulo de resistencia.

b = base del prisma rectangular.

h = altura del prisma rectangular.

1.5.4. Diseño de ejes.

Joseph E. Shigley enuncia: Un eje móvil (o simplemente eje) es un elemento rotatorio generalmente de sección transversal circular (una barra eje), cuya función es transmitir movimiento y potencia. Constituye el elemento de rotación y oscilación de dispositivos como engranes, poleas, volantes, manivelas, ruedas, catarinas entre otros, y dirige la configuración geométrica de su movimiento. Un eje fijo es un elemento no giratorio o estático que no transmite movimiento y se utiliza sólo para sostener piezas rotatorias como ruedas, poleas, rodillos y otros elementos" (pág. 788).

Entonces es posible decir que un eje es un elemento mecánico encargado de transmitir energía rotacional a una determinada velocidad de giro; es considerado también como el soporte de componentes como poleas, engranes, discos, etc. que producen sobre éste momentos de flexión por esfuerzo de corte que deben ser analizados para poder prevenir fallas.

Los principales factores a considerarse para el diseño de ejes pueden ser:

- Velocidad de giro.
- Potencia o torque a transmitir.
- Definir la forma del eje y como transmitirá la potencia.
- La ubicación de los elementos mecánicos que se encontraran montados en el eje.
- Analizar y determinar el lugar apropiado donde serán instalados los rodamientos.
- Calcular las fuerzas radiales y axiales.
- Analizar los puntos críticos del eje como los cambios de diámetro, y puntos de concentración de tensión.
- Especificar las dimensiones finales de cada sección del eje.
- Selección del material con que se va a fabricar el eje.

1.5.4.1. Fuerzas producidas por elementos mecánicos.

a.) Deflexiones en el eje.

Un eje es el soporte de casi todos los elementos mecánicos implicados en la transmisión de movimiento y potencia, estos ejercen fuerzas que producen momentos de flexión, mismos que se tomarán en cuenta para el diseño del eje que será útil a los requerimientos del diseñador y del fabricante.

b.) Carga equivalente.

Se refiere a la masa y aceleración que debe soportar el eje en relación a su longitud. Se expresa mediante la ecuación:

$$q = \frac{m \cdot a}{L} \quad (\text{Ec.1.18})$$

En donde:

q = Carga.

m = Masa del cuerpo.

a = Aceleración

L = Longitud de eje.

c.) Cargas en el centro sobre apoyos simples.

Las fuerzas en los apoyos que se generan son productos de las cargas aplicadas y se llaman reacciones y equilibran las cargas aplicadas. Se calcula mediante:

$$A_y = B_y = \frac{q \times L}{2} \quad (\text{Ec.1.19})$$

En donde:

A_y = Reacción sobre el apoyo A.

B_y = Reacción sobre el apoyo B.

q = Carga ejercida.

L = Longitud.

c.) Momento flector máximo.

Resulta del producto de la fuerza aplicada por la distancia de la misma hasta el eje de rotación.

$$M = F \times l \quad (\text{Ec.1.22})$$

En donde:

M = Momento flector.

F = Fuerza aplicada.

l = longitud comprendida entre la fuerza y el eje de rotación.

d.) Esfuerzo por flexión.

Es la relación que existe entre el momento flector máximo y el módulo de la sección del eje.

$$\tau_{flexión} = \frac{M}{S} \quad (\text{Ec.1.23})$$

En donde:

$\tau_{flexión}$ = Esfuerzo por flexión.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de la sección de eje.

Dependiendo de la forma de la sección transversal del eje que se emplee, se puede ir a la tabla del ANEXO 6 para ver las ecuaciones aptas para el cálculo.

e.) Esfuerzo por torsión.

Es la relación que existe entre el torque y el módulo polar de la sección del eje.

$$\tau_t = \frac{\tau}{S_t} \quad (\text{Ec.1.24})$$

En donde:

τ_t = Esfuerzo de torsión.

τ = Torque.

S_t = Módulo polar de sección.

Dependiendo de la forma de la sección transversal del eje que se emplee, se puede ir a la tabla del ANEXO 7 para ver las ecuaciones aptas para el cálculo.

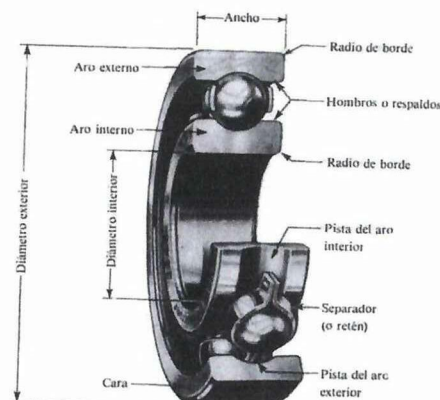
Una vez determinadas las características de resistencia y el diámetro del eje es necesario poder seleccionar de manera adecuada el tipo de cojinetes que se emplearán para el soporte del eje y sus elementos.

1.5.5. Selección de rodamientos.

N. Larburu en su libro “Maquinas Prontuario”, cita: "Los cojinetes de rodamientos pueden ser radiales o axiales; se componen de elementos de rodadura que son aros o arandelas provistos de una o más superficies de rodadura que sirven para que los cuerpos rodantes, que son bolas y rodillos de varios tipos, se deslicen sobre aquellas superficies sin rozamiento aparente"(Pág. 293).

Entonces es posible decir que un rodamiento es un elemento capaz de soportar cargas radiales o axiales producidas por la transmisión de potencia ejercida sobre un eje dotándolo de movimiento con un mínimo grado de rozamiento. En la FIGURA 1.12 es visible un rodamiento.

FIGURA 1.11. PARTES DE UN RODAMIENTO DE BOLAS.



Fuente:

[https://www.google.com.ec/search?q=rodamiento+y+sus+partes&source=lnms&tbn=isch&sa=X
&ei=w](https://www.google.com.ec/search?q=rodamiento+y+sus+partes&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=w)

1.5.5.1. Clasificación de rodamientos.

Los rodamientos pueden clasificarse por:

- Rodamientos o cojinetes radiales.
- Rodamientos o cojinetes axiales.

a.) Cojinetes radiales.

Son utilizados para cargas radiales y axiales, por ejemplo:

- **Rodamientos a bolas con rótula, con agujeros cilíndricos.** Soportan cargas radiales y facilitan la alineación de árboles.
- **Rodamientos a bolas rígidos; camino de rodadura profundo,** soportan cargas radiales y axiales.

b.) Cojinetes axiales.

Son utilizados únicamente para cargas axiales, por ejemplo:

- **Rodamientos axiales de simple efecto.** Soportan cargas axiales en un solo sentido.
- **Rodamientos axiales de doble efecto,** soportan cargas axiales en dos sentidos.

1.5.5.2. Procedimiento de selección de rodamientos.

Marks (Pág. 8 - 145), acerca de la selección de rodamientos expresa: "La selección del tipo de cojinete de elementos rodantes depende de muchos factores, como la carga, velocidad, sensibilidad al desalineamiento, limitaciones de espacio

y necesidad de la ubicación precisa del eje. Sin embargo, para determinar si se debe seleccionar un cojinete de bolas o de rodillos, se aplican las siguientes reglas generales":

- Los cojinetes de bolas funcionan en contacto puntual teórico, por tanto se desempeñan favorablemente con velocidades elevadas y con cargas reducidas.
- Los cojinetes de rodillos son más costosos, funcionan en contacto lineal y por esto soportan cargas más fuertes además de las de choque; estos se ven limitados en la velocidad.

a.) Dimensionamiento.

Este procedimiento se lo realiza en base a dos aspectos; para carga estática y para carga dinámica; siendo el análisis para carga dinámica la mas utilizada en diseño mecánico basado en el análisis de fatiga del material permita obtener los valores preliminares de carga, factor de esfuerzos, factor de velocidad entre otros que facilitarán la selección adecuada del o los rodamientos que se deban utilizar.

a.1) Capacidad de carga estática.

Cuando se tienen rodamientos que soportan carga estática se aplica la siguiente ecuación:

$$C_o = f_s * PO \quad (\text{Ec.1.25})$$

En donde:

C_o = Capacidad de carga estática.

f_s = Coeficiente de esfuerzos estáticos.

PO = Carga estática equivalente.

a.2) Capacidad de carga dinámica.

El catálogo de la FAG para rodamientos sugiere obtener la capacidad de carga dinámica en un rodamiento mediante la siguiente ecuación:

$$C = PO * \sqrt[p]{\frac{L_{h10} * \omega * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}} \quad (\text{Ec.1.26})$$

En donde:

C = Capacidad de carga dinámica; puede ser deducida o dada por el fabricante

PO = Carga estática equivalente.

p = Exponente de vida del rodamiento.

L_{h10} = Vida nominal.

ω = Velocidad angular de trabajo.

a_1 = Factor de probabilidad de falla.

a_{23} = Factor para el material y las condiciones de servicio.

El exponente de la vida del rodamiento (p) para rodamientos de bolas es igual a 3 y para rodamientos de rodillos su valor es de $10/3$.

El factor de esfuerzos dinámicos (f_L) del rodamiento depende del uso que se le vaya a dar; para una máquina herramienta en donde se emplean un par motor suficiente para realizar un corte, este factor varía de 3 hasta 4.5.

La vida nominal del rodamiento viene dado por:

$$L_{h10} = f_L^p * 500 \quad (\text{Ec.1.27})$$

En donde:

L_{h10} = Vida nominal del rodamiento.

f_L = Factor de esfuerzo dinámico.

p = Exponente de vida según el tipo de rodamiento (para rodamientos de bolas p = 3; mientras que para rodamientos de rodillos p = 10/3).

El factor para el material y condiciones de servicio (a_{23}) se calcula mediante:

$$a_{23} = a_{23II} * S \quad (\text{Ec.1.28})$$

En donde:

a_{23} = Factor para el material y condiciones de servicio.

a_{23II} = Constante para a_{23} mostrado en tabla.

s = Constante de lubricación para el rodamiento.

b.) Selección del tipo de rodamiento.

Conocidos ya los valores sobre los cuales trabajaran los rodamientos, se deberá recurrir a catálogos para determinar el tipo de rodamiento que satisfaga las necesidades de diseño, tanto para factores de carga como de dimensiones y de ubicación en el montaje. Estos catálogos muestran métodos de montaje, desmontaje, lubricación, mantenimiento y accesorios que se pueden emplear en el uso de estos elementos.

1.5.6. Diseño de discos giratorios o volantes.

Joseph E. Shigley, define “Un volante es un dispositivo rotatorio que almacena energía cinética por efecto de inercia. Absorbe energía mecánica cuando se incrementa su velocidad angular, y libera energía al disminuir su velocidad de rotación” (Pág. 709).

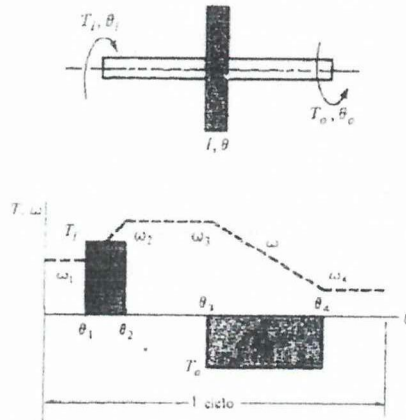
Consecuentemente se puede deducir que un disco giratorio se utiliza para mantener una velocidad uniforme en el eje perteneciente a una máquina, es decir que permite mantener el trabajo de un eje uniforme sometido a rotación.

1.5.6.1. Energía almacenada por el volante.

Como consecuencia del movimiento que produce un motor, es decir en ciclos positivos y negativos; el trabajo realizado se puede observar en la FIGURA 1.14,

donde un motor somete a un volante a un momento constante T_i desde θ_1 a θ_2 , sección que puede considerarse como momento rotacional positivo o de arranque graficado hacia arriba, dando esto una aceleración que aumenta la velocidad de ω_1 a ω_2 , luego se tiene una sección de momento nulo que va de θ_2 a θ_3 con aceleración cero, teniendo que $\omega_3 = \omega_2$ a esto se le aplica una carga o momento torsional final de salida con magnitud constante, que va de θ_3 a θ_4 , produciendo una disminución en la velocidad del eje representado por la sección ω_3 a ω_4 , esta disminución esta graficada contraria a la de la sección inicial denominándose momento de salida o momento negativo T_o .

FIGURA 1.12. FUNCIÓN DE UN VOLANTE Y DESCRIPCIÓN



FUENTE: Nicolas Larburu, MÁQUINAS PRONTUARIO.

De esto se tiene que si el trabajo de salida del volante es mayor que el de entrada se necesita mayor cantidad de energía que la entregada por la fuente para mover la carga y como consecuencia ω_4 será menor que ω_1 , contrariamente si el trabajo de salida es menor que el de entrada se obtiene que sus velocidades son iguales porque la ganancia y pérdida de energía son iguales suponiendo que no hay pérdidas por fricción, consecuentemente ω_4 será mayor que ω_1 si el trabajo de entrada es mayor que el de salida; por lo tanto la siguiente ecuación permite determinar la cantidad de energía del volante en función a la energía cinética:

$$\Delta W = I\omega(\omega_{\max} - \omega_{\min}) \quad (\text{Ec.1.29})$$

En donde:

ΔW = Variación de la energía cinética del volante.

I = Momento de inercia del volante.

ω = Velocidad angular media.

ω_{\max} = Velocidad angular máxima.

ω_{\min} = Velocidad angular mínima.

Para hallar la velocidad angular media se utiliza la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} \quad (\text{Ec.1.30})$$

En donde:

ω = Velocidad angular media.

ω_{\max} = Velocidad angular máxima.

ω_{\min} = Velocidad angular mínima.

1.5.6.2. Grado de irregularidad o coeficiente de fluctuación.

El grado de irregularidad entrega valores que indican la amplitud con que suele variar la velocidad angular del cuerpo con respecto a la velocidad angular media. Cuanto mayor es este coeficiente, más irregular es el funcionamiento de la máquina.

Cuando se requiere obtener la velocidad tangencial real de un sistema es necesario considerar este coeficiente a través de la siguiente ecuación:

$$V_r = -V \frac{C_s + 2}{C_s - 2} \quad (\text{Ec.1.31})$$

En donde:

V_r = Velocidad tangencial real del sistema.

V = Velocidad tangencial aparente del sistema.

C_s = Coeficiente de fluctuación.

Para cada tipo de máquina, según su prestación, se adopta un coeficiente de fluctuación (ver TABLA 1.6), siendo éste de suma importancia para el diseño. Según Dubbel en su libro Manual del Constructor de Máquinas, se tienen los siguientes valores:

TABLA 1.6. COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN SEGÚN EL TIPO DE MÁQUINA.

TIPO DE MÁQUINA	C_s
Hélices de buques (por medio de motores)	1/20
Máquinas de corte, bombas	1/25
Telares, máquinas de fábricas papeleras	1/35
Mecanismos de transmisión de talleres	1/40
Molinos de molindas	1/50
Máquinas de hilar para números de hilos bajos	1/60
Máquinas de hilar para números de hilos altos	1/100
Generadores de corriente continua para alumbrado	1/100 a 1/120
Generadores de corriente alterna para conexión en paralelo en redes de turbinas	1/300

Fuente: Manual del Constructor de Máquinas, DUBBEL.

1.5.6.3. Dimensionamiento del volante.

Establecido el coeficiente de fluctuación según la aplicación necesaria se podrá dimensionar el volante, calculando el momento de inercia que este tendrá, dependiendo de su forma constructiva y teniendo en cuenta el diámetro en el que se considera concentrada la masa; se tomará la relación para un disco sólido:

$$I = \frac{1}{2} m \times R^2 \quad (\text{Ec.1.32})$$

En donde:

I = Momento de inercia del volante.

m = masa del volante [Kg].

R = Radio medio [m].

1.6. Componentes del molino de martillos.

En esta sección se analizará a los principales elementos y componentes mecánicos que conforman un molino de martillos.

1.6.1. Martillo.

El martillo es la parte que al entrar en contacto con el o los granos de maíz provoca inmediatamente su fractura, mediante el impacto que se genera al golpear el martillo al grano y posteriormente este choca contra las paredes internas del molino como se lo puede apreciar en la FIGURA 1.15.

Los martillos son piezas generalmente metálicas de forma simétrica rectangular, esta forma se la considera debido a que no produce mayor desbalanceo en el disco y por tanto el sistema estará prácticamente equilibrado.

FIGURA 1.13. ESQUEMA DE CHOQUE GRANO - MARTILLO



Fuente: Grupo investigador.

Para que todo el sistema esté completamente balanceado y las vibraciones sean casi nulas deben tomarse en cuenta otros factores que se analizarán posteriormente.

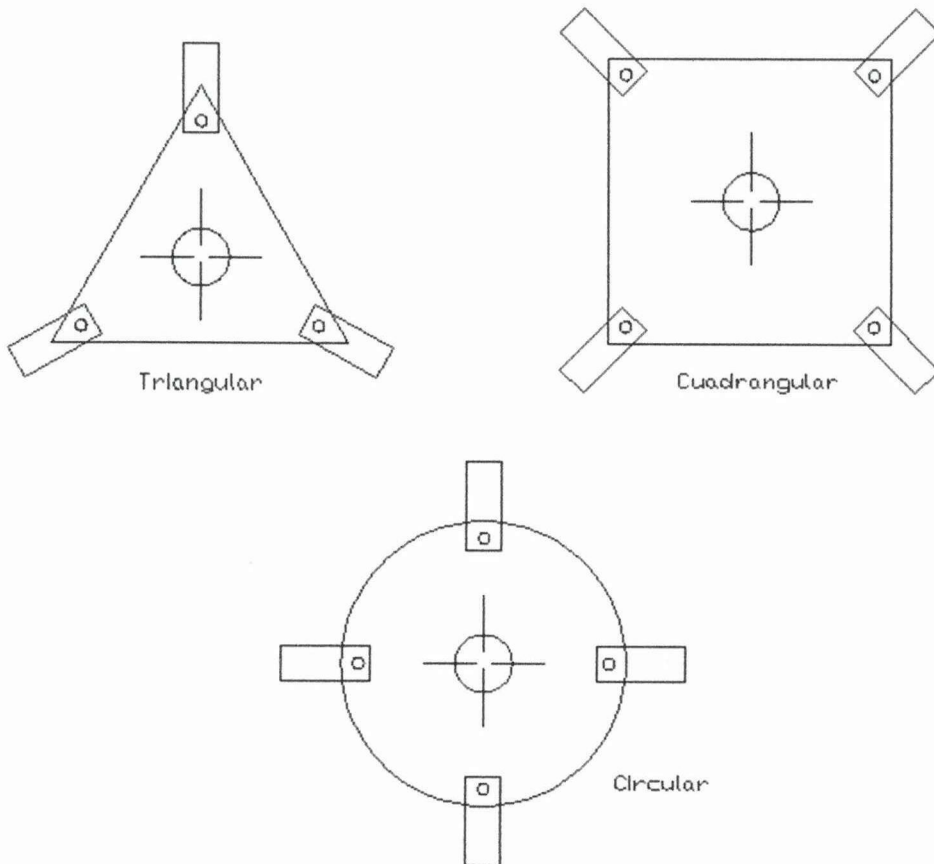
1.6.2. Disco porta martillos.

El disco porta martillos es aquella parte que prácticamente transmite el movimiento a los martillos desde el eje.

Se encarga de sostener y direccionar, así como también de transmitir la velocidad de giro hacia los martillos.

Existen algunas configuraciones de discos porta martillos como se muestran en la FIGURA 1.16. Y cada una de estas configuraciones presenta ventajas y también desventajas que se analizan en la TABLA 1.7.

FIGURA 1.14. CLASES DE DISCOS PORTA MARTILLOS.



Fuente: Grupo investigador.

TABLA 1.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DISCOS.

TIPO DE DISCO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Triangular	Menor número de martillos	Difícil para balanceo dinámico
	Disco más liviano que el cuadrangular y circular	Esfuerzo normal por tracción es superior Se corre riesgo de fisuras en los vértices por fatiga.
Cuadrangular	Mejor para balanceo dinámico que el disco triangular	Difícil para balanceo dinámico
	Disco más liviano que el circular	Esfuerzo normal por tracción es superior al circular Se corre riesgo de fisuras en los vértices por fatiga.
Circular	Mejores condiciones de balanceo dinámico	Mayor número de discos que el triangular
	Esfuerzo normal por tracción menor que en los otros discos	Ligeramente más pesado que el cuadrangular y triangular
	En vista de que no posee vértices es muy poco probable fisuras por fatiga.	

Fuente: Grupo investigador.

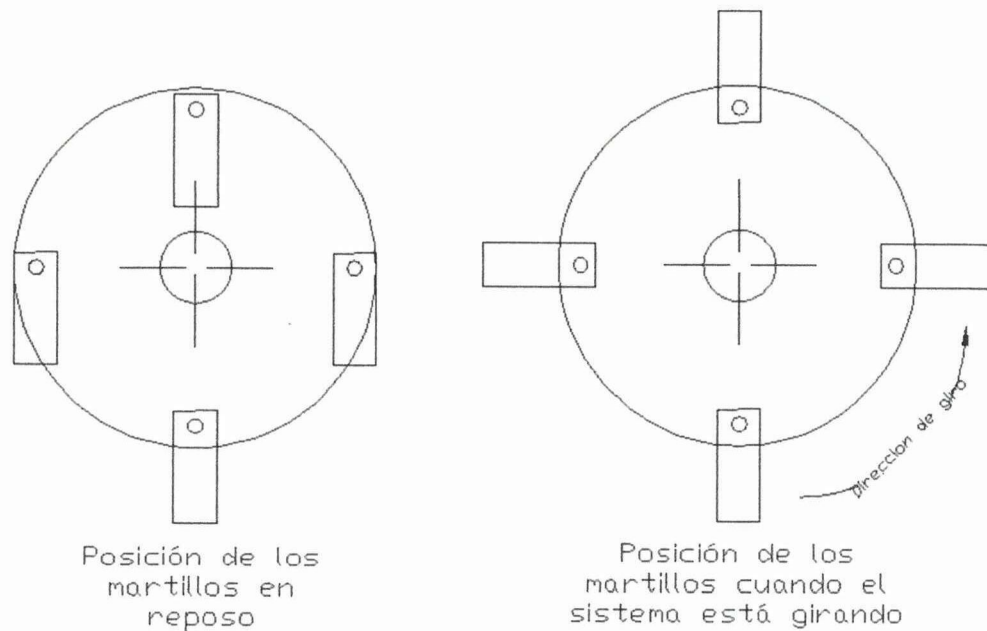
La TABLA 1.7 muestra claramente que el disco circular presenta condiciones mayormente ventajosas que los otros dos, un disco circular que lleva un número par de martillos en el que la fuerza centrífuga coloca los martillos en posiciones ortogonales, tomando en cuenta que las fuerzas centrífugas son radiales en todo momento, la zona de esfuerzos es la más larga, por tanto el esfuerzo normal por torsión es menor.

1.6.3. Eje de martillos.

Es la parte que se encarga de ser el centro de rotación de los martillos. Como consecuencia de la velocidad angular del eje principal del molino se genera una

fuerza centrífuga, que a su vez genera que los martillos tiendan a abrirse a 90° entre ellos con respecto al eje del molino como se muestra en la Figura 1.17, mientras se encuentran girando.

FIGURA 1.15. POSICIÓN DE LOS MARTILLOS CON RESPECTO AL MOVIMIENTO.



Fuente: Grupo investigador.

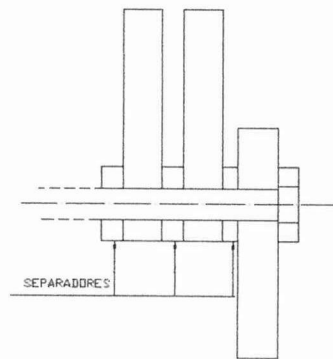
Adicionalmente este eje atraviesa y a la vez une a los discos porta martillos y martillos con sus respectivos separadores.

Para cálculos se puede tomar en cuenta que martillos, discos y ejes forman un solo cuerpo que gira a velocidad angular constante.

1.6.4. Separadores o bocines.

Son los elementos que se encuentran en el eje porta martillos, separando a los martillos entre sí (ver FIGURA 1.18.), y en cierto modo alineándolos con el objetivo de que su trayectoria sea perpendicular al eje. Evitan oscilaciones, vibraciones, choques y rozamientos entre los martillos.

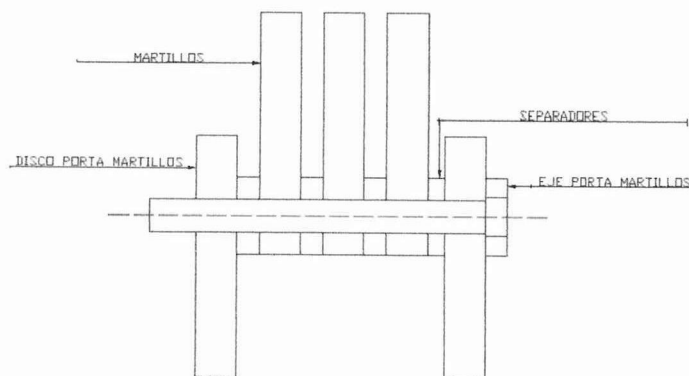
FIGURA 1.16. SEPARADORES.



Fuente: Grupo investigador.

El conjunto del sistema ensamblado se puede visualizar en la FIGURA 1.19.

FIGURA 1.17. MARTILLOS, SEPARADORES, DISCOS Y EJES PORTA MARTILLOS.



Fuente: Grupo investigador.

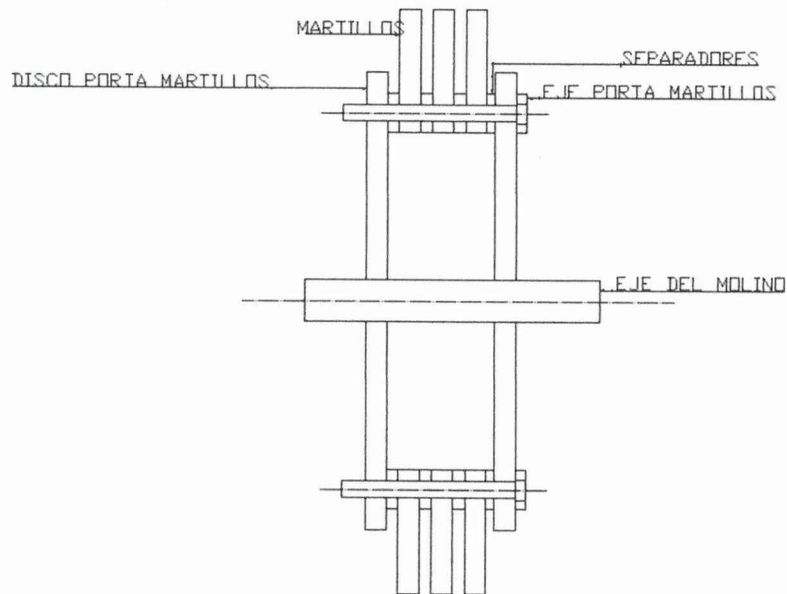
1.6.5. Eje del molino.

Es un elemento rotatorio de sección transversal circular, que consta de un eje central, discos y martillos, se encuentra sometido a varias fuerzas y cargas que deben considerarse para su correcto diseño (Ver el conjunto de elementos en la FIGURA 1.20.).

Algunas de las fuerzas que experimenta son: el peso relacionado con el sistema conformado por los martillos, discos porta martillos, separadores, ejes de

martillos; la fuerza que ejerce el disco a los ejes de martillos, la fuerza de impacto que se genera al momento de que los martillos entran en contacto con el maíz, inercia, etc.

FIGURA 1.18. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL EJE DEL MOLINO.



Fuente: Grupo investigador.

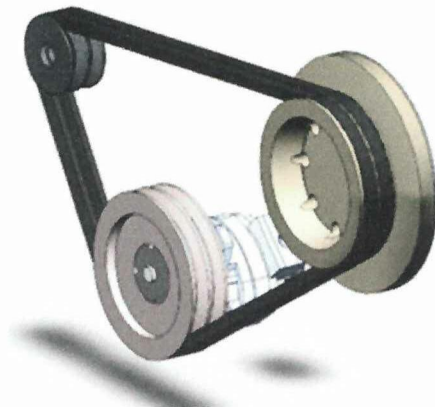
1.6.6. Correa.

Es un elemento que permite la transmisión mecánica basado en la unión de dos o más ruedas o poleas, sujetas a un movimiento de rotación (ver FIGURA 1.21).

Es importante destacar que las correas de transmisión basan su funcionamiento fundamentalmente en las fuerzas de fricción, esto las diferencia de otros medios flexibles de transmisión mecánica, como las cadenas de transmisión y las correas dentadas las cuales se basan en la interferencia mecánica entre los distintos elementos de la transmisión. Son generalmente fabricadas de goma o caucho.

Se pueden clasificar en dos tipos: planas y trapezoidales.

FIGURA 1.19. CORREA DE TRANSMISIÓN Y POLEAS.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Correa_de_transmisi%C3%B3n

1.6.6.1. Correa plana.

Se caracteriza por tener sección transversal rectangular. Fueron el primer tipo de correas de transmisión utilizadas; en la actualidad han sido sustituidas por las correas trapezoidales.

1.6.6.2. Correa trapezoidal.

Se los conoce también como correas en V, y caracteriza por tener sección transversal de forma trapezoidal. Esta forma logra aumentar las fuerzas de fricción entre la correa y las poleas con que interactúan.

Las correas en V se fabrican usualmente en tela y refuerzo de cordón, generalmente de algodón, rayón o nylon, y se impregnan de caucho o hule.

Se usan con poleas ranuradas de sección similar y distancias entre centros mas cortas.

Son ligeramente menos eficientes que las planas, pero varias pueden montarse paralelas en poleas ranuradas especiales; por tanto, constituyen así una transmisión múltiple.



Los fabricantes estandarizaron las dimensiones de la sección transversal de las bandas en V y designaron cada sección con una letra del alfabeto para los tamaños en pulgada.

Según esto entonces se pueden observar las dimensiones, diámetros mínimos de la polea y el intervalo de potencias de cada una de las secciones designadas con letras en la TABLA 1.8.

TABLA 1.8. SECCIONES DE BANDAS EN V ESTÁNDAR.

Sección de la banda.	Ancho a. (pulgadas)	Espesor b. (pulgadas)	Diámetro mínimo de polea. (pulgadas)	Intervalo de potencias de una o más bandas.(HP)
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3	$\frac{1}{4}$ - 10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1 - 25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9	15 - 100
D	$1 \frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13	50 - 250
E	$1 \frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayor

Fuente: Joseph Shigley, Diseño en ingeniería mecánica.

1.6.7. Polea.

Es un dispositivo mecánico de tracción, que sirve para transmitir una fuerza. Cuando está formado por 2 o más poleas ayuda a reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso.

1.6.7.1. Sistema de poleas.

Consiste en dos poleas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto del rozamiento entre una correa y ambas poleas. Es este un sistema de transmisión circular puesto que ambas poleas poseen movimiento circular.

En estos sistemas de poleas existen 2 tipos:

- **Polea conductora.** Es la polea acoplada al eje que tiene movimiento causado por un motor o también puede ser originado por manivela.
- **Polea conducida.** Es la polea acoplada al eje que se desea mover.

Según el tamaño de las poleas, se pueden clasificar 2 tipos de sistemas:

- **Sistema reductor de velocidad.** La velocidad de la polea conducida es menor que la velocidad de la polea conductora; debido a que el diámetro de la polea conducida es mayor que el de la polea conductora.
- **Sistema multiplicador de velocidad.** La velocidad de la polea conducida es mayor que la velocidad de la polea conductora; debido a que el diámetro de la polea conducida es menor que el de la polea conductora.

La relación de transmisión es aquella que existe entre la velocidad de la polea conducida y la velocidad de la polea conductora.

$$i = \frac{n2}{n1} \quad (\text{Ec.1.33})$$

En donde:

i = Relación de velocidad.

$n1$ = velocidad de polea conductora.

$n2$ = velocidad de polea conducida.

La relación de transmisión también se puede calcular tomando en cuenta el tamaño o diámetro de las poleas.

$$i = \frac{d1}{d2} \quad (\text{Ec.1.34})$$

En donde:

i = Relación de velocidad.

$d1$ = diámetro de polea conductora.

d_2 = diámetro de polea conducida.

Se puede entonces calcular las velocidades y diámetros de las poleas con:

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2 \quad (\text{Ec.1.35})$$

En donde:

i = Relación de velocidad.

d_1 = diámetro de polea conductora.

d_2 = diámetro de polea conducida.

n_1 = velocidad de polea conductora.

n_2 = velocidad de polea conducida.

1.7. Motor eléctrico.

Un motor en términos generales es una máquina que se encarga de transformar energía química, térmica o eléctrica en energía mecánica, es decir en movimiento.

Un motor eléctrico es aquel que convierte a la energía eléctrica a energía mecánica mediante los principios de electromagnetismo; es decir que genera el movimiento rotacional del eje del motor. En la FIGURA 1.22. se puede observar un motor eléctrico con sus principales partes.

1.7.1. Potencia en un motor eléctrico.

El par es parte de la especificación básica de un motor: la potencia de salida de un motor se expresa como su par multiplicado por su velocidad de rotación del eje. Mediante la siguiente ecuación se puede obtenerla.

$$P = \tau \cdot \omega \quad (\text{Ec.1.36})$$

En donde:

P = Potencia del motor.

τ = Torque.

ω = Velocidad angular.

1.7.2. Aceleración angular en un motor eléctrico.

La aceleración angular en un motor se expresa como la diferencia de la velocidad angular nominal y su velocidad angular de arranque en relación a su desplazamiento angular.

$$\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_{\text{arranque}}^2}{2\theta} \quad (\text{Ec. 1.37})$$

En donde:

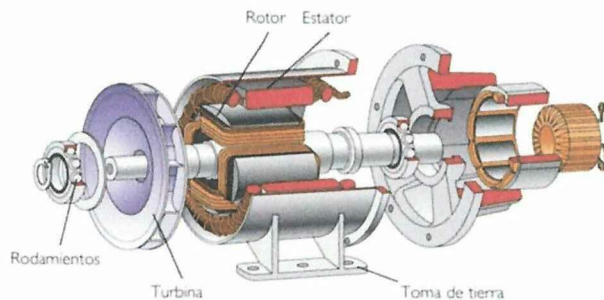
α = Aceleración angular del motor.

ω = Velocidad angular nominal.

ω_{arranque} = Velocidad angular de arranque.

θ = Desplazamiento angular.

FIGURA 1.20. MOTOR ELÉCTRICO.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/corrientes-alternas-y-corrientes-continuas/corrientes-alternas-y-corrientes-continuas.shtml>

1.7.3. Motor eléctrico trifásico.

Es una máquina eléctrica rotativa que transforma la energía eléctrica trifásica, en energía mecánica. La energía eléctrica trifásica origina campos magnéticos rotativos en el bobinado del estator.

Se los fabrican de diferentes potencias, tensiones y frecuencias (50 y 60 Hz), y se los utiliza principalmente para accionar máquinas herramientas.

1.7.3.1. Principio de funcionamiento.

Cuando la corriente atraviesa los bobinados de las tres fases del motor, origina en el estator un campo magnético que induce corriente en el rotor.

La corriente inducida en el rotor da origen a un flujo magnético que al interactuar con el flujo del campo magnético del estator, genera el movimiento del rotor. El movimiento generado es continuo, debido a las variaciones también continuas, de la corriente alterna trifásica.

El rotor no puede ir a la misma velocidad que la del campo magnético giratorio, debido a que a cada instante recibe impulsos del campo pero al concluir el empuje, el rotor tiende a retrasarse; este fenómeno es conocido como deslizamiento.

Después de ese momento vendrá un nuevo empuje y un nuevo deslizamiento, y así sucesivamente, es por eso que el rotor nunca alcanza la misma velocidad del campo magnético giratorio y por ello recibe el nombre de asíncrono.

1.7.3.2. Tipos de motores trifásicos.

En los motores trifásicos cuando el rotor mantiene la misma velocidad de giro que la del campo magnético rotativo, se lo denomina motor síncrono.

Si el rotor tiene una velocidad de giro mayor o menor que dicho campo magnético rotativo, el motor es asíncrono.

Es por ello que se puede clasificar a este tipo de motores en 2 grupos:

- Motores Síncronos.
- Motores Asíncronos.

a.) Motores síncronos.

Se caracterizan porque su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta y se lo utiliza cuando se desea obtener una velocidad de giro constante.

Las máquinas síncronas funcionan como generadores y como motores. Sus aplicaciones en nuestro entorno son mínimas y casi siempre están relacionadas en la generación de energía eléctrica.

Los motores síncronos se subdividen considerando al tipo del rotor que utilizan, siendo estos:

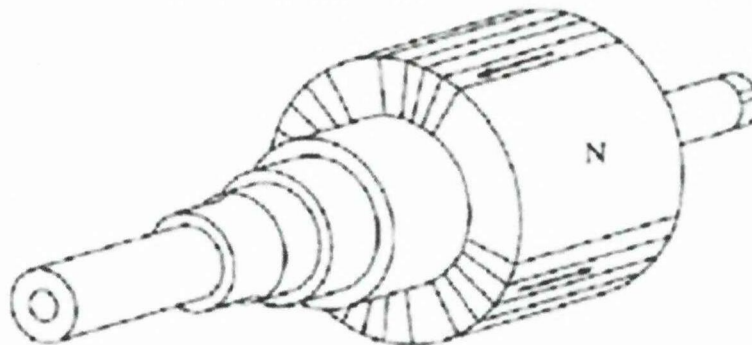
- Rotor de polos lisos o polos no salientes).
- Rotor de polos salientes.

a.1.) Motores de rotor de polos lisos.

Los motores de rotor liso se emplean para trabajos a elevadas velocidades. Se utilizan en rotores de dos y cuatro polos. Estos tipos de rotores están contruidos al mismo nivel de la superficie del rotor.

Generalmente el rotor de estos motores están poseen la forma tal y como muestra la FIGURA 1.23.

FIGURA 1.21. ROTOR DE POLOS LISOS.



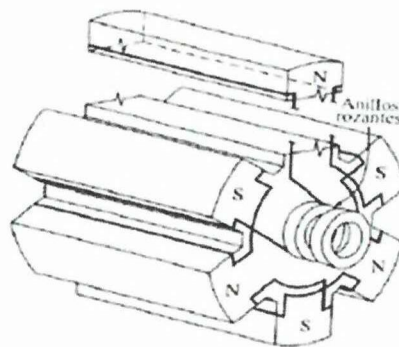
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/image001.jpg>

a.2.) Motores de rotor de polos salientes.

Los motores de polos salientes son empleados para trabajos a bajas velocidades.

Un polo saliente es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Los rotores de polos salientes se utilizan en rotores de cuatro o más polos. Están constituidos como muestra la FIGURA 1.24.

FIGURA 1.22. ROTOR DE POLOS SALIENTES.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/image002.jpg>

b.) Motores asíncronos.

También conocidos como motores de inducción, son los más utilizados debido a las numerosas ventajas que presentan, entre las cuales se pueden mencionar que: son sencillas de dar mantenimiento, seguras y baratas.

Se clasifican según el tipo de rotor en:

- motores de rotor en jaula de ardilla (o motores con inducido en cortocircuito).
- motores de rotor bobinado o de anillos rozantes.

b.1.) Motor de rotor en jaula de ardilla.

Es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.

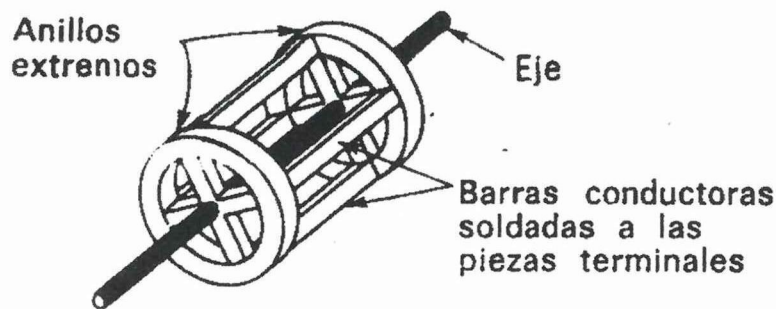
El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster. Se construye con láminas de hierro apiladas. Sus devanados inductores en el estator de este motor hacen al campo magnético rotar alrededor del rotor.

En la FIGURA 1.25. es factible observar la estructura del rotor de un motor “jaula de ardilla”.

El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, un flujo en las barras conductoras.

Alternadamente estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando como resultado un esfuerzo de torsión para producir el giro al eje.

FIGURA 1.23. ROTOR JAULA DE ARDILLA.



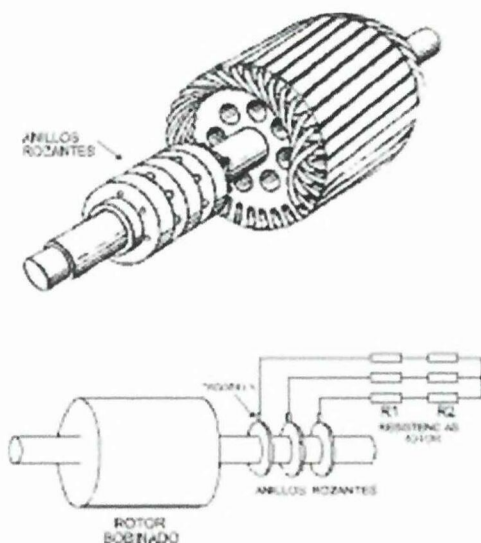
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos23/motores-corriente-alterna/Image12308.gif>

b.1.) Motor de rotor bobinado o de anillos rozantes.

Este motor lleva en su estator unas bobinas que se conectan a anillos deslizantes situados en el eje como se puede ver en la FIGURA 1.26.

Por medio de escobillas el rotor se conecta a unas resistencias que pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito al igual que en el de jaula de ardilla.

FIGURA 1.24. ROTOR BOBINADO O DE ANILLOS ROZANTES.



Fuente: http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRDdw-PPyKe_wwIc3Xg7pOsqOYjn5dGCLbxUIW1t-qCRZ4byBss5w

1.7.4. Protección.

Se deben considerar algunos factores que pueden afectar el funcionamiento del motor, dañando así sus componentes internos y reduciendo su tiempo de vida útil. Estos factores a considerarse son cortocircuitos y sobrecargas.

1.7.4.1. Contactor.

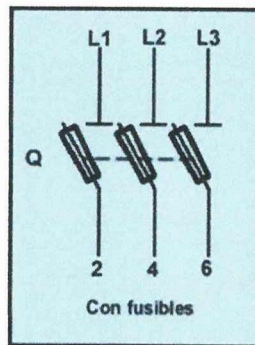
Para producir el arranque del motor es indispensable instalar un elemento de alto poder de corte, más conocido como contactor; Este es un componente electromecánico que permite o interrumpe el paso de corriente en un circuito eléctrico. En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden.

1.7.4.2. Seccionador.

El seccionamiento consiste en aislar eléctricamente una instalación de su red de alimentación según criterios de seguridad. Para protección de motores contra

cortocircuitos se emplean comúnmente seccionadores porta fusibles; estos garantizan que al momento de generarse un cortocircuito los fusibles internos que poseen dejen de conducir a causa de que la corriente sobrepasa su corriente de conducción máxima y entra a su corriente de ruptura. Su símbolo se muestra en la FIGURA 1.27.

FIGURA 1.25. SÍMBOLO DE UN SECCIONADOR PORTAFUSIBLE.



Fuente: <http://www.nichese.com/electricosgif/seccionador2.jpg>

1.7.4.3. *Relé térmico.*

Una sobrecarga a un motor se ocasiona cuando se sobrepasa la capacidad que tiene el motor de realizar un trabajo o simplemente cuando por factores externos se limita el giro normal del eje del motor.

Los relés térmicos son elementos de protección más utilizados para proteger los motores contra sobrecargas débiles y prolongadas

Este dispositivo de protección garantiza:

- Aumentar la vida útil del motor, impidiendo que funcione en condiciones de calentamiento anómalas.
- Arrancar nuevamente después de un disparo con la mayor rapidez y las mejores condiciones de seguridad posibles para los equipos y los operarios.

CAPÍTULO II

PRESENTACIÓN, TABULACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1. Reseña histórica de la molinera EDREVAL.

La molinera comunitaria EDREVAL, es una empresa ecuatoriana dedicada a la producción de harinas y al servicio de molienda de cereales y granos, para consumo principalmente humano y avícola, comenzó sus actividades productivas en propiedad del señor César Corrales en el año de 1976; hoy en día sigue prestando sus servicios en el barrio Brazales bajo la dirección de la Sra. Martha Castellano. Se encuentra ubicada en la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga provincia de Cotopaxi.

Molinera EDREVAL elabora harinas para consumo humano y animal a través de su maquinaria que está conformada por un molino de piedra vertical, horizontal y un aventador.

EDREVAL es reconocida en el mercado local gracias a la calidad de su molienda que brinda a los clientes y usuarios con sus maquinarias.

2.2. Visión.

La molinera comunitaria EDREVAL, siendo una de las industrias pioneras del sector, garantiza la satisfacción del cliente y calidad del producto procesado.

2.3. Misión.

“La misión de la molinera comunitaria EDREVAL es la prestación de servicios en cuanto a la trituración de granos para el consumo humano y animal, en forma suficiente, confiable, continua y al precio justo, de tal manera que se genere un desarrollo socio económico en la sociedad y en los sectores productivos de la provincia”.

2.4. Objetivos institucionales.

- Buscar la satisfacción de los clientes.
- Valorar al ser humano y contribuir a su desarrollo.
- Actuar siempre con integridad.
- Procurar la excelencia en toda actividad.
- Participar proactivamente y agregando valor en el desarrollo de la empresa, la comunidad y el país.
- Aportar al desarrollo productivo del sector de Brazales.
- Brindar un servicio de excelencia a los clientes.

2.5. Diseño metodológico.

2.5.1. Tipología de investigación.

Se utilizó el tipo descriptivo para determinar las causas y efectos sobre la falta de equipamiento que afecta a la molinera comunitaria EDREVAL, por ende los problemas que tiene para lograr cumplir con los requerimientos de los usuarios, ya sean estos en tiempo, calidad de producto, etc.

La investigación que se ejecutó es del tipo cuasi experimental, por medio de este tipo de investigación se podrá aproximar a los resultados de una investigación experimental, interpretando y analizando resultados.

Finalmente se recurrió a la investigación ex post facto, debido a que existe una gran cantidad de información técnica y de diseño, siendo esta de gran utilidad.

2.5.2. Métodos y técnicas de investigación.

En el proyecto para la molinera comunitaria se utilizaron métodos y técnicas, los mismos que sirvieron para su análisis, diseño y montaje en base a información bibliográfica, internet, así como también de pruebas experimentales que tendrán como finalidad llegar a determinar el comportamiento de la máquina y garantizar la confiabilidad del operario al momento de manipularla; por consiguiente se emplearán problemas y posteriormente se llegará a conclusiones.

Consecuentemente se utilizó el método científico que permitió explicar fenómenos, establecer relaciones entre los hechos y enunciar leyes que expliquen los fenómenos físicos presentes durante el funcionamiento del molino, permitiendo obtener conocimiento para el diseño y construcción de la máquina.

Posteriormente se basó en las conclusiones lógicas deductivas de la información adquirida, así como del conocimiento empírico y técnico para llegar a la constatación de la hipótesis establecida.

Por medio del método analítico se conoció la naturaleza de los fenómenos que ocurren para que el molino de martillos funcione de manera eficaz; además permitió profundizar el conocimiento acerca de la máquina, con lo cual se pudo comprender su comportamiento.

El método sintético consiste en un proceso que tiende a reconstruir un todo a partir de los elementos distinguidos por el análisis de algún objeto, en consecuencia se elaboró una síntesis de lo referente a un molino de martillos. Así se llegó a la comprensión de las particularidades y fenómenos que se desarrollan en la máquina y en sus componentes.

Finalmente se utilizó el método experimental, por medio de este se llegó a construir la máquina y analizar del modo o causas que producen ciertas situaciones o acontecimientos particulares en el funcionamiento de la máquina.

2.5.3. Instrumentos.

Como instrumento básico para el desarrollo del proyecto se emplearon encuestas y entrevista.

La aplicación de la encuesta estuvo dirigida a los usuarios de la molinera, obteniendo así resultados que son expuestos en cuadros para interpretación, graficación y análisis.

La entrevista estuvo dirigida a la Sra. Martha Castellano, actual propietaria de molinera EDEVAL.

2.6. Operacionalización de variables.

Variables	Indicadores
<p>Variable independiente</p> <p>Diseño, construcción e implementación de un molino de martillos en la molinera comunitaria EDREVAL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Retraso en la entrega del producto. • Alto consumo eléctrico. • Costo de planilla eléctrica elevada. • Excesivo tiempo de producción. • Insatisfacción del cliente.
<p>Variable dependiente</p> <p>Crecimiento en la producción optimizando tiempo y ahorro de energía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento con la entrega del producto en el tiempo establecido. • Ahorro de energía eléctrica. • Tiempo de producción relativamente bajo. • Cliente conforme con la calidad del producto. • Mayores ingresos.

2.7. Análisis e interpretación de los resultados de la entrevista aplicada a la encargada de la molinera comunitaria EDREVAL.

Entrevista realizada a la Sra. Martha Castellano, encargada de la molinera comunitaria EDREVAL. El objetivo de esta entrevista es poder determinar la opinión de la propietaria con respecto a la operatividad de la molinera y su entorno productivo.

1.- ¿Cree usted que la molinera EDREVAL cuenta con la maquinaria suficiente para cumplir con la demanda de los clientes?

La verdad es que hay ocasiones en las que los molinos pasan ocupados produciendo harinas, y en esos instantes llegan clientes para moler sus productos, por este motivo se pierden ciertos trabajos e inclusive clientes; he pensado que es realmente necesario comprar uno o dos molinos más.

2.- Según su criterio, ¿el nivel de producción de la molinera EDREVAL es bueno, regular o malo?

Hay días en las que la producción aumenta y otras en la que baja, todo depende de los clientes; yo diría que generalmente entre regular y buena.

3.- ¿Cree usted que el nivel de producción de su empresa puede mejorar?

Claro que puede mejorar, y pienso que la mejor manera sería adquiriendo nueva maquinaria que sean mas eficientes y que cubran la demanda del servicio de molienda; pero a la vez que economicen los costos con respecto al consumo de energía eléctrica, mantenimiento.

4.- Según su criterio, ¿la calidad de producto que obtienen sus clientes, en especial de granos y cereales partidos es buena, regular o mala?

Por el momento no tenemos la maquinaria para triturar y partir maíz, los molinos que tenemos sirve para harinas finas o gruesas; cuando viene algún cliente buscando partir el maíz nosotros lo hacemos regulando el molino de piedra. Este molino no es apto para partir el grano y por eso diría q la calidad del grano partido no es tan buena.

5.- ¿Cree usted que la calidad del producto que obtienen sus clientes de su molinera puede mejorar?

Si puede mejorar pero se tiene que invertir en maquinaria eficiente.

6.- ¿Ha sufrido en algún momento retraso o demora en la entrega de algún pedido que se le haya hecho a su empresa molinera?

Si han existido inconvenientes de ese tipo, como ya dije antes, el motivo radica en que la maquinaria no es la suficiente para atender a los pedidos y a los clientes que vienen con sus productos en busca del servicio de molienda, y así es como se pierde trabajo y clientes.

7.- ¿Cree que adquiriendo un molino de martillos se podrían mejorar aspectos como el tiempo y el nivel de producción, así como también la calidad del producto?

Ayudaría mucho a mejorar todo y sobre todo la calidad del grano y cereal partido sería la que quiere el cliente, porque sería mejor aprovechado el maíz y no se desperdiciaría en polvo.

8.- ¿Por qué no ha adquirido un molino de martillos?

Por los precios, en algunos lugares cuestan a partir de dos mil dólares e incluso hay molinos que llegan a costar seis mil dólares. La principal causa es el precio elevado para la situación económica de mi molinera.

9.- ¿Adquiriría un molino de martillos elaborado por estudiantes de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que se ajuste y garantice sus necesidades de producción a un precio relativamente conveniente?

Estaría de acuerdo pero siempre y cuando la máquina sea eficiente y garantice aumentar la producción de mi molinera.

2.7.1. Análisis e interpretación.

La implementación del molino de martillos es importante en la empresa EDREVAL, primeramente porque facilita el proceso de rompimiento del maíz, permitiendo producir maíz partido y todos sus derivados como por ejemplo el morocho y morochillo partido.

También es fundamental para lograr aumentar el nivel de producción de la molinera; ya que con esta máquina adicional a las existentes se puede elaborar otra clase de producto al que ya se elaboraba.

2.8. Tabulación, graficación, análisis e interpretación de los resultados de las encuestas aplicadas a los clientes de la molinera EDREVAL.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se empleó la estadística descriptiva, ya que facilita la descripción e interpretación de las encuestas aplicadas a los clientes de molinera comunitaria EDREVAL.

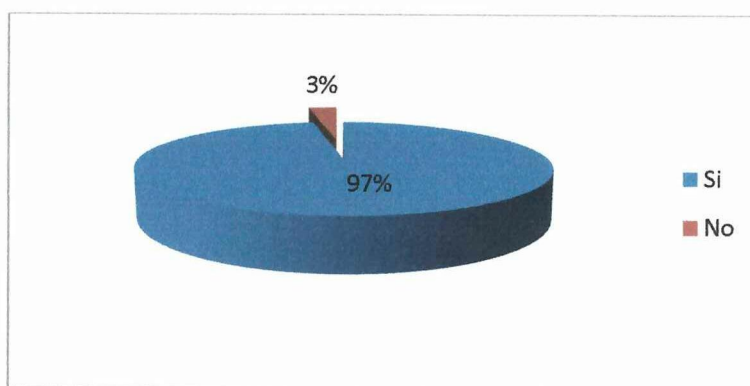
La población encuestada corresponde 72 usuarios y clientes de molinera EDREVAL.

Pregunta N° 1. ¿Es usted cliente frecuente de molinera EDREVAL?

TABLA 2.1. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 1 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	70	97.22
No	2	2.77
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.1. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 1 DE LA ENCUESTA.



¿Es usted cliente frecuente de molinera EDREVAL?

a. Análisis.

El 3% de los encuestados no son clientes frecuentes de la molinera EDREVAL mientras que el 97% si son clientes frecuentes.

b. Interpretación.

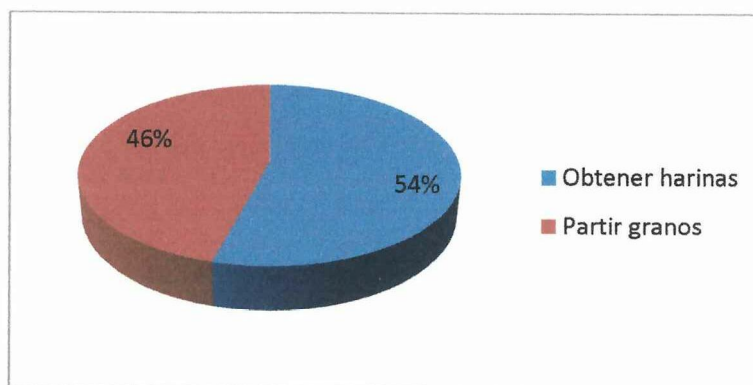
Casi en su totalidad, los encuestados aseguran ser clientes frecuentes de molinera EDREVAL, debido a que son habitantes del barrio Brazales.

Pregunta N° 2. Principalmente ¿para qué tipo de molienda acude a molinera EDREVAL?

TABLA 2.2. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 2 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Obtener harinas	39	54.16
Partir granos	33	45.83
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.2. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 2 DE LA ENCUESTA.



Principalmente ¿para qué tipo de molienda acude a molinera EDREVAL?

a. Análisis.

El 54 % de los encuestados responden que utilizan la molinera para obtener harinas y el 46 % para partir granos.

b. Interpretación.

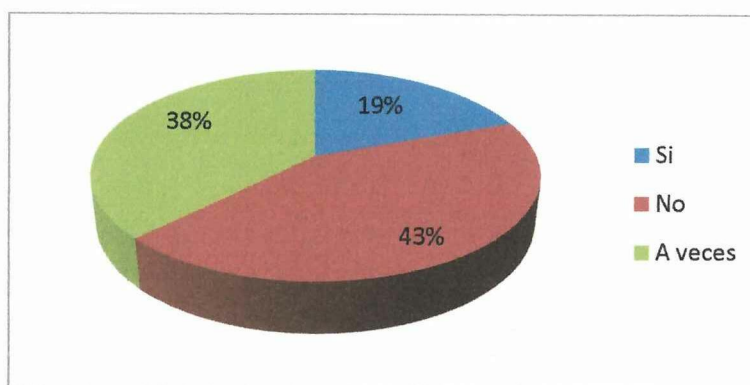
Se revela que los habitantes del Barrio Brazales requieren obtener harinas y también partir granos. Entre estas dos actividades el resultado se encuentra equilibrado. Debido a que los habitantes del sector se dedican en su mayoría a la crianza de aves de corral, necesitan morochillo partido para la alimentación de éstas. Como alimentación de los propios habitantes se necesitan harinas, principalmente de maíz, trigo, haba y también machica.

Pregunta N° 3. Actualmente, ¿considera que el tiempo de espera para obtener su producto procesado por la molinera EDREVAL es aceptable?

TABLA 2.3. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 3 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	14	19.44
No	31	43.05
A veces	27	37.50
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.3. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 3 DE LA ENCUESTA.



Actualmente, ¿considera que el tiempo de espera para obtener su producto procesado por la molinera EDREVAL es aceptable?

a. Análisis.

El 43% de los encuestados consideran que en la molinera siempre existe demora en el procesamiento de la materia prima, el 38% aseguran que simplemente a veces existe la demora, mientras que un 19% afirma que no existe demora en el procesamiento.

b. Interpretación.

La gran mayoría de los clientes de molinera EDREVAL se encuentran poco o nada satisfechos con respecto al tiempo que tienen que esperar para ser atendidos o para que su producto ya procesado sea devuelto a ellos.

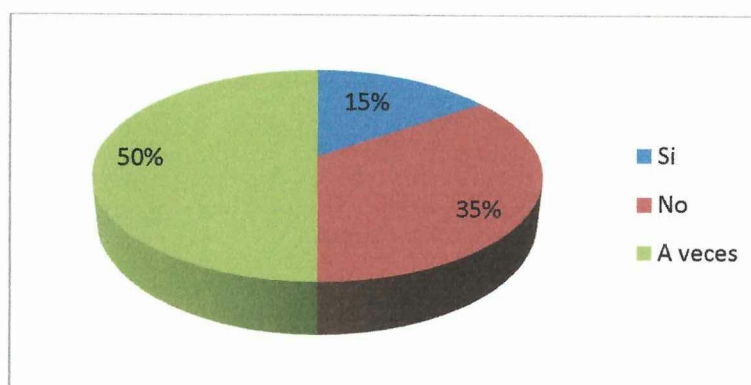


Pregunta N° 4. ¿Molinera EDREVAL cumple con el tiempo establecido para entregarle su producto?

TABLA 2.4. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 4 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	11	15.27
No	25	34.72
A veces	36	50.00
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.4. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 4 DE LA ENCUESTA.



¿Molinera EDREVAL cumple con el tiempo establecido para entregarle su producto?

a. Análisis.

El 50% de los encuestados aseguran que solamente a veces reciben su producto procesado en el tiempo establecido; el 35 % afirma que no la recibe en el tiempo establecido, y el 15% asegura si recibir su producto a tiempo.

b. Interpretación.

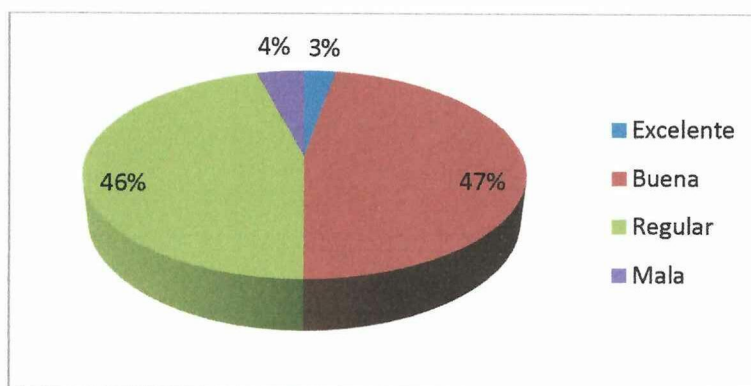
Los usuarios de los servicios que brinda molinera EDREVAL, en su gran mayoría aseguran que existen retrasos y demora en la entrega de sus productos procesados.

Pregunta N° 5. Según su criterio, ¿la calidad del producto que obtiene de molinera EDREVAL es excelente, buena, regular o mala?

TABLA 2.5. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 5 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Excelente	2	2.77
Buena	34	47.22
Regular	33	45.83
Mala	3	4.16
TOTAL	72	99.98

GRÁFICO 2.5. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 5 DE LA ENCUESTA.



Según su criterio, ¿la calidad del producto que obtiene de molinera EDREVAL es excelente, buena, regular o mala?

a. Análisis.

El 47 % de los encuestados considera que la calidad del producto que se obtiene de molinera EDREVAL es buena, el 46% asegura que es regular, 4% dice que es mala y un 3% afirma que es de excelente calidad.

b. Interpretación.

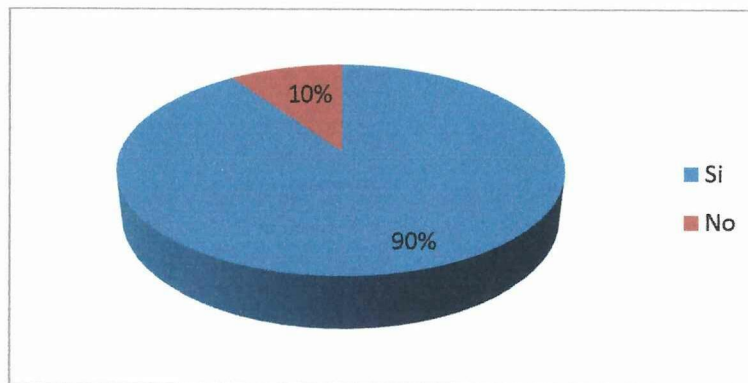
Los resultados evidencian la gran inconformidad que existe en los clientes con respecto a la calidad del producto y sugieren mejorar en este aspecto.

Pregunta N° 6. ¿Cree que es necesario que molinera EDREVAL mejore y tecnifique los procesos de molienda para obtener un producto de calidad?

TABLA 2.6. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 6 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	65	90.27
No	7	9.72
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.6. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 6 DE LA ENCUESTA.



¿Cree que es necesario que molinera EDREVAL mejore y tecnifique los procesos de molienda para obtener un producto de calidad?

a. Análisis.

El 90% de los encuestados consideran que se debe mejorar la calidad del producto y se deben tecnificar los procesos, el 10% se encuentra conforme con la calidad del producto y la maquinaria que posee la molinera.

b. Interpretación.

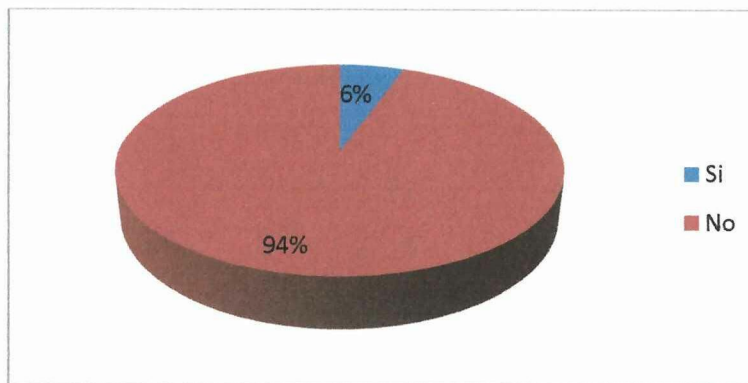
Casi la totalidad de clientes de molinera EDREVAL piensan que mediante la tecnificación de los actuales procesos de molienda se mejoraría la calidad del producto.

Pregunta N° 7. ¿Piensa usted que la maquinaria con la que cuenta actualmente molinera EDREVAL es suficiente para cumplir con sus exigencias en cuanto a tiempo de molienda y calidad de su producto?

TABLA 2.7. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 7 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	4	5.55
No	68	94.44
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.7. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 7 DE LA ENCUESTA.



¿Piensa usted que la maquinaria con que cuenta actualmente molinera EDREVAL es suficiente para cumplir con sus exigencias en cuanto a tiempo de molienda y calidad de su producto?

a. Análisis.

El 94% de los encuestados responden que no es suficiente la maquinaria con la que cuenta actualmente la molinera, el 6% piensa que existe la maquinaria necesaria y apta para el trabajo.

b. Interpretación.

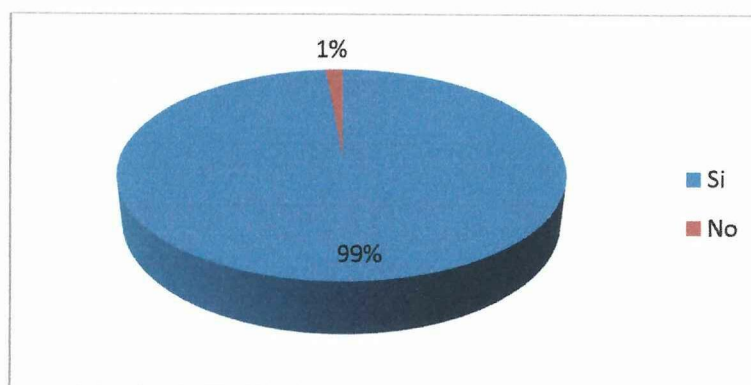
Casi la totalidad de clientes encuestados aceptan que realmente es necesaria la implementación de maquinaria para mejorar aspectos en los cuales se acarrea deficiencias de la empresa.

Pregunta N° 8. ¿Considera usted que en la molinera EDREVAL se necesita implementar un molino de martillos para la trituration de granos secos?

TABLA 2.8. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 8 DE LA ENCUESTA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	71	98.61
No	1	1.38
TOTAL	72	99.99

GRÁFICO 2.8. RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 8 DE LA ENCUESTA.



¿Considera usted que en la molinera EDREVAL se necesita implementar un molino de martillos para la trituration de granos secos?

a. Análisis.

El 99% de las personas encuestadas consideran que es necesario implementar un molino de martillos en la molinera, mientras que el 1% piensa que no es necesario.

b. Interpretación.

De todas las personas encuestadas solo una persona no se encuentra de acuerdo que es necesario implementar un molino de martillos en molinera EDREVAL; las 71 personas restantes piensan que sería buena idea la implementación de este tipo de molino.

2.8.1. Conclusión.

Existen diferentes factores que afectan el nivel de producción de molinera EDREVAL, entre los cuales se puede mencionar que no posee la maquinaria necesaria para cubrir con la demanda de los clientes, esto conlleva a pérdidas de tiempo en cuanto a entrega del producto, por ende malestar e inconformidad en los clientes y a su vez pérdidas económicas para la propia molinera debido a que los clientes optan por recurrir a otras empresas para procesar su materia prima.

Otro problema existente en molinera EDREVAL es la inexistencia de un molino que permita procesar granos para alimentación principalmente de aves de corral; es decir que permita partir el grano sin necesidad de convertirlo en polvo o harina

2.9. Comprobación de la Hipótesis.

El diseño de un molino de martillos para la trituración de granos secos como alternativa para optimizar el crecimiento de la producción, que genere ahorro de tiempo y de energía.

Mediante la aplicación de la encuesta se obtuvo la principal información para conocer la situación real de molinera EDREVAL desde el punto de vista de los usuarios y clientes, el tema planteado por el grupo de investigación se ha desarrollado de acuerdo a las necesidades expuestas por el propietario de molinera EDREVAL y al diagnóstico revelado por los clientes de dicha molinera, con el objetivo de proponer un diseño e implementación de un molino de martillos para optimizar el crecimiento productivo, ya que la mayoría de los clientes que utilizan los servicios de esta empresa manifiestan cierto grado de inconformidad con la calidad del producto que obtienen así como también con el tiempo que se tarda en procesar su materia prima, todos estos factores representan para la empresa pérdidas económicas siendo imperativo realizar un análisis para posteriormente encontrar soluciones que puedan implementarse.

Para lograr superar los inconvenientes de molinera EDREVAL se planteó la implementación del molino de martillos, con el propósito de mejorar la calidad del grano triturado, disminuir el tiempo de producción logrando así ahorro de energía eléctrica.

2.10. Decisión.

Según las conclusiones a las que se han llegado a determinar, al tabular, graficar, analizar e interpretar los resultados obtenidos en la entrevista y la encuesta se acepta la hipótesis presentada en el anteproyecto de este trabajo investigativo.

CAPÍTULO III

CÁLCULO Y DISEÑO DE ELEMENTOS

3.1. Introducción.

La empresa molinera EDREVAL es una de las más populares del barrio Brazales; los moradores de este barrio acuden a procesar su materia prima como: cebada, haba, maíz y sus variedades para obtener harinas de estos productos; pero también se requiere un producto diferente a las harinas, este producto es el maíz partido que sirve principalmente para alimentación de aves de corral.

Molinera EDREVAL cuenta con la maquinaria necesaria para la producción de harinas pero carece de una máquina que permita obtener granos partidos. Este tipo de trituración de granos secos es ampliamente solicitado por los clientes de dicha molinera y para partir los granos simplemente se regula el molino de piedra.

La calidad del grano partido obtenida del molino de piedra no es la apropiada ni del agrado del cliente ya que la materia prima se desperdicia en su gran parte en polvo y harina, siendo este un gran inconveniente que se origina a causa de no emplear un molino adecuado; en este caso para la trituración de granos secos sería un molino de martillos.

El molino de piedra que emplea molinera EDREVAL para la producción de maíz partido utiliza un motor de 16HP, lo cual implica un elevado consumo eléctrico; cabe recalcar que tarda mas tiempo en realizar el proceso de trituración del maíz y el producto obtenido no es de calidad adecuada, debido a que este molino no esta

diseñado para partir granos sino más bien para la elaboración de harinas y de molienda fina.

Los cálculos presentes en este capítulo se desarrollan en base a la potencia del motor y consecuentemente en sus características dinámicas, debido a que molinera EDREVAL cuenta con un motor trifásico de 7,5HP y pidió que se realice el diseño y construcción de la máquina empleando dicho motor.

El proceso de diseño se lo desarrolla en orden lógico y secuencial; Partiendo de las características del motor que se debe implementar. Se realiza un análisis de energía que se debe emplear en el proceso de molienda para posteriormente diseñar el martillo seleccionando un material apropiado con las dimensiones correctas. Posteriormente se procede a diseñar el pasador de los martillos seleccionando el material y las dimensiones pertinentes, ya que cumplirá con la función de soportar la carga aplicada por el conjunto de martillos; para el diseño del eje principal se realiza una selección y dimensionamiento apropiado capaz de soportar cargas axiales debido al peso e inercia que presenta el sistema de trituración, y radiales debido al momento torsor que ejerce el motor en dicho eje.

Finalmente se realiza la selección de poleas conductora y conducida apropiadas para la transmisión de potencia y movimiento; así como también se desarrolla la selección de bandas adecuadas.

En la sección relacionada a la construcción de la máquina se detallan las herramientas y el procedimiento desarrollado para la construcción y montaje de las partes de la maquinaria.

3.2. Análisis y selección de alternativas.

Para plantear una solución a los problemas existentes en molinera EDREVAL, se procede a determinar ciertos factores que conllevan a presentar criterios para la selección de maquinaria así como también a la selección del diseño de su

configuración que presente mayores y mejores ventajas, ya sean estas mecánicas, de producción así como también de mantenimiento. Para ello se elaboran cuadros en las que se analizan y califican características y propiedades que permitan obtener mejores resultados.

A continuación en la TABLA 3.1. se analizan diferentes tipos de molinos y según las características se las valora de 1 a 10, siendo 1 la calificación mas baja y 10 es excelente.

TABLA 3.1. CALIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MOLINOS.

TIPO DE MOLINO	MOLIENDA SECA	CALIDAD DE TRITURACIÓN DE GRANO	RESISTENCIA DE ELEMENTOS AL DESGASTE	UNIFORMIDAD DE PRODUCTO TERMINADO	VALORACIÓN
De discos.	7	3	3	7	20
De rodillos.	3	5	7	3	18
De bolas.	5	5	7	3	20
De martillos.	10	9	7	9	35

Fuente: Varios autores.

Elaboración: Grupo investigador.

Después de haber desarrollado el análisis cualitativo y cuantitativo del tipo de molino que presenta mejores ventajas en cuanto a los requerimientos de molinera EDREVAL, se evidencia la amplia superioridad que presenta un molino de martillos a diferencia de otros en relación a la trituration de granos secos; por consiguiente se selecciona esta alternativa.

Para el proceso de diseño del disco porta martillos en el molino se presentan algunas configuraciones como se muestran en la FIGURA 1.14.

A continuación en la TABLA 3.2. se analizan las diferentes configuraciones de discos porta martillos, sus características se las va valorando de 1 a 10, siendo 1 la calificación mas baja y 10 es excelente.



**TABLA 3.2. CALIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE DISCO PORTA
MARTILLOS.**

TIPO DE DISCO	LIVIANO	BALANCEO	RESISTENCIA A FISURAS	ABARCA MAYOR NÚMERO DE MARTILLOS	VALORACIÓN
Triangular	9	1	3	3	16
Cuadrangular	8	5	3	5	21
Circular	6	9	8	8	31

Fuente: Varios autores.

Elaboración: Grupo investigador.

Una vez valoradas las características que presentan los diferentes tipos de discos porta martillos, se evidencia la superioridad que presenta un disco circular; por consiguiente se selecciona esta alternativa.

Para conservar las ventajas que presenta un disco circular se opta por instalar la cantidad de cuatro pasadores que cumplirán con la función de eje de giro de los martillos, cada uno de estos serán colocados con una separación de noventa grados. (ver FIGURA 1.15)

3.3. Justificación.

El proceso de molienda así como también la maquinaria que se emplea para dicho proceso es importante para obtener un producto de calidad. En el caso de EDREVAL se debe emplear la maquinaria adecuada para cada tipo de molienda, ya que esta tiene que ver directamente con la calidad de producto final y con la productividad de la empresa.

En las empresas molineras, el proceso de molienda o trituración influye mucho en la calidad obtenida en el producto final, puesto que es en esta etapa en la que se consigue según los requerimientos del cliente ya sean harinas o simplemente granos partidos.

Consecuentemente es importante contar con la maquinaria que permita y facilite la elaboración de los productos que el cliente requiera. Un correcto uso de la maquinaria permite un consumo adecuado de energía eléctrica y optimización del tiempo de producción.

El presente proyecto es factible ya que cuenta con los recursos humanos, materiales, técnicos y financieros para el diseño, construcción, así como también para la implementación en la molinera EDREVAL de un molino de martillos que permite la trituración de granos secos.

3.4. Parámetros de diseño.

Después de haber conocido los inconvenientes que se presentan en la molinera comunitaria EDREVAL y luego de haber realizado el análisis estadístico adecuado, se considera que la manera apropiada del presente trabajo investigativo se lo desarrolle en base a los resultados obtenidos en la entrevista y encuestas, que son presentadas en el capítulo anterior, teniendo:

- Un gran porcentaje de clientes buscan partir granos en lugar de obtener harinas. (Preguntas 2, 5 y 7 de la encuesta; 4 y 5 de la entrevista).
- Demoras en el proceso de molienda y consecuentemente en la entrega de producto. (Preguntas 3, 4 y 7 de la encuesta; 6 y 7 de la entrevista).
- Calidad del grano partido no cumple con los requerimientos del cliente. (Preguntas 5, 6 y 7 de la encuesta; 4 y 5 de la entrevista).
- Se necesita implementar un molino de martillos adecuada para la trituración de granos secos. (Preguntas 6, 7 y 8 de la encuesta; 1, 7, 8 y 9 de la entrevista).
- Precio de adquisición del molino elevado con relación a los ingresos de molinera EDREVAL. (Pregunta 8 de la entrevista).
- Maquinaria ineficiente para el proceso de trituración de granos secos. (Pregunta 6 y 7 de la encuesta; 7 de la entrevista).

De acuerdo a los criterios antes mencionados, se diseñará un molino de martillos en base a la potencia del motor, ya que molinera EDREVAL solicitó que la máquina sea diseñada en base a un motor que posee de 7.5 HP a 1800 RPM que cumpla con los siguientes parámetros:

- Permita la trituración de granos secos, especialmente maíz duro, comúnmente conocido como morochillo.
- Calidad del producto óptima. (Alcanzar un valor mínimo de desperdicio de materia prima en polvo, aproximado a 5% en relación a la producción).
- Mayor capacidad de producción. (Producir en promedio 12 quintales por hora.)
- Tiempo de producción reducido.
- Potencia apropiada para el proceso de trituración considerándose también la capacidad de producción y el consumo de energía eléctrica. (Emplear un motor de bajo consumo energético, es decir menor de 10 HP).
- Utilización de elementos fácilmente reemplazables.
- Fácil operación y mantenimiento.
- Alimentación del maíz puede ser regulada según los requerimientos.
- Seguridad del operario.

3.5. Propuesta.

Considerando los parámetros y necesidades antes mencionados se diseñará y construirá un molino de martillos que permita la trituración de granos y cereales secos.

La operación de dicho molino se lleva a cabo a través de un motor eléctrico que acciona un sistema de transmisión de potencia por bandas que se encuentran acopladas a un eje, el cual permite soportar el sistema de trituración así como también de transmitir el movimiento y la potencia necesaria para realizar el trabajo.

La alimentación del material a ser triturado se lo realizará mediante la tolva de ingreso, esta posee un determinado ángulo de caída que permite que el material fluya sin mayor complicación según la regulación de la compuerta de entrada que determine o crea necesaria el operario hacia la cámara de trituración; una vez que los granos ingresan a la cámara de trituración los martillos son los encargados de partirlos y triturarlos hasta que estos logren atravesar los orificios designados en el tamiz.

Finalmente para la salida del material también se empleará una tolva pero en este caso será una tolva de salida, en la cual se podrá colocar un saquillo que reciba los granos ya procesados.

Esta máquina será de fácil montaje y desmontaje de sus elementos para facilitar un correcto mantenimiento de sus componentes.

3.6. Objetivos.

3.6.1. Objetivo general.

Diseñar un molino de martillos e implementarlo en la Molinera EDREVAL, para elevar su nivel de producción y a la vez generar crecimiento económico, optimizando tiempo y recursos.

3.6.2. Objetivos específicos.

- Analizar las concepciones teóricas acerca de la estructura y la composición técnica de un molino de martillos en el proceso de trituración de granos secos para elevar el nivel de productividad.
- Determinar el análisis estructural de un molino de martillos que se adapte a las necesidades de la molinera EDREVAL.

- Implementar un molino de martillos de acuerdo con las especificaciones técnicas que mejoren la eficiencia de triturado de granos secos.

3.7. Cálculo y análisis de diseño.

Es de gran importancia tomar en consideración los factores de diseño antes ya mencionados para poder encaminar el análisis y los cálculos de la mejor manera, obteniendo así un diseño que cumpla con los requerimientos planteados.

Para entender de mejor manera la sección de cálculos se presenta el ANEXO 14, en el que se describe la simbología empleada para el desarrollo de las ecuaciones durante el proceso de diseño.

3.7.1. Características del motor eléctrico.

En vista de que molinera EDREVAL cuenta con un motor que presenta las características que se pueden observar en la TABLA 3.3., el proceso de diseño y cálculos partirán de estos datos, ya que se debe implementarlo en la molino de martillos que se construirá.

TABLA 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR A SER UTILIZADO.

	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA	7,5	HP
VELOC. ANGULAR	1800	RPM
VOLTAJE	220	V

Fuente: Datos proporcionados en la placa del motor

3.7.2. Requisito de energía para triturar maíz duro.

De acuerdo a experimentaciones realizadas, empleando el ensayo de ruptura presentado en el primer capítulo, se llega a determinar mediante la ecuación (1.12)

que la energía necesaria para triturar una masa de 10 gramos de grano de maíz duro es equivalente a la energía potencial de un cuerpo de acero de masa igual a 290 gramos a una altura de 50 cm.

$$E_p = m_m * g * h \quad (\text{Ec.1.12})$$

$$E_p = 0.29 \text{ Kg} * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0.5 \text{ m})$$

$$E_p = 1.421 \text{ J}$$

3.7.2.1. *Velocidad tangencial del extremo del martillo.*

Para determinar la velocidad tangencial a la que debe girar el extremo del martillo para lograr generar la energía potencial antes mencionada, se igualan las ecuaciones de la energía cinética (1.11) y potencial (1.12). de la siguiente manera:

$$E_c = E_p$$

$$\frac{1}{2} * m_g * V^2 = m_m * g * h$$

Se despeja la velocidad tangencial y se obtiene:

$$V = \sqrt{\frac{2 * m_m * g * h}{m_g}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 * (290 \text{ g}) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0.5 \text{ m})}{3,2 \text{ g}}}$$

$$V = 29.8 \text{ m/s}$$

La velocidad tangencial que debe generarse en el extremo del martillo es 29.8 m/s.

Para determinar la velocidad tangencial real del extremo del martillo se considera el coeficiente de fluctuación de la máquina. Este coeficiente varía entre 0.015 y

0.025 (ver TABLA 1.6); en este caso se tomará un valor medio de los recomendados y se lo determina mediante la ecuación (1.31):

$$V_r = -V \frac{c_s+2}{c_s-2} \quad (\text{Ec.1.31})$$

$$V_r = -\left(29.8 \frac{m}{s}\right) \left(\frac{0.02+2}{0.02-2}\right)$$

$$V_r = 30.4 \frac{m}{s}$$

En consecuencia la velocidad tangencial necesaria en el extremo del martillo para generar la energía necesaria es de 30.4 m/s.

3.7.3. *Diseño del martillo.*

Al ser una máquina para producir alimento de consumo animal, la directiva de máquinas 2006/42/CE de la Unión Europea indica que se debe utilizar acero de aleación especial, resistente a la abrasión por impacto y rozamiento, capaz de resistir a la corrosión atmosférica, se opta por al acero que bajo norma ASTM se lo denomina A 517; cuyas propiedades se muestran en la TABLA 3.4.

TABLA 3.4. PROPIEDADES ACERO ASTM: A 517

ACERO ASTM: A 517		
Carbono	0,20	%
Silicio	0,30	%
Manganeso	1	%
Cromo	0,60	%
Molibdeno	0,25	%
Vanadio	0,08	%
Titanio	0,03	%
Límite de fluencia	70	Kg/mm ²
Resistencia a la tracción	120	Kg/mm ²
Dureza	321-360	HB
Densidad	7840	Kg/m ³
Módulo de Elasticidad	2100000	Kg/cm ²

Fuente: Catálogo BOEHLER.

Elaboración: Grupo Investigador.

Después de pruebas realizadas (ver ANEXO 15) se determinó que la velocidad de rotación del sistema de trituración para obtener un producto adecuado sin desperdicio en polvo de la materia prima debe oscilar entre 1330 RPM y 1490 RPM (140 rad/s y 156 rad/s respectivamente); se determinó también que el disco porta martillos debe construirse con un radio comprendido entre 120 y 135 mm para minimizar fuerzas inerciales debidas a la rotación, en este caso se adoptarán valores medios. Se utilizará la ecuación (1.4).

$$V_r = \omega * R \quad (\text{Ec.1.4})$$

Se sustituye la medida del radio por la longitud ideal libre del martillo sumada al radio del disco porta martillos con un valor de 127mm; luego se puede despejar el valor de la longitud del martillo y se obtiene:

$$V_r = \omega * (L + r_d)$$

$$L = \frac{V_r}{\omega} - r_d$$

$$L = \frac{30.4 \text{ m/s}}{148 \text{ rad/s}} - 0.127 \text{ m}$$

$$L = 0.078 \text{ m} \approx 0.08 \text{ m}$$

Es necesario considerar también una longitud extra para efectos de sujeción, por lo tanto se adopta:

$$L_r = 0.1 \text{ m}$$

La velocidad angular apropiada para la molienda de granos oscila entre 1330 y 1490 RPM (140 y 156 rad/s), se procede a calcular con un valor intermedio y considerando unas pérdidas de 2% que se producen a causa de la inercia rotacional de los martillos debido a la transmisión del movimiento se obtiene:

$$\omega_c = 0.98 \omega$$

$$\omega_c = 0.98 \left(148 \frac{rad}{s} \right)$$

$$\omega_c = 145 \frac{rad}{s}$$

El desplazamiento angular θ entre cada intervalo de trituración es de $\frac{\pi}{2}$ rad, puesto que el diseño constará de 4 hileras de tornillos, en la periferia del disco porta martillos mediante la ecuación (1.37).

$$\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_c^2}{2\theta} \quad (\text{Ec. 1.37})$$

$$\alpha = \frac{\left(148 \frac{rad}{s} \right)^2 - \left(145 \frac{rad}{s} \right)^2}{2 \left(\frac{\pi}{2} \right)}$$

$$\alpha = 279.79 \frac{rad}{s^2}$$

El momento de inercia de 1 martillo con respecto a su eje de giro esta dado por:

$$I_0 = \frac{1}{12} * m_m * L_r^2$$

$$I_0 = \frac{1}{12} * 0.29 \text{ Kg} * (0.1 \text{ m})^2$$

$$I_0 = 2.417 * 10^{-4} \text{ Kg. m}^2$$

Después de haber determinado el momento de inercia se puede determinar el momento producido por la fuerza de corte mediante la ecuación (1.10).

$$M = I_0 * \alpha \quad (\text{Ec. 1.10})$$

$$M = 2.417 * 10^{-4} \text{ Kg. m}^2 * \left(279.79 \frac{rad}{s^2} \right)$$

$$M = 0.068 \text{ Nm}$$

La fuerza de corte ideal del martillo se lo puede determinar mediante su momento producido por dicha fuerza aplicando la ecuación (1.9).

$$M = F_1 * L_r \quad (\text{Ec.1.9})$$

$$F_1 = \frac{M}{L_r}$$

$$F_1 = \frac{0.068 \text{ N.m}}{0.1 \text{ m}}$$

$$F_1 = 0.68 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza de corte, es posible calcular la fuerza producida por el motor para luego obtener la fuerza total generada mediante la ecuación (1.36).

$$P = \tau * \omega \quad (\text{Ec.1.36})$$

$$\tau = \frac{P}{\omega}$$

$$\tau = \frac{7.5 \text{ HP s}}{148 \text{ rad}} * \frac{746 \text{ Nm}}{1 \text{ HP s}}$$

$$\tau = 37.8 \text{ Nm}$$

Con el torque del motor ya determinado se procede a establecer la fuerza desarrollada por el motor mediante la ecuación (1.7); considerando a la longitud total como la sumatoria del radio del disco porta martillos y la longitud libre del martillo.

$$\tau = F \cdot L \quad (\text{Ec.1.7})$$

$$\tau = F_2 * (L + r_d)$$

$$F_2 = \frac{\tau}{(0.08 + 0.127)}$$

$$F_2 = \frac{37.8 \text{ Nm}}{0.207 \text{ m}}$$

$$F_2 = 182.61 \text{ N}$$

La fuerza total producida es de:

$$F_T = F_1 + F_2$$

$$F_T = 0.68 \text{ N} + 182.61 \text{ N}$$

$$F_T = 183.29 \text{ N}$$



El momento total generado es de:

$$M_T = M + \tau$$

$$M_T = 0.068 Nm + 37.8 Nm$$

$$M_T = 37.87 Nm$$

3.7.3.1. Módulo de resistencia del martillo y dimensiones.

Con estos datos se puede obtener el módulo de resistencia del martillo en base al esfuerzo permisible en el mismo, tomando en consideración y como criterio de diseño un 60% del límite de fluencia del acero ($S_y = 385 * 10^6 \frac{N}{m^2}$).

$$\sigma_b = 0.6 S_y \quad (\text{Criterio de diseño}).$$

Se obtiene además la ecuación (1.15).

$$\sigma_b = \frac{M_T}{S} \quad (\text{Ec.1.15})$$

Se relacionan las 2 igualdades de la siguiente manera para obtener el módulo de resistencia del martillo:

$$0.6 S_y = \frac{M_T}{S}$$

$$S = \frac{M_T}{0.6 S_y}$$

$$S = \frac{37.87 Nm}{0.6 (385 * 10^6) \frac{N}{m^2}}$$

$$S = 1.64 * 10^{-7} m^3 * \frac{1000^3 mm^3}{1 m^3}$$

$$S = 164 mm^3$$

Con este dato se determina el módulo de resistencia del martillo empleando la ecuación (1.13), asumiendo un factor de seguridad de $n = 4.5$.

$$S_r = n * S \quad (\text{Ec.1.13})$$

$$S_r = 4.5 * (164 \text{ mm}^3)$$

$$S_r = 738 \text{ mm}^3$$

Se emplea la ecuación (1.16) en la cual se considera el módulo de resistencia del martillo en relación a la base y altura; se asume un espesor del martillo $b = 10 \text{ mm}$ y se obtiene la altura respectiva del martillo.

$$S = \frac{b * h^2}{6} \quad (\text{Ec.1.16})$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * S}{b}}$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * 738 \text{ mm}^3}{10 \text{ mm}}}$$

$$h \approx 22 \text{ mm}$$

Es necesaria la comprobación del diseño, considerando la deformación máxima permisible en el extremo del martillo, como dato adicional se tiene el módulo de elasticidad (E) del acero ASTM A517, ver TABLA 3.3.

Se considera una deformación relativamente pequeña de 3.5 micrometros como un criterio de diseño.

$$\delta = 3.5 \text{ um} = 3.5 * 10^{-6} \text{ m} \quad \text{Criterio de diseño}$$

$$E = 2100000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ Kg}} * \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 2.058 * 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Usando la ecuación dada en el ANEXO 5 en la cual se considera la fuerza en el extremo de una viga de sección uniforme. En este caso el martillo.

$$\delta = \frac{F_T L^3}{3 EI}$$

Se requiere así determinar la inercia ideal de la sección rectangular del martillo despejando de la ecuación anterior.

$$I = \frac{F_T L^3}{3 E \delta}$$

$$I = \frac{(183.29 \text{ N})(0.08 \text{ m})^3}{3 \left(2.058 * 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) (3.5 * 10^{-6} \text{ m})}$$

$$I = 4.34 * 10^{-8} \text{ m}^4 * \frac{1000^4 \text{ mm}^4}{1 \text{ m}^4}$$

$$I = 43428.42 \text{ mm}^4$$

Con este dato de la inercia ideal del martillo se procede a utilizar la siguiente ecuación dada en el ANEXO 4 en la cual se establece el momento de inercia de un cuerpo en relación a su área para poder determinar la altura ideal del martillo.

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 * I}{b}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 * 43428.42 \text{ mm}^4}{10 \text{ mm}}}$$

$$h = 37.35 \text{ mm}$$

$$h \approx 38 \text{ mm}$$

Una vez determinadas las dimensiones del martillo, se debe calcular la masa de este elemento mecánico para verificar la masa experimental con la cual inició el diseño. Tomando como dato la densidad del acero ASTM A517 se obtiene:

$$d = \frac{m_m}{V_m}$$

$$m_m = d * V_m$$

$$m_m = d * b * h * L_r$$

$$m_m = 7840 \frac{Kg}{m^3} * (0.01m) * (0.038m) * (0.1m)$$

$$m_m = 0.298 Kg$$

Es un valor muy cercano al experimental, por lo tanto se acepta.

3.7.4. *Diseño del pasador de los martillos.*

Se requiere colocar 12 martillos en cada pasador y para evitar deflexiones, así como también desalineamientos, se sugiere 4 discos porta martillos, para minimizar el efecto de las vibraciones excesivas; cabe mencionar que no son necesarios los 4 discos por necesidad de resistencia mecánica, pero si por criterio de diseño para la facilidad de su mantenimiento posterior, dividiendo la sección de trituración en tres zonas; por lo tanto la longitud requerida es de:

$$L_p = \text{Espesor martillos} + \text{Espacios de holgura} + \text{Espesor discos} \\ + \text{Holgura adic.}$$

$$L_p = (12 * b) + (15 * b) + 4(e) + 1$$

$$L_p = (12 * 10) + (15 * 10) + 4(6) + 1$$

$$L_p = 295 mm$$

Una vez considerada la longitud del pasador se procede a calcular la carga equivalente del sistema mediante la ecuación (1.18):

$$q = \frac{m*a}{L} \quad (\text{Ec.1.18})$$

La masa que debe soportar el pasador incluye la masa del disco porta martillos y la masa del martillo. Se considera la aceleración de la gravedad debido a que soporta el peso producido por dichos cuerpos, y se obtiene la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(m_d + m_m) * g}{L_p}$$

$$q = \frac{[4(3.38 \text{ Kg}) + 12(0.298 \text{ Kg})] * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}{0.295 \text{ m}}$$

$$q = 567.93 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Con la carga obtenida es factible determinar las reacciones en los apoyos que se genera mediante la ecuación (1.19) de cargas en el centro del eje sobre apoyos simples:

$$A_y = B_y = \frac{q * L_p}{2} \quad (\text{Ec. 1.19})$$

$$A_y = B_y = \frac{567.93 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0.295 \text{ m}}{2}$$

$$A_y = B_y = 83.77 \text{ N}$$

Posteriormente se establece la fuerza cortante en el pasador a través de la ecuación (1.20):

$$\int_{A_y}^{V_p} dV_p = \int_0^x -q * dx \quad (\text{Ec. 1.20):}$$

$$\int_{83.77}^{V_p} dV_p = \int_0^x -567.93 * dx$$

$$V_p - 83.77 = -567.93x$$

$$V_p - 83.77 = -567.93x$$

$$V_p = 83.77 - 567.93x$$

Dado el resultado anterior, se determina el momento flector en el pasador a través de la ecuación (1.21):

$$\int_0^M dM_p = \int_0^x V_p * dx \quad (\text{Ec. 1.21):}$$

$$M_p - 0 = \int_0^x (83.77 - 567.93x) * dx$$

$$M_p = 83.77x - 567.93 \frac{x^2}{2}$$

El momento máximo se produce, cuando la fuerza cortante es mínima (cero), por lo tanto:

$$V_p = 0$$

$$0 = 83.77 - 567.93x$$

$$x = \frac{83.77}{567.93}$$

$$x = 0.1475 \text{ m}$$

Ya establecido el valor de x, se reemplaza para obtener el valor del momento flector máximo:

$$M_{p \text{ máx}} = 83.77(0.1475) - 567.93 \frac{(0.1475)^2}{2}$$

$$M_{p \text{ máx}} = 6.178 \text{ Nm}$$

Dado que el esfuerzo en torsión es nulo se deduce que el esfuerzo cortante total es igual al esfuerzo que presenta el eje en flexión. Partiendo de la Ecuación (1.23) y verificando la sección del eje en el ANEXO 6 se obtiene:

$$\tau_{xy} = \tau_{\text{torsión}} + \tau_{\text{flexión}}$$

Conociendo que:

$$\tau_{\text{flexión}} = \frac{M}{S} \quad (\text{Ec.1.23})$$

$$\tau_{xy} = 0 + \frac{M_{p \text{ máx}}}{S_p}$$

$$\tau_{xy} = \frac{M_{p \text{ máx}}}{\frac{\pi d^3}{32}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{6.178 \text{ Nm}}{\frac{\pi d_p^3}{32}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{62.93}{d_p^3}$$

3.7.4.1. *Determinación del diámetro del pasador.*

Se escogerá el Acero St-37, equivalente al Acero A570 Gr 36, cuyas propiedades mecánicas se muestran en el ANEXO 13 y así se obtiene el esfuerzo permisible del pasador mediante:

$$\sigma_{perm} = 0.6 S_y$$

$$\sigma_{perm} = 0.6 (247.94 * 10^6 Pa)$$

$$\sigma_{perm} = 148.76 * 10^6 Pa$$

Utilizando un factor de seguridad $n = 10$, debido a que su funcionamiento no será estático, puesto que estará en constante rotación, aunque sin el efecto del momento torsor del motor, y se producirán fuerzas dinámicas que pueden llevar a la falla por fatiga, es por esta razón que se opta por un factor de seguridad elevado, así se reduce casi en su totalidad la posibilidad de falla en el elemento se emplea la ecuación (1.14) de la siguiente manera.

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\tau_{xy}} \quad (\text{Ec.1.14})$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_{perm}}{n}$$

$$\frac{62.93}{d_p^3} = \frac{148.76 * 10^6}{10}$$

$$d_p = 0.01617 \text{ m}$$

$$d_p \approx 17 \text{ mm}$$

La medida del diámetro apta para la construcción del pasador de los martillos se considera de 17 mm.

3.7.5. *Diseño del eje principal.*

Como ya se mencionó anteriormente, existirán 4 pasadores colocados en la periferia del disco porta martillos, por lo que se procederá a estimar la longitud del

eje principal, así como la carga total aplicada sobre el mismo. Para la longitud se debe tomar en cuenta el espacio necesario para la colocación de las chumaceras, acoplamiento de poleas y espacios necesarios para evitar atascamiento de la misma, por lo tanto se adopta:

$$L_e = 585 \text{ mm}$$

Una vez considerada la longitud del eje se procede a calcular la carga equivalente del sistema mediante la ecuación (1.18):

$$q = \frac{m \cdot a}{L} \quad (\text{Ec.1.18})$$

La masa que debe soportar el eje comprende la masa de los 4 pasadores, adicionalmente soportará 4 veces la carga calculada en la sección anterior en la que se considera la masa de los martillos y la masa de los 4 discos porta martillos. Se considera la aceleración de la gravedad debido a que soporta el peso producido por dichos cuerpos, y se obtiene la siguiente ecuación:

$$q_e = 4q + \frac{4(m_p) \cdot g}{L_e}$$

$$q_e = 4 \left(567.93 \frac{N}{m} \right) + \frac{[4(0.619 \text{ Kg})] \cdot 9.8 \frac{m}{s^2}}{0.585 \text{ m}}$$

$$q_e = 2313.2 \frac{N}{m}$$

Luego es factible determinar las reacciones en los apoyos que se genera mediante la ecuación de cargas en el centro del eje sobre apoyos simples (1.19):

$$A_{ye} = B_{ye} = \frac{q_e \cdot L_e}{2} \quad (\text{Ec.1.19})$$

$$A_{ye} = B_{ye} = \frac{2313.2 \frac{N}{m} \cdot 0.585 \text{ m}}{2}$$

$$A_{ye} = B_{ye} = 676.61 \text{ N}$$

Posteriormente se establece la fuerza cortante en el eje a través de la ecuación (1.20):

$$\int_{A_y}^{V_p} dV_{pe} = \int_0^x -q_e * dx \quad (\text{Ec.1.20})$$

$$\int_{676.61}^{V_{pe}} dV_{pe} = \int_0^x -2313.2 * dx$$

$$V_{p_{676.61}}^{V_{pe}} = -2313.2x_0^x$$

$$V_{pe} - 676.61 = -2313.2x$$

$$V_{pe} = 676.61 - 2313.2x$$

Dado el resultado anterior, se determina el momento flector en el eje a través de la ecuación (1.21):

$$\int_0^M dM_{pe} = \int_0^x V_{pe} * dx \quad (\text{Ec.1.21})$$

$$M_{pe_0}^M = \int_0^x (676.61 - 2313.2x) * dx$$

$$M_{pe} = 676.61x - 2313.2 \frac{x^2}{2}$$

El momento máximo se produce, cuando la fuerza cortante es mínima (cero), por lo tanto:

$$V_{pe} = 0$$

$$0 = 676.61 - 2313.2x$$

$$x = \frac{676.61}{2313.2}$$

$$x = 0.2925 \text{ m}$$

Ya establecido el valor de x, se reemplaza para obtener el valor del momento flector máximo en el eje:

$$M_{pe \text{ máx}} = 676.61(0.2925) - 2313.2 \frac{(0.2925)^2}{2}$$

$$M_{pe \text{ máx}} = 98.954 \text{ Nm}$$

El esfuerzo cortante total en el eje es igual al esfuerzo que presenta el eje en torsión agregado al esfuerzo en flexión. Partiendo de la ecuación (1.23) y verificando la sección del eje en el ANEXO 6 para el módulo de sección en esfuerzo por flexión, y ANEXO 7 para módulo de sección en esfuerzo por torsión, se obtiene:

$$\tau_{xy} = \tau_{torsión} + \tau_{flexión}$$

Conociendo que:

$$\tau = \frac{M}{S} \quad (\text{Ec.1.23})$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 \tau}{\pi (d_e^3)} + \frac{M_{pe \text{ máx}}}{S_e}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 \tau}{\pi (d_e^3)} + \frac{M_A}{\frac{\pi d_e^3}{32}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 (37.8 \text{ Nm})}{\pi (d_e^3)} + \frac{98.954 \text{ Nm}}{\frac{\pi d_e^3}{32}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{192.51}{d_e^3} + \frac{1007.94}{d_e^3}$$

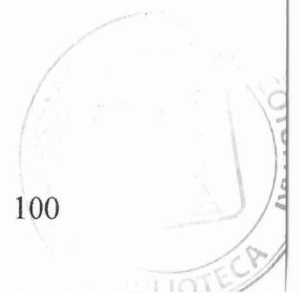
$$\tau_{xy} = \frac{1200.45}{d_e^3}$$

3.7.5.1. Determinación del diámetro del eje.

Se escogerá el Acero de transmisión AISI 1020, cuyas propiedades mecánicas se muestran en el ANEXO 13, con esto es factible determinar el esfuerzo permisible del pasador mediante:

$$\sigma_{perm} = 0.6 S_y$$

$$\sigma_{perm} = 0.6 (205 * 10^6 \text{ Pa})$$



$$\sigma_{perm} = 123 * 10^6 Pa$$

Utilizando un factor de seguridad $n = 10$, debido a que durante su funcionamiento el eje soportará fuerzas dinámicas elevadas; se puede establecer el diámetro del eje mediante la ecuación (1.14).

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\tau_{xy}} \quad (\text{Ec.1.14})$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_{perm}}{n}$$

$$\frac{1200.45}{d_e^3} = \frac{123 * 10^6 Pa}{10}$$

$$d_e = 0.04604 m$$

$$d_e \approx 50 mm$$

Con este diámetro se debe seleccionar el rodamiento y la polea, pero se presenta un inconveniente, en el catálogo de la FAG para rodamientos no existe un diámetro similar a $50 mm$; del mismo modo, no existe una polea estandarizada con el diámetro del agujero del valor mencionado, por lo que se optará por seleccionar un diámetro menor estandarizado, minimizando a la vez el efecto adverso producido por la concentración de esfuerzos en el chavetero. Así pues el diámetro elegido para el acoplamiento será de:

$$d_a = 19 mm$$

3.7.6. Selección de poleas.

En vista de que las 1800 RPM – 1750 RPM que entrega el motor resultan ser una velocidad angular elevada para el tipo de molienda que se pretende para la trituración del maíz duro, debido a que a esta velocidad el maíz tiende a golpear violentamente contra las paredes de la cámara de trituración y este producto tiende prácticamente a pulverizarse, es decir a generar partículas muy pequeñas que a la final se considera como desperdicio en polvo, se debe considerar reducir a un

rango comprendido entre 1330 RPM y 1490 RPM debido a que entre estas velocidades el producto tiende a ser uniforme y genera poco desperdicio en polvo.

Entonces se optará por un sistema de poleas reductor, es decir que la velocidad que transmite la polea conductora se reduzca para el sistema de trituración mediante un mayor diámetro en su polea conducida.

Considerando una polea de 4 pulgadas de diámetro como polea conductora y sustituyendo los respectivos valores de velocidades en la ecuación (1.35) se podrá obtener el diámetro de la polea conducida.

$$n1 \cdot d1 = n2 \cdot d2 \quad (\text{Ec.1.35})$$

$$d2 = \frac{n1 \times d1}{n2}$$

$$d2 = \frac{1750 \text{ RPM} \times 4 \text{ plg}}{1400 \text{ RPM}}$$

$$d2 = 5 \text{ plg}$$

3.7.7. Selección de banda.

Luego de haber determinado los diámetros de las poleas conductoras y conducidas, adicionalmente contando como dato con la potencia del motor se puede establecer mediante la TABLA 1.8 (secciones de bandas en V) que:

- **Sección de la banda:** A.
- **Ancho:** ½ plg.
- **Espesor:** 11/32 plg.
- **Diámetro mínimo de polea:** 3.
- **Intervalo de potencia:** ¼ - 10 HP.

Según catálogos se considera que la Banda AX62 del catálogo DAYTON cumple con los requerimientos solicitados y por lo tanto es la seleccionada.

Adicionalmente como consideracion de seguridad se colocarán 2 bandas debido a que el sistema de trituración genera una gran inercia.

3.7.8. Selección del rodamiento.

Para seleccionar el rodamiento es indispensable considerar factores como la potencia del motor (P), la velocidad angular del motor (ω_e) y la velocidad recomendada para la molienda (ω).

$$P = 7.5Hp$$

$$\omega_e = 1750 \text{ rpm}$$

$$\omega = 1400 \text{ rpm}$$

Adicionalmente se tiene como dato principal que la carga radial (F_r) debe ser la reacción en los apoyos presente en el eje principal (A_{ye}) que se encarga de transmitir el movimiento rotacional a todo el sistema.

$$F_r = A_{ye} = 676.61 \text{ N}$$

Debido a que la transmisión del movimiento se realiza por bandas se asume una confiabilidad (R) con pérdidas del 10%.

$$R = 90\%$$

Para la correcta selección del rodamiento se debe determinar tanto la capacidad de carga estática como también de carga dinámica. La capacidad de carga estática viene dada por la ecuación (1.25) y se obtiene:

$$C_o = f_s * PO \quad (\text{Ec.1.25})$$

En el rodamiento para considerarse una carga radial pura esta debe ser igual a la carga estática.

$$PO = F_r$$

$$PO = 676.61 \text{ N}$$

Se toma el factor de esfuerzo estático ($f_s = 2.5$), para exigencias elevadas de operación.

$$C_o = f_s * PO$$

$$C_o = f_s * F_r$$

$$C_o = (2.5)(676.61\text{N})$$

$$C_o = 1691.53 \text{ N}$$

Es indispensable determinar la capacidad de carga dinámica que soporta el rodamiento, para ello se utiliza la ecuación (1.26).

$$C = PO * \sqrt[p]{\frac{L_{h10} * \omega * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}} \quad (\text{Ec.1.26})$$

El catálogo de le FAG manifiesta que el factor de esfuerzos dinámicos para rodamientos en máquinas en las que se emplea un par motor para generar una fuerza de corte o trituración rotativa puede ser de 3 a 4.5. Se considera entonces un factor intermedio de 3.75 para el molino de martillos.

$$f_L = 3 \dots \dots 4,5$$

$$f_L = 3.75$$

El exponente de vida del rodamiento se elige si es para rodamiento de bolas o para rodamiento de rodillos. Se escoge entonces para un rodamiento de bolas debido a que las cargas axiales no son mayor inconveniente en el molino de martillos.

$$p = 3 \text{ (rodamiento de bolas)}$$

Con los datos anteriores es factible determinar el tiempo de vida del rodamiento mediante la ecuación (1.27):

$$L_{h10} = f_L^p * 500 \quad (\text{Ec.1.27})$$

$$L_{h10} = (3.75)^3 * 500$$

$$L_{h10} = 26367,1875 \text{ horas de funcionamiento}$$

Posteriormente es posible determinar el factor de probabilidad de falla (a_1) en relación a la confiabilidad (R) que se detalló anteriormente.

Para $R = 90\%$ el factor de probabilidad de falla es: $a_1 = 1$

Para hallar el factor a_{23} , primero se halla el factor $a_{23 II}$, en la tabla correspondiente se muestra que:

$$a_{23 II} = 1.7$$

Se utiliza la ecuación (1.28) para determinar el factor para el material y condiciones de servicio, conociendo que la constante de lubricación normal para un rodamiento es 1 se obtiene:

$$s = 1, \text{Lubricación normal}$$

$$a_{23} = a_{23 II} * s \quad (\text{Ec.1.28})$$

$$a_{23} = 1.7 * 1$$

$$a_{23} = 1.7$$

Finalmente con todos los parámetros debidamente calculados sustituimos en la ecuación (1.26) y se obtiene la carga dinámica que soporta el rodamiento.

$$C = PO * \sqrt[3]{\frac{L_{h10} * \omega * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}} \quad (\text{Ec.1.26})$$

$$C = (676.61 \text{ N}) * \sqrt[3]{\frac{26367,1875 * 1400 * 60}{1000000 * 1 * 1.7}}$$

$$C = 7389.86 \text{ N}$$

Con estos valores de $C_o = 1691.53 N$ y $C = 7389.86 N$, se busca en el catálogo de la FAG y se selecciona el respectivo rodamiento.

Para el caso del presente proyecto y en base a los cálculos desarrollados se elige un rodamiento **16003** de la FAG, cuyo diámetro interno es $dr = 19mm$; el mismo que es apropiado para el eje de la máquina.

3.8. Construcción de la máquina.

En esta sección se describen las etapas de construcción y montaje del molino de martillos; también se detalla el tipo de maquinaria empleada así como también de los instrumentos de medición utilizados y la descripción de la elaboración de cada uno de los elementos de la máquina.

3.8.1. Maquinaria empleada.

En la TABLA 3.5. se puede observar la maquinaria empleada para la construcción del molino de martillos.

TABLA 3.5. MAQUINARIA EMPLEADA

MÁQUINA	CÓDIGO
Taladro eléctrico	M-1
Amoladora	M-2
Torno	M-3
Dobladora	M-4
Soldadora eléctrica	M-5
Taladro de pedestal	M-6
Baroladora	M-7
Cizalla manual	M-8
Sierra de vaivén	M-9
Sierra	M-10
Equipo de oxicorte	M-11

Fuente: Grupo investigador.

Elaboración: Grupo investigador.

3.8.2. Instrumentos de medida.

En la TABLA 3.6. se detallan los instrumentos empleados para la medición y verificación de las dimensiones de elementos durante el proceso de construcción del molino de martillos.

TABLA 3.6. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

INSTRUMENTO	CÓDIGO
Flexómetro	I-1
Escuadra	I-2
Calibrador pie de rey	I-3
Micrómetro	I-4

Fuente: Grupo investigador.

Elaboración: Grupo investigador.

3.8.3. Herramientas de taller.

En la TABLA 3.7. se detallan las herramientas necesarias para la construcción del molino de martillos.

TABLA 3.7. HERRAMIENTAS DE TALLER

HERRAMIENTA	CÓDIGO
Rayador	HE-1
Sierra	HE-2
Cuchilla	HE-3
Compás	HE-4
Macho de roscar	HE-5
Cemento de contacto	HE-6
Lima	HE-7
Llaves mecánicas	HE-8

Fuente: Grupo investigador.

Elaboración: Grupo investigador.

3.8.4. Etapas de construcción.

Las etapas que se describen a continuación detallan el proceso de construcción del molino de martillos.

3.8.4.1. Construcción del eje principal.

Se inicia con el corte del eje a las dimensiones aproximadas con M-9, después se refrenta con M-3 las superficies laterales y se perfora un centro de guía (ver FIGURA 3.1.). Se fija el eje para cilindrar las secciones hasta conseguir las dimensiones y comprobarlas con I-3 para posteriormente ajustar las dimensiones finales y comprobarlas con I-4.

Las características para la construcción del eje se pueden consultar en el ANEXO 11.13.

FIGURA 3.1. TORNEADO DEL EJE PRINCIPAL.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.2. Construcción de los martillos.

Se procede con HE-1 e I-3 a trazar las dimensiones sobre el material, posteriormente se realiza el corte con M-2; posteriormente se comprueban las medidas con I-3, luego se maquinan hasta obtener las dimensiones finales.

Finalmente con M-6 se realizan las perforaciones en los puntos apropiados y se comprueba nuevamente con I-3 (ver FIGURA 3.2.).

Las características para la construcción de los martillos se pueden consultar en el ANEXO 11.16.

FIGURA 3.2. PERFORACIÓN DE MARTILLOS.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.3. Construcción de los bocines.

Con HE-1 e I-3 se trazan las guías en el material para luego proceder a cortar con HE-2. Se comprueban las dimensiones con I-4. Finalmente se procede a limar la parte interna de los bocines y los bordes con HE-7 (ver FIGURA 3.3.). Las características para la construcción de los bocines se pueden consultar en el ANEXO 11.15.

FIGURA 3.3. ALISAMIENTO INTERNO Y DE BORDES DE LOS BOCINES.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.4. Construcción de los discos porta martillos.

Se trazan las dimensiones aproximadas con HE-1 y HE-4 para posteriormente realizar el corte con M-2 comprobando con I-1 (ver FIGURA 3.4), luego se maquinan hasta obtener las dimensiones finales, se taladran los agujeros para los pernos en M-6 comprobando las dimensiones con I-4.

Luego se trazan los cubos partidos con HE-1 e I-3 y se cortan con M-2, las dimensiones se comprueban con I-3 y se maquinan hasta las dimensiones finales, se perforan los agujeros para pernos en M-6, se sueldan los cubos a los discos con M-5.

Las características para la construcción de los discos porta martillos se pueden consultar en el ANEXO 11.14.

FIGURA 3.4. TRAZO DE CIRCUNFERENCIA PREVIA AL CORTE.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.5. Construcción de la cámara de trituración y tapa.

Se trazan las dimensiones con HE-1, I-2 y HE-4, luego se procede a cortar con M-11 (ver FIGURA 3.5.), comprobando las dimensiones con I-1 y su perpendicularidad con I-2. Posteriormente se procede al decapado de los filos con M-2. En las placas por las que atraviesa el eje se trazan el centro para el agujero por donde atravesará. Se procede a soldar con M-5 los ángulos de acero que servirán de base para las chumaceras en estas placas. Una vez alineados el eje con



sus respectivas chumaceras y las placas que conformaran la cámara de trituración se procede con M-1 a taladrar en el ángulo de acero a los agujeros de sujeción de las chumaceras, los agujeros en los cuales van pernos se roscan con HE-5 a la medida necesaria. Se realiza el corte para la ubicación de las tolvas de entrada así como la de salida con M-11 y se pulen los bordes con M-2. Finalmente las placas se unen perpendicularmente con referencia de I-2 y comprobando sus dimensiones con I-1 para soldarlas con M-5.

Se procede a la construcción de la tapa trazando las dimensiones en la plancha de acero ST. 37 con HE-1 y HE-4, se realiza el corte con M-11 y se decapa los filos con M-2; posteriormente se realiza el barolado con el radio deseado en M-7. Una vez listas las placas se las centra utilizando I-2 y se verifica sus dimensiones con I-1 para proceder con la suelta con M-5. Una vez lista la estructura se sueldan 34 varillas internamente en la parte superior de la carcasa con M-5. Las características para la construcción de la cámara de trituración y su tapa se pueden consultar en el ANEXO 11.4, ANEXO 11.5 Y ANEXO 11.6.

FIGURA 3.5. CORTE DE PLACAS PARA CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA DE TRITURACIÓN.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.6. Construcción de la base del molino.

Para la construcción de los pilares de soporte se deben trazar las dimensiones que se necesiten sobre los ángulos con HE-1, luego se corta con HE-2 y se comprueba sus dimensiones con I-1.

Para la elaboración del cuadro de la base del motor se procede con HE-1 a señalar las dimensiones deseadas sobre la lamina de acero y se procede con HE-2 al corte.

Con I-2 se realizan las mediciones para el centramiento de las 4 láminas que servirán de unión de los 4 pilares y además como punto de anclaje de la máquina. Se sueldan con M-5 los pilares y las láminas que conforman el cuadro de anclaje (ver FIGURA 3.6.).

Las características para la construcción de la base del molino se pueden consultar en el ANEXO 11.18 Y ANEXO 11.19.

FIGURA 3.6. SOLDADURA ENTRE BASE DEL MOLINO Y CÁMARA DE TRITURACIÓN.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.7. Construcción del tamiz.

Se trazan las dimensiones adecuadas con HE-1 e I-1 y se realiza el corte con M-2, se comprobaran las dimensiones con I-1.

Se procede a señalar los centros de los orificios del tamiz con HE-1 y con M-1 se taladran los agujeros; finalmente se barola la plancha con el radio apropiado en

M-7 (ver FIGURA 3.7), comprobando las dimensiones con I-1 hasta obtener las dimensiones requeridas.

Las características para la construcción del tamiz se pueden consultar en el ANEXO 11.9.

FIGURA 3.7. EMBAROLAMIENTO DE PLANCHA.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.8. Construcción del soporte del motor.

Se trazan las dimensiones apropiadas sobre la plancha de acero con HE-1 y con I-2, se procede a cortar con M-11 y a corregir las fallas de los filos con M-2, se procede a realizar el taladrado de agujeros para los pernos que sujetarán al motor con M-1 (ver FIGURA 3.8.).

Las características para la construcción del soporte del motor se pueden consultar en el ANEXO 11.20.

FIGURA 3.8. TALADRADO DE AGUJEROS EN BASE DEL MOTOR.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.9. Construcción de la tolva.

Para construir la tolva se empieza trazando sobre la plancha de acero con HE-1 y I-2 las dimensiones apropiadas para posteriormente cortarla con M-11 y se decapan los filos con M-2 (ver FIGURA 3.9.); se comprueban las dimensiones con I-1, se sueldan entre sí las placas recortadas con M-5 y se comprueban nuevamente las dimensiones con I-1 y la perpendicularidad con I-2.

Las características para la construcción de la tolva se pueden consultar en el ANEXO 11.10.

FIGURA 3.9. DECAPADO DE FILOS PREVIOS A SOLDADURA.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.10. Construcción del protector de la banda.

Se empieza trazando las dimensiones necesarias con HE-1 y con I-2. Se realiza el corte con M-11. Se comprueba las dimensiones con I-1 e I-2. Una vez que se comprueban las dimensiones se realizado el barolado de los extremos de la carcasa protectora con M-7 comprobando las dimensiones con I-1 (ver FIGURA 3.10) y una vez obtenido las medidas deseadas se procede a soldar los elementos con M-5.

Las características para la construcción de la carcasa protectora de la banda se pueden consultar en el ANEXO 11.21.

FIGURA 3.10. ESTRUCTURA DOBLADA Y BAROLADA PREVIA A LA SOLDADURA.



Fuente: Grupo investigador.

3.8.4.11. Montaje de elementos y construcción del molino de martillos.

- **Montaje de elementos de la estructura externa del molino de martillos.**

Para ensamblar los elementos de la estructura externa del molino de martillos se consideran los siguientes procedimientos:

Se suelda los pilares de la base del molino con la cámara inferior de trituración mediante M-5 (ver FIGURA 3.11.), se comprueban las dimensiones con I-1 e I-2.

FIGURA 3.11. SOLDADURA ENTRE BASE DEL MOLINO Y CÁMARA DE TRITURACIÓN.



Fuente: Grupo investigador.

Se coloca la tapa superior de la cámara de trituración y una vez que hayan encajado perfectamente se procede a tomar medidas con I-2 para ubicar las

bisagras en donde sea considerado necesario y se sueldan con M-5 con el objetivo de poder abrir y cerrar el conjunto de estas dos estructuras que conforman la cámara de trituración (ver FIGURA 3.12.).

FIGURA 3.12. UNIÓN DE TAPA SUPERIOR Y PARTE INFERIOR DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN.



Fuente: Grupo investigador.

Se coloca la tolva de ingreso de granos de tal forma que encaje perfectamente con el orificio de ingreso ubicado en la tapa superior de la cámara de trituración y se procede a soldar el conjunto con M-5.

Se suelda con M-5 la tolva de salida (ver FIGURA 3.13.) en el orificio previamente ubicado en la parte inferior de la cámara de trituración.

FIGURA 3.13. SOLDADURA ENTRE TOLVA Y TAPA SUPERIOR DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN.



Fuente: Grupo investigador.

La base del motor se la suelda en la base del molino con M-5 (ver FIGURA 3.14.) comprobando previamente las dimensiones de ubicación con I-1 e I-2.

FIGURA 3.14. SOLDADURA ENTRE LA BASE DEL MOTOR Y LA BASE DEL MOLINO.



Fuente: Grupo investigador.

Se toman medidas en el orificio de la base de la tolva con I-1 e I-2 con el fin de ubicar el actuador de peso, considerando que debe existir una holgura necesaria para que pueda oscilar libremente el actuador.

Posteriormente con M-5 se suelda la bisagra que permitirá oscilar el actuador con respecto a la base de la tolva. Adicionalmente se ubica la base donde irá sujeto el final de carrera que permitirá realizar el apagado automático de la máquina soldándola con M-5 en la base de la tolva.

- ***Montaje de elementos de la estructura interna del molino de martillos.***

Para ensamblar los elementos de la estructura interna del molino de martillos se consideran los siguientes procedimientos:

Se colocan los 4 discos porta martillos en el eje principal hasta que coincidan los chaveteros de este con los agujeros de los cubos de los discos para poder colocar los pernos y ajustarlos con HE-8 (ver FIGURA 3.15. y 3.16).

FIGURA 3.15. COLOCACIÓN DE DISCOS EN EL EJE PRINCIPAL DEL MOLINO.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.16. DISCOS UBICADOS CORRECTAMENTE EN EL EJE DEL MOLINO.



Fuente: Grupo investigador.

Se atraviesa a los discos porta martillos con el eje de soporte de los martillos, colocando progresiva y alternadamente los martillos y los bocines hasta llegar al último disco para ajustarlo con su respectiva tuerca con HE-8 (ver FIGURA 3.17).

Repetir este mismo procedimiento con los 3 ejes restantes de soporte de martillos.

Se debe tomar en cuenta la secuencia de martillos y bocines para obtener el conjunto armado correctamente (ver FIGURA 3.18.).

FIGURA 3.17. COLOCACIÓN DE EJE DE MARTILLOS, MARTILLOS Y BOCINES.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.18. EJE, DISCOS, EJE DE MARTILLOS, MARTILLOS Y BOCINES ENSAMBLADOS.



Fuente: Grupo investigador.

Instalar las chumaceras en el eje principal ajustándolas posteriormente entre sí (ver FIGURA 3.19.).

Luego se coloca todo este conjunto sobre los ángulos destinados como bases de las chumaceras ubicados en la parte exterior de la cámara de trituración y se ajustan a los respectivos pernos con HE-8 (ver FIGURA 3.20).

FIGURA 3.19. COLOCACIÓN DE CHUMACERAS EN EL EJE.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.20. AJUSTE DE CHUMACERAS.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.21. CONJUNTO ENSAMBLADO Y MONTADO.



Fuente: Grupo investigador.

Se sitúa la polea conducida en el extremo del eje principal ajustándolas entre sí (ver FIGURA 3.22); se ajustan los prisioneros y la tuerca del eje principal con HE-8 (ver FIGURA 3.23).

FIGURA 3.22. COLOCACIÓN DE LA POLEA EN EL EJE PRINCIPAL.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.23. AJUSTE DE LA POLEA AL EJE.



Fuente: Grupo investigador.

Colocar las bandas entre la polea conductora del motor y la polea conducida del eje (ver FIGURA 3.24.); una vez que encajen perfectamente se aplica el temple necesario aplicando presión con HE-9 sobre el motor y ajustándolo a su respectiva base con sus pernos mediante HE-8.

FIGURA 3.24. COLOCACIÓN DE LA POLEA EN EL EJE DEL MOTOR.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.25. DISPOSICIÓN DE BANDAS.



Fuente: Grupo investigador.

Finalmente se instala la carcasa protectora de las bandas ubicando sus uniones en sus respectivas bases y se realiza el ajuste con HE-8 (ver FIGURA 3.27.).

FIGURA 3.26. BASES DE LA CARCAZA PROTECTORA DE LA BANDA.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.27. CARCAZA PROTECTORA DE LA BANDA INSTALADA.



Fuente: Grupo investigador.

FIGURA 3.28. MOLINO DE MARTILLOS ENSAMBLADO.



Fuente: Grupo investigador.




CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Eficiencia del proyecto.

El presente proyecto toma en consideración aspectos tales como la eficiencia energética, el tiempo de molienda y la calidad del producto para determinar su verdadero aporte en molinera comunitaria EDREVAL. Para un mejor entendimiento se presenta la TABLA 4.1. en la que se puede observar las ventajas y beneficios que presenta la implementación del molino de martillos.

TABLA 4.1. COMPARACIÓN ENTRE MAQUINARIA EXISTENTE EN MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL.

MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL			
TIPO DE MOLINO	MOTOR	TIEMPO DE MOLIENDA	CALIDAD DEL PRODUCTO
Molino de piedra horizontal	20 HP	6 min 18 seg. cada quintal	
Molino de piedra vertical	20 HP	5 min 41 seg. cada quintal	
Molino de martillos	7.5 HP	4 min 32 seg. cada quintal	

Fuente: Molinera Comunitaria EDREVAL.

Elaboración: Grupo investigador.

Debido a que el molino de martillos implementado posee la ventaja de regulación de ingreso de materia prima a la cámara de trituración, consecuentemente también genera la ventaja de regular el tiempo de producción, siendo este un aspecto que varía la calidad del producto. Para un mejor entendimiento de esta relación entre la velocidad de ingreso a la cámara de trituración y la calidad del producto se recomienda ver la TABLA 4.2.

TABLA 4.2. CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO SEGÚN VELOCIDAD DE MOLIENDA.

MOLINO DE MARTILLOS			
NIVEL DE REGULACIÓN	VELOCIDAD DE INGRESO DE MATERIA PRIMA	TIEMPO DE MOLIENDA	CALIDAD DEL PRODUCTO
1		5 min 46 seg. cada quintal	
2		4 min 32 seg. cada quintal	
3		3 min 57 seg. cada quintal	

Fuente: Molinera Comunitaria EDREVAL.

Elaboración: Grupo investigador.

Se recomienda por lo tanto trabajar con el nivel de regulación intermedia que permite obtener una excelente calidad del producto en un tiempo aceptable.

4.2. Conclusiones.

- Un molino de martillos con un motor de potencia relativamente bajo en comparación a los existentes, tarda menos tiempo en triturar el grano que

otros tipos de molinos, generando así un considerable ahorro de energía eléctrica.

- El tiempo de molienda de un molino de martillos es reducido en comparación a los molinos de piedra con los que cuenta molinera EDREVAL.
- En el diseño del molino de martillos se tomaron en cuenta una gran variedad de aspectos técnicos que se enmarcan en satisfacer las necesidades productivas y los requerimientos tanto del productor como también del consumidor.
- La implementación de un molino de martillos en la empresa EDREVAL, permitió la trituración de granos secos, especialmente de maíz duro, cumpliendo así los requerimientos de calidad en la molienda que sus clientes esperaban, por tanto la implementación de esta maquinaria fue de primordial importancia.
- La implementación del molino de martillos en molinera EDREVAL admitió triturar el maíz duro sin desperdiciarlo en polvo, generando así un producto de calidad y del agrado del cliente.

4.3. Recomendaciones.

- Buscar fuentes bibliográficas necesarias y aptas para comprender la ciencia y la materia de la investigación.
- Durante el proceso de construcción de la máquina es importante usar los equipos de protección personal para evitar lesiones o accidentes.
- Para evitar fallas en el funcionamiento de la máquina se recomienda verificar su integridad antes de cada molienda y realizar un correcto mantenimiento de la maquinaria.

- Emplear la maquinaria adecuada para cada tipo de molienda.
- Verificar el correcto dimensionamiento de los elementos que componen el molino de martillos durante el proceso de diseño.
- Realizar las pruebas que sean necesarias hasta corregir errores de funcionamiento.

Bibliografía.

- **ALONSO, Marcelo. ROJO, Onofre.** FÍSICA, MECÁNICA Y TERMODINÁMICA. Estados Unidos: Addison – Wesley Iberoamericana. Delaware, 1986 (Pág. 89).
- **ARAYA, Julio.** Producción de Harinas. Tesis para obtención de título Técnico Universitario en Industria Alimentaria. Universidad de Santiago de Chile. (Chile), 1996, (pág.31).
- **AVALLONE, Eugene A.** MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO. 9ª Edición. 1995.
- **BUDYNAS, Richard, NISBETT, Keith.** DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY. Octava edición. McGraw Hill. (Pág. 4-5).
- Enciclopedia Ilustrada Cumbre, segunda edición del año 2000.
- FAG, Manual Para Rodamientos, 2011.
- **GERE, James M.** MECANICA DE MATERIALES. México: Thomson Learning, 2002.
- **GIECK, Kurt, GIECK, Reiner.** MANUAL DE FORMULAS TÉCNICAS. México D.F. mayo 2003.
- **HART, Fischer.** ANÁLISIS MODERNO DE LOS ALIMENTOS. Editorial Acribia. Zaragoza (España), 1991 (Pág.1–2).
- Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), “Sistema agroalimentario del maíz”, 2010.
- **LARBURU, Nicolás.** MÁQUINAS PRONTUARIO. España, 2003.

- **McCORMAC**, Jack C. DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS. México. 1972.
- **MOTT**, Robert L. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, Prentice Hall, México. 2000.
- **SHIGLEY**, Joseph. EL PROYECTO EN INGENIERÍA MECÁNICA. 8ª Edición. 2010.
- **VALLEJO**, Patricio, **ZAMBRANO**, Jorge. FÍSICA VECTORIAL, Tomo II. 1995.
- **WENDORF**, Fred. THE PREHISTORY OF WADI KUBBANIYA Vol. 2. 1999

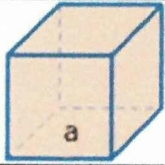
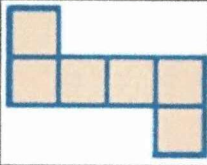
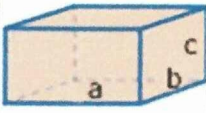
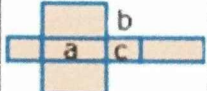
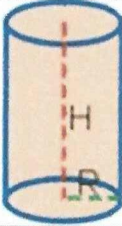
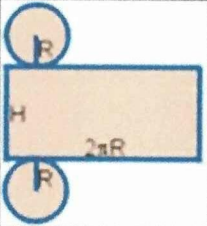

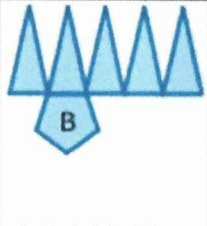
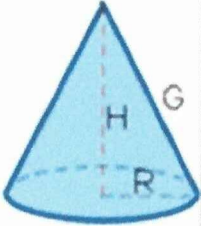
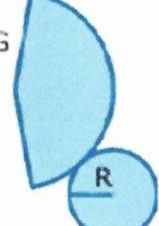
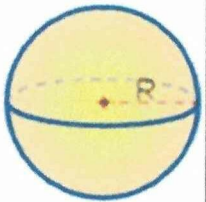
Bibliografía virtual.

1. Gramíneas Comestibles . [En línea] [Citado el: 7 de abril de 2013.] www.definición.org.com.
2. monografias.com. [En línea] [Citado el: 25 de abril de 2013.] <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/image001.jpg>.
3. Tipos de maíz. [En línea] [Citado el: 9 de abril de 2013.] <http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/602-tipos-de-maiz-2/>.
4. Patagonia express. [En línea] [Citado el: 10 de abril de 2013.] http://www.patagoniaexpress.com/nant_fach.htm.
5. Olmo.pntic. [En línea] [Citado el: 14 de abril de 2013.] http://www.patagoniaexpress.com/nant_fach.htm.
6. Molino de Bolas y cilindros. [En línea] [Citado el: 18 de abril de 2013.] <http://www.monografias.com/trabajos55/analisis-volumetrico/analisis-volumetrico2.shtml>.
7. **Monografias.com**. Molinos de rodillos. [En línea] [Citado el: 21 de abril de 2013.] <http://www.monografias.com/trabajos55/analisis-volumetrico/analisis-volumetrico2.shtml>.

8. **UDEA.** Docencia. [En línea] [Citado el: 23 de abril de 2013.]
www.docencia.udea.edu.co.



ANEXO 1. ÁREA Y VOLUMEN DE CUERPOS GEOMÉTRICOS

NOMBRE	DIBUJO	DESARROLLO	ÁREA	VOLUMEN
Cubo o Hexaedro: ortoedro donde las tres dimensiones son iguales.			$A=6a^2$	$V=a^3$
Paralelepípedo u ortoedro: prisma cuyas bases son dos rectángulos.			$A=2(ab+ac+bc)$	$V=abc$
Cilindro: es el cuerpo geométrico engendrado por la revolución de un rectángulo alrededor de uno de sus lados.			$A=2\pi r(H+r)$	$V=\pi r^2 \cdot H$
Pirámide: Cuerpo geométrico cuya base es un polígono cualquiera y sus caras laterales triángulos.			$A=A_{base} + A_{lateral}$	$V=\frac{1}{3} B \cdot H$
Cono: Es el cuerpo geométrico engendrado por la revolución de un triángulo rectángulo alrededor de uno.			$A=A_{base} + A_{lateral}$	$V=\frac{1}{3} \pi r^2 \cdot H$
Esfera: cuerpo geométrico engendrado por la revolución completa de un semicírculo alrededor de su diámetro.			$A=4\pi R^2$	$V=\frac{4}{3} \pi R^3$

Fuente: <http://blog.educastur.es/navegamos/files/2008/05/cuadro-de-cuerpos-geometricos.gif>

ANEXO 2. FACTORES DE CONVERSIÓN

LONGITUD	
1 centímetro	0,3937 pulgadas
1 pulgada	2,54 centímetros
1 metro	3,2808 pies 39,370 pulgadas 1,0936 yardas
1 kilómetro	0,6214 millas
1 milla	1,6093 kilómetros

MASA	
1 kilogramo	2,2046 libras 1.000 gramos
1 libra	453,592 gramos 0,4536 kilogramos
1 tonelada, UK	2.240 libras 1.016,05 kilogramos 1,01605 toneladas (métricas) 1,12 toneladas US 20 owt
1 tonelada	1.000 kilogramos 0,98421 toneladas UK 1.10231 toneladas US 2.204,62 libras
1 tonelada US	2.000 libras 17,8572 cwt 907,184 kilogramos 0.907184 toneladas 0,89286 toneladas UK

ENERGÍA	
1 kilovatio	1,3405 caballos vapor
1 caballo vapor	0,746 kilovatios
1 kilojoule	0.2389 kilocalorías 0,948 BTU 0,001 megajoules 0,00027778 kilovatio horas
1 kilovatio hora	3.412 BTU 1,34 caballo vapor/hora 3.600 kilojoules

FUERZA	
1 dina	1×10^{-5} Newtons
1 kgf (kilogramo-fuerza)	9,806 650 Newtons
1 lbf (libra-fuerza)	4,448 222 Newtons
1 poundal	$1,382\ 550 \times 10^{-1}$ Newtons

Volumen

Unidad	cm ³	l	m ³ (SI)	pulgada ³	pie ³	galón
1 cm ³	1	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$6,1024 \times 10^{-2}$	$3,5315 \times 10^{-5}$	$2,6417 \times 10^{-4}$
1 l	1 000	1	$1,0 \times 10^{-3}$	61,024	$3,5315 \times 10^{-2}$	0,26417
1 m ³ (SI)	$1,0 \times 10^6$	1 000	1	$61,1024 \times 10^4$	35,315	264,17
1 pulgada ³	16,387	$1,6387 \times 10^{-2}$	$1,6387 \times 10^{-5}$	1	$5,7870 \times 10^{-4}$	$4,3290 \times 10^{-3}$
1 pie ³	28 317	28,317	$2,8317 \times 10^{-2}$	1 728	1	7,4805
1 galón	3 785,4	3,7854	$3,7854 \times 10^{-3}$	231	0,13368	1

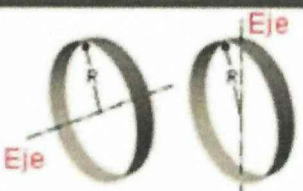
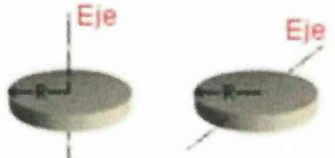
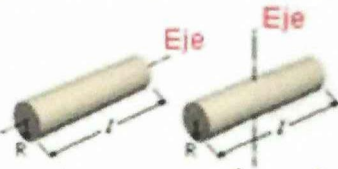
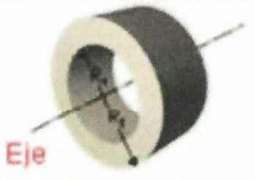



Densidad

Unidad	dina/cm ²	N/m ² (SI)	atm	kg _f /cm ²	mm Hg	pulg Hg	lb _f /pulg ²
1 dina/cm ²	1	0,1	$9,8692 \times 10^{-7}$	$1,0197 \times 10^{-6}$	$7,5006 \times 10^{-4}$	$2,9530 \times 10^{-5}$	$1,4504 \times 10^{-5}$
1 N/m ² (SI)	10	1	$9,8692 \times 10^{-6}$	$1,0197 \times 10^{-5}$	$7,5006 \times 10^{-3}$	$2,9530 \times 10^{-4}$	$1,4504 \times 10^{-4}$
1 atm	$1,0133 \times 10^6$	$1,0133 \times 10^5$	1	1,0332	760	29,921	14,696
1 kg _f /cm ²	$9,8067 \times 10^5$	$9,8067 \times 10^4$	0,96784	1	735,56	28,959	14,223
1 mm Hg	1 333,2	133,32	$1,3158 \times 10^{-3}$	$1,3595 \times 10^{-3}$	1	$3,9370 \times 10^{-2}$	$1,9337 \times 10^{-2}$
1 pulg Hg	$3,3864 \times 10^4$	3 386,4	$3,3421 \times 10^{-2}$	$3,4532 \times 10^{-2}$	25,4	1	0,49115
1 lb _f /pulg ²	$6,8948 \times 10^4$	6 894,8	$6,8046 \times 10^{-2}$	$7,0307 \times 10^{-2}$	51,715	2,0360	1

Fuente: Varios autores.

Elaboración: Grupo investigador.

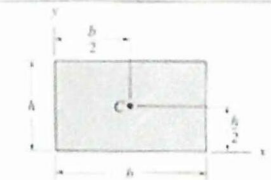
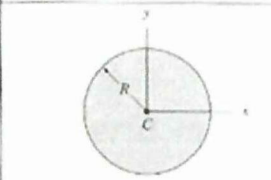
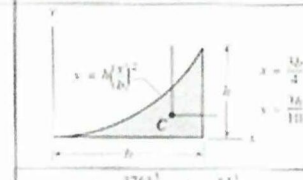
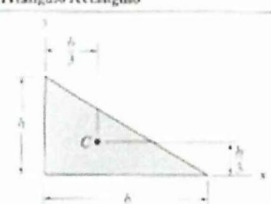
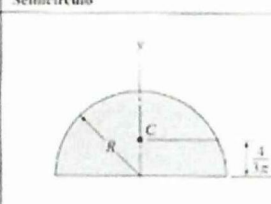
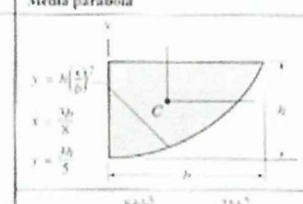
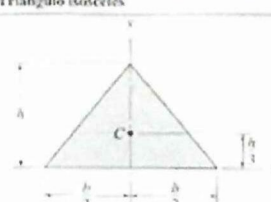
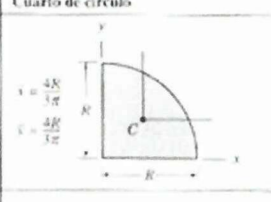
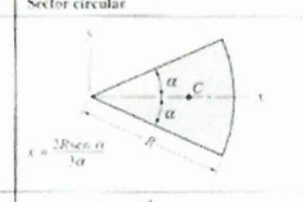
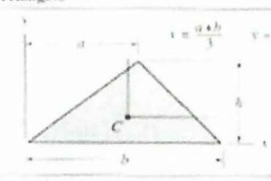
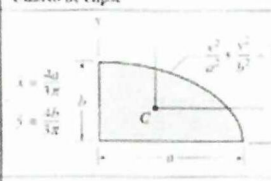
ANEXO 3. MOMENTOS DE INERCIA.

Anillo	Disco sólido	Cilindro macizo	
 $I = mR^2$ $I = \frac{1}{2}mR^2$	 $I = \frac{1}{2}mR^2$ $I = \frac{1}{4}mR^2$	 $I = \frac{1}{2}mR^2$ $I = \frac{mR^2}{4} + \frac{ml^2}{12}$	
Cilindro hueco	Barra delgada	Esfera maciza	Esfera hueca
 $I = \frac{1}{2}m(R_1^2 + R_2^2)$	 $I = \frac{1}{12}ml^2$	 $I = \frac{2}{5}mR^2$	 $I = \frac{2}{3}mR^2$

Fuente: [http://www.orp.cl/archivos/ks_tarea_04_\(apuntes\).pdf](http://www.orp.cl/archivos/ks_tarea_04_(apuntes).pdf)

ANEXO 4. MOMENTO DE INERCIA EN RELACION AL ÁREA DEL CUERPO.

Área momento de inercia

<p>Rectángulo</p>  <p> $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3h}{12}$ $I_{xy} = 0$ $I_x = \frac{bh^3}{3}$ $I_y = \frac{b^3h}{3}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{4}$ </p>	<p>Círculo</p>  <p> $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{4}$ $I_{xy} = 0$ </p>	<p>Media parabólica complementaria</p>  <p> $I_x = \frac{376h^3}{2100}$ $I_y = \frac{66b^3}{21}$ $I_x = \frac{6^3h}{80}$ $I_y = \frac{b^3h}{5}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{120}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{12}$ </p>
<p>Triángulo rectángulo</p>  <p> $I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{b^3h}{36}$ $I_{xy} = -\frac{b^2h^2}{72}$ $I_x = \frac{bh^3}{32}$ $I_y = \frac{b^3h}{12}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{24}$ </p>	<p>Semicírculo</p>  <p> $I_x = 0.10988R^4$ $I_{xy} = 0$ $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{8}$ $I_{xy} = 0$ </p>	<p>Media parábola</p>  <p> $I_x = \frac{8bh^3}{175}$ $I_y = \frac{2bh^3}{7}$ $I_x = \frac{19b^3h}{480}$ $I_y = \frac{2b^3h}{15}$ $I_{xy} = -\frac{b^2h^2}{60}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{6}$ </p>
<p>Triángulo isósceles</p>  <p> $I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{b^3h}{48}$ $I_{xy} = 0$ $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_{xy} = 0$ </p>	<p>Cuarto de círculo</p>  <p> $I_x = I_y = 0.05488R^4$ $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{16}$ $I_{xy} = 0.01647R^4$ $I_{xy} = \frac{R^4}{8}$ </p>	<p>Sector circular</p>  <p> $I_x = \frac{R^4}{8}(2\alpha - \text{sen } 2\alpha)$ $I_y = \frac{R^4}{8}(2\alpha + \text{sen } 2\alpha)$ $I_{xy} = 0$ </p>
<p>Triángulo</p>  <p> $I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{bh^3}{12}$ $I_x = \frac{bh^3}{36}(a^2 + ab + b^2)$ $I_y = \frac{bh^3}{12}(a^2 + ab + b^2)$ $I_{xy} = \frac{bh^3}{72}(2a + b)$ $I_{xy} = \frac{bh^3}{24}(2a + b)$ </p>	<p>Cuarto de elipse</p>  <p> $I_x = 0.05488ka^3$ $I_y = \frac{\pi ab^3}{16}$ $I_x = 0.05488kb$ $I_y = \frac{\pi a^3b}{16}$ $I_{xy} = -0.01647a^2b^2$ $I_{xy} = -\frac{a^2b^2}{8}$ </p>	

Fuente: <http://joelfrax.com/otros/momentos%20inercia.html>

ANEXO 5. VIGAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL UNIFORME.

VIGAS DE SECCION TRANSVERSAL UNIFORME






Fuerza en A	Reacciones		Momento flexionante máximo $M_{máx}$	Deflexión máxima f	Tipo de carga
	en B	Momento en A			
F	—	F/l	F/l	$\frac{Fl^3}{3EI}$	
$\frac{F}{2}$	$\frac{F}{2}$	—	$\frac{1}{4}Fl$	$\frac{Fl^3}{48EI}$	
$\frac{Fb}{l}$	$\frac{Fa}{l}$	—	$\frac{Fab}{l}$	$\frac{Fa^2b^2}{3EI l}$	
$\frac{11}{16}F$	$\frac{5}{16}F$	$\frac{3}{16}Fl$	$\frac{3}{16}Fl$	$\frac{7Fl^3}{768EI}$	
W	—	$\frac{1}{2}Wl$	$\frac{1}{2}Wl$	$\frac{Wl^3}{8EI}$	
$\frac{W}{2}$	$\frac{W}{2}$	—	$\frac{1}{8}Wl$	$\frac{5Wl^4}{384EI}$	
$\frac{5}{8}W$	$\frac{3}{8}W$	$\frac{1}{8}Wl$	$\frac{1}{8}Wl$	$\frac{Wl^4}{185EI}$	

F Carga concentrada

W Carga uniformemente distribuida ($W = w/l$)

Fuente: Manual de Fórmulas Técnicas, Gieck Kurt.

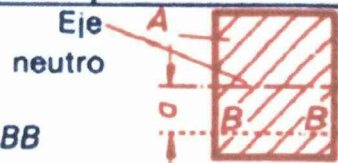
ANEXO 6. MOMENTOS AXIALES DE INERCIA DE ÁREAS, MÓDULOS DE SECCIÓN Y ESFUERZOS MÁXIMOS POR FLEXIÓN.

Momento de área I	Módulo de sección S	Esfuerzo máximo por flexión σ_f (máx.)	Forma de la sección transversal
$\frac{b h^3}{12}$	$\frac{b h^2}{6}$	$\frac{6 M}{b h^2}$	
$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32} \cong \frac{d^3}{10}$	$\cong \frac{10 M}{d^3}$	
$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\cong \frac{10 M D}{D^4 - d^4}$	
$\frac{5\sqrt{3} s^4}{144}$	$\frac{5\sqrt{3} s^3}{72}$	$\frac{24\sqrt{3} M}{5 s^3}$	
$\frac{\pi \alpha^3 b}{4}$	$\frac{\pi \alpha^2 b}{4}$	$\frac{4 M}{\pi \alpha^2 b}$	

Teorema de Steiner o de los ejes paralelos



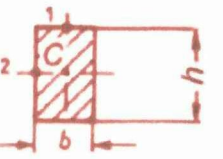
$$I_{BB} = I + Aa^2$$

- I_{BB} Momento de inercia con respecto al eje BB
- I Momento de inercia con respecto al eje centroidal (neutro) paralelo al eje BB (ver I 11)
- e Distancia de la fibra superficial al eje neutro



Fuente: Manual de Fórmulas Técnicas, Gieck Kurt.

ANEXO 7. CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS EN TORSIÓN.

Momento polar de inercia I_p	Módulo polar de sección S_t	Esfuerzo cortante máximo $\tau_{t(\text{máx})}$	Forma y dimensiones de la sección
$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{\pi d^3}{16}$	$\cong 5.1 \frac{T}{d^3}$	
$\frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\cong 5.1 \frac{T}{D^3} \cdot \frac{1}{1 - \delta^4}$	
—	en 1 $\frac{2}{9} b h^2$ en 2 $\frac{2}{9} b^2 h$	en 1 $\frac{9T}{2 b h^2}$ en 2 $\frac{9T}{2 b^2 h}$	

Fuente: Manual de Fórmulas Técnicas, Gieck Kurt.

ANEXO 8.GUÍA DE ENCUESTA.

ENCUESTA PARA LOS CLIENTES Y USUARIOS DE LA MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL.

“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

La presente encuesta tiene por objetivo adquirir información de carácter general, sobre varios aspectos concernientes a las actividades y servicios que presta molinera EDREVAL, conteste las preguntas sinceramente.

Lea detenidamente las preguntas planteadas y marque una “X” su respuesta.

1. ¿Es usted cliente frecuente de molinera EDREVAL?

Si () No ()

2. Principalmente ¿para qué tipo de molienda acude a molinera EDREVAL?

Obtener harinas () Partir granos ()

3. Actualmente, ¿considera que el tiempo de espera para obtener su producto procesado por la molinera EDREVAL es aceptable?

Si () No () A veces ()

4. ¿Molinera EDREVAL cumple con el tiempo establecido para entregarle su producto?

Si () No () A veces ()

5. Según su criterio, ¿la calidad del producto que obtiene de molinera EDREVAL es excelente, buena, regular o mala?

Excelente () Buena () Regular () Mala ()

6. ¿Cree que es necesario que molinera EDREVAL mejore y tecnifique los procesos de molienda para obtener un producto de calidad?

Si () No ()

7. ¿Piensa usted que la maquinaria con la que cuenta actualmente molinera EDREVAL es suficiente para cumplir con sus exigencias en cuanto a tiempo de molienda y calidad de su producto?

Si () No ()

8. ¿Considera usted que en la molinera EDREVAL se necesita implementar un molino de martillos para la trituración de granos secos?

Si ()

No ()

Gracias por su colaboración; su información será de gran ayuda en la elaboración del estudio mencionado.

ANEXO 9. GUÍA DE ENTREVISTA.

ENTREVISTA DIRIGIDA AL PROPIETARIO DE MOLINERA COMUNITARIA EDREVAL.

- 1.- ¿Cree usted que la molinera EDREVAL cuenta con la maquinaria suficiente para cumplir con la demanda de los clientes?
- 2.- Según su criterio, ¿el nivel de producción de la molinera EDREVAL es bueno, regular o malo?
- 3.- ¿Cree usted que el nivel de producción de su empresa puede mejorar?
- 4.- Según su criterio, ¿la calidad de producto que obtienen sus clientes, en especial de granos y cereales partidos es buena, regular o mala?
- 5.- ¿Cree usted que la calidad del producto que obtienen sus clientes de su molinera puede mejorar?
- 6.- ¿Ha sufrido en algún momento retraso o demora en la entrega de algún pedido que se le haya hecho a su empresa molinera?
- 7.- ¿Cree que adquiriendo un molino de martillos se podrían mejorar el tiempo y el nivel de producción, así como también la calidad del producto?
- 8.- ¿Por qué no ha adquirido un molino de martillos?
- 9.- ¿Adquiriría un molino de martillos elaborado por estudiantes de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que se ajuste y garantice sus necesidades de producción a un precio relativamente conveniente?.

ANEXO 10. DATOS PARA ARRANQUE DIRECTO 220V TRIFASICO.

POTENCIA		CONSUMO	BREAKER	FUSIBLES	CONTACTOR	RELÉ TÉRMICO.
HP	KW	(A)	(A)	(A)	CAMSCO	CAMSCO
1	0.75	1.8	5	6	C1 - D09	R2 - D1307 (1,6 - 2,5)
1.5	1.1	2.6	6	6	C1 - D09	R2 - D1308 (2,5 - 4)
2	1.5	3.4	10	10	C1 - D09	R2 - D1308 (2.5 - 4)
3	2.2	4.8	10	16	C1 - D09	R2 - D1310 (4 - 6)
5	3.7	7.6	16	20	C1 - D12	R2 - D1312 (5.5 - 8)
7.5	5.5	11	20	25	C1 - D18	R2 - D1316 (9 - 13)
10	7.5	14	25	32	C1 - D25	R2 - D1321 (12 - 18)
15	11	21	40	50	C1 - D32	R2 - D1322 (17 - 25)
20	15	27	50	63	C1 - D40	R2 - D3353 (23 - 32)

Fuente: Manual SUMELEC S.A. 2012

ANEXO 11.

PLANOS DE LA MÁQUINA.