

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE EJE HORIZONTAL
DE 15 TN/DÍA PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS
EN LA INDUSTRIA GANADERA EN LA ZONA RURAL DE CAYALTÍ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

JOHN MAXIEL ABANTO ALARCON

ASESOR

ELMER ROLANDO POLO BRICEÑO

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo 2020

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE EJE
HORIZONTAL DE 15 TN/DÍA PARA AUMENTAR LA
PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA
GANADERA EN LA ZONA RURAL DE CAYALTÍ**

PRESENTADA POR:

JOHN MAXIEL ABANTO ALARCON

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MÉCANICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Alejandro Segundo Vera Lazaro

PRESIDENTE

Walter Hugo Mundaca Guerra

SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño

VOCAL

Dedicatoria

A mis padres John Pascual Abanto Medina y Rosario Alarcón Torres, que siempre me brindaron su apoyo incondicionalmente, les agradezco de corazón. Que Dios los bendiga.

Agradecimiento

Gracias a Dios por permitir tener y disfrutar a mi familia, agradezco mucho por la ayuda de mis maestros, mis compañeros, y a la universidad en general.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	13
1.1.	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	14
1.2.	OBJETIVOS.....	14
1.3.	JUSTIFICACIÓN	15
1.4.	HIPÓTESIS.....	15
1.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	16
1.6.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA GANADERA EN LA ZONA DE CAYALTÍ.....	17
1.7.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	17
II.	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	18
2.1.	ANTECEDENTES.....	18
2.1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.1.2.	REQUERIMIENTO DEL PROBLEMA	19
2.2.	BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS.....	19
2.2.1.	NUTRIENTES REQUERIDOS POR LA INDUSTRIA GANADERA	19
2.2.2.	VALOR NUTRICIONAL DEL INSUMO	19
2.2.3.	INSUMOS UTILIZADOS EN LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO VACUNO.....	21
2.2.4.	INSUMOS ENERGÉTICOS	21
2.2.5.	INSUMOS PROTEICOS	23
2.2.6.	INSUMOS FIBROSOS Y SUBPRODUCTOS.....	25
2.3.	FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TRITURACIÓN.....	27
2.3.1.	CLASES DE TRITURACIÓN	27
2.4.	TRITURADORA	28
2.4.1.	TRITURADORA DE MANDÍBULAS	29
2.4.2.	TRITURADORA GIRATORIA	30

2.4.3. TRITURADORA DE EJE VERTICAL Y APOYO SUPERIOR.....	31
2.4.4. TRITURADORA DE EJE VERTICAL Y APOYO INFERIOR.....	31
2.4.5. TRITURADORA DE RODILLOS	32
2.4.6. TRITURADORA DE IMPACTO O MARTILLOS	34
2.4.7. TRITURADORA DE MARTILLOS DE EJE VERTICAL	35
2.4.8. PROCEDIMIENTO DE TRITURACIÓN MANUAL.....	35
2.4.9. PICADORA CON SISTEMA DE TORNILLO SIN FIN	36
2.5. PARTES DEL MOLINO PICADOR DE FORRAJE, TUSA, PASTO Y CEREALES	37
2.5.1. CÁMARA DE TRITURACIÓN O DESINTEGRACIÓN	38
2.5.2. TIPOS DE MARTILLOS CON REVESTIMIENTO	40
2.5.3. CRIBAS	43
2.5.4. DIAGNÓSTICO DE ANORMALIDADES Y SOLUCIONES	45
2.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	46
2.6. TOLVAS	46
2.7. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	47
2.8. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	48
2.8.1. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR POLEAS CON CORREA	48
2.8.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES	49
2.8.3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR ACOPLAMIENTO DIRECTO	49
2.9. SISTEMA DE CONTROL MANUAL.....	50
2.9.1. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO	50
2.9.2. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO	50
2.9.3. EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO MANUAL	51
III. DISEÑO DE LA MÁQUINA TRITURADORA	54
3.1. METODOLOGÍA	54
3.1.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	54

3.1.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	54
3.1.3. MÉTODOS Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA TRITURADORA	56
3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA	56
3.2.2. GEOMETRÍA DE MARTILLOS Y DISCOS	57
3.2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL ARMAZÓN DEL MOLINO DE MARTILLOS	57
3.2.4. TIPOS DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS	58
3.2.5. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	59
3.2.6. FACTOR DE DISEÑO	59
3.3. SELECCIÓN DE DISEÑO PARA LA MÁQUINA TRITURADORA ...	60
3.3.1. SELECCIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA	60
3.3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE MARTILLOS.....	61
3.3.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	61
3.3.4. SELECCIÓN DE ARMAZÓN PARA LA MÁQUINA TRITURADORA ...	61
3.3.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE CRIBAS	62
IV. RESULTADOS Y CALCULOS JUSTIFICATIVOS	63
4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS	63
4.2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DISPONIBLE DE MATERIA PRIMA POR 1HA SEMBRADA EN CHACRA	69
4.3. MATERIA PRIMA A UTILIZAR EN 15 TN/DÍA	71
4.4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	72
4.4.1. CALCULO DEL NÚMERO DE MARTILLOS.....	72
4.4.2. CALCULO DE MARTILLOS	73
4.4.3. VELOCIDADES TANGENCIALES DEL MARTILLO	74
4.4.4. CALCULAMOS LA FUERZA DE CORTE.....	79

4.4.5. ANÁLISIS DE FUERZAS PRESENTES EN EL MARTILLO.....	79
4.4.6. FALLA POR TRACCIÓN	82
4.5. DISEÑO DE LOS DISCOS PORTA MARTILLOS	83
4.6. DISTRIBUCIÓN DE LOS MARTILLOS.....	84
4.7. SELECCIÓN DE SEPARADORES DE MARTILLOS.....	85
4.8. DISEÑO DEL EJE SEGUNDARIO - PORTA MARTILLOS.....	85
4.9. DETERMINACIÓN DE PESOS PARA EL ANÁLISIS DEL EJE PRINCIPAL	89
4.9.1. ANÁLISIS DE FUERZAS PRESENTES EN EL EJE PRINCIPAL	92
4.9.2. RODAMIENTOS EN EL EJE PRINCIPAL	98
4.9.3. CAPACIDAD Y RENDIMIENTO MECÁNICO	100
4.10. CAPACIDAD DE LA MÁQUINA TRITURADORA PARA PANCA.....	102
4.10.1. VELOCIDAD DE CORTE	102
4.10.2. RELACIÓN ENTRE NÚMERO DE REVOLUCIONES VS EL NÚMERO DE CUCHILLAS, EN EL ROTOR PICADOR	104
4.10.3. DIÁMETRO DE LA VOLANTE.....	105
4.10.4. POTENCIA DE CORTE	106
4.10.5. RESISTENCIA A LA FLUENCIA DE CORTE	106
4.10.6. DISEÑO DEL ARMAZÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA	107
4.10.7. SELECCIÓN DE MOTOR Y SISTEMA DE CONTROL.....	108
4.10.8. ERGONOMÍA	113
V. EVALUACIÓN ECONÓMICA	115
VI. CONCLUSIONES	120
VII. RECOMENDACIONES	121
VIII. MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA TRITURADORA	122
IX. BIBLIOGRAFÍA	123
X. ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables independientes y dependientes.....	16
Tabla 2. Valor nutricional del insumo.....	20
Tabla 3. Trituración en base al tipo de material.....	28
Tabla 4. Características de la máquina trituradora de mandíbulas.....	30
Tabla 5. Características de la trituradora de eje vertical.....	32
Tabla 6. Características de trituradora de rodillos.....	33
Tabla 7. Característica de trituradora de martillos.....	34
Tabla 8. Aplicaciones de molinos.....	36
Tabla 9. Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final.....	37
Tabla 10. Diámetros de cribas.....	43
Tabla 11. Velocidad tangencial.....	44
Tabla 12. Diagnóstico de anormalidades y soluciones.....	45
Tabla 13. Ventajas y desventajas de un molino de martillos.....	46
Tabla 14. Ventajas y desventajas de transmisión de engranajes.....	49
Tabla 15. Matriz morfológica del armazón.....	58
Tabla 16. Tipos de acero.....	59
Tabla 17. Matriz de decisión tipos de trituradora.....	60
Tabla 18. Matriz de decisión tipos de martillos. [22].....	61
Tabla 19. Selección del tipo de armazón para el molino.....	62
Tabla 20. Alimento balanceado para ganado y ovino.....	63
Tabla 21. Alimento balanceado para cerdos.....	64
Tabla 22. Encuesta de criadores de ganado y porcino Zaña – Cayalti.....	65
Tabla 23. Población pecuaria en los distritos del departamento de Lambayeque al mes de julio del año 2001.....	66
Tabla 24. Hectáreas por propietarios.....	69
Tabla 25. Siembra de maíz amarillo duro.....	70
Tabla 26. cosecha y producción de maíz amarillo duro.....	70
Tabla 27. Cultivo de maíz chala.....	70
Tabla 28. Parámetros de diseño para martillos.....	82
Tabla 29. Ventajas y desventajas de discos.....	83
Tabla 30. Total, de materiales.....	98
Tabla 31. Tipos de aplicación.....	98
Tabla 32. Tipo de rodamiento.....	99
Tabla 33. Factor de seguridad.....	107
Tabla 34. Cable tipo THW.....	110
Tabla 35. Características del motor.....	115
Tabla 36. Costo de elementos de máquina trituradora.....	116
Tabla 37. Costo de diseño.....	117
Tabla 38. Costo de ensamble.....	117
Tabla 39. Elementos de automatización.....	117
Tabla 40. Máquina trituradora.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso. Elaboración propia.....	17
Figura 2. Melaza de caña.....	22
Figura 3. Afrecho de trigo.	22
Figura 4. Granos de cereales.....	23
Figura 5. Harina de pescado.	24
Figura 6: Coronta de maíz o tuza.....	25
Figura 7. Panca de maíz o chala seca.	26
Figura 8. Trituradora de mandíbulas.	29
Figura 9. Trituradora de mandíbulas según el punto de pivote.	30
Figura 10. Trituradora de eje vertical y apoyo superior.	31
Figura 11. Trituradora de eje vertical y apoyo inferior.	32
Figura 12. Trituradora de rodillos.	33
Figura 13. Trituradora de martillos de eje vertical.	35
Figura 14. Trituración manual.	35
Figura 15. Picadora con sistema de tornillos sin fin.....	36
Figura 16. Advertencia de peligros.	37
Figura 17. Molino picador de forraje, tusa, pasto y cereales.....	38
Figura 18. Cámara de trituración.....	39
Figura 19. Tipos de martillos.....	40
Figura 20. Martillos con revestimiento.....	40
Figura 21. Martillos de martillos martillo.	41
Figura 22. Estándar de martillo martillo.....	41
Figura 23. Resistencia de martillo martillo.	41
Figura 24. E – escalonado de buje martillo.	42
Figura 25. Bañera de martillo de martillos.....	42
Figura 26. Martillo especialidad.....	42
Figura 27. Tipos de cribas.	43
Figura 28. Trituradora de martillos de eje horizontal.....	47
Figura 29. Transmisión por poleas con correa.	48
Figura 30. Acople directo de ejes.	50
Figura 31: Lazo abierto.....	50
Figura 32. Sistema de lazo cerrado.....	51
Figura 33. Arrancador de estado sólido.....	51
Figura 34. Guardamotor.	52
Figura 35. Pulsador de paro y marcha.	53
Figura 36. Modelo descriptivo del proceso de diseño.	55
Figura 37. Tipos de transmisión por brida.....	61
Figura 38. Tipos de cribas.	62
Figura 39: Posición de los martillos.	73
Figura 40. Coeficiente de fluctuación.....	75
Figura 41. Radio geométrico.	76
Figura 42. Diagrama de fuerza de corte.	79
Figura 43. Diagrama de rotura.....	80
Figura 44. Sección de análisis por ruptura.	80
Figura 45. Disco porta martillos.....	84

Figura 46. Distribución de martillos.....	85
Figura 47. Partes de molino de martillo.	86
Figura 48. Análisis de fuerzas.	86
Figura 49. Diagrama de esfuerzo cortante y flexionante.....	87
Figura 50. Peso de disco.....	89
Figura 51. Peso de separador de disco.....	89
Figura 52. Separador de martillo.....	90
Figura 53. Peso de martillo.....	90
Figura 54. Eje secundario.....	91
Figura 55. Peso de cuchillas.....	91
Figura 56. Eje principal.....	92
Figura 57. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.....	93
Figura 58. Curva de fatiga S-N del acero 1020.....	97
Figura 59. Radio de giro de la cuchilla.....	104
Figura 60. Cuchillas.....	105
Figura 61. Bastidor.....	107
Figura 62. Guarda motor termomagnetico.....	109
Figura 63. Arrancador de estado sólido.....	109
Figura 64. Circuito de fuerza – mando.....	111
Figura 65. Pilotos de señalización.....	112
Figura 66. Tablero de acero IP66.....	112
Figura 67. Accesorios básicos de montaje.....	113
Figura 68. Trabajo de pie.....	114
Figura 69. Tasa de interés de retorno.....	119

Resumen

En la industria ganadera, la alimentación es uno de los factores de mayor importancia para lograr expresar el potencial del ganado en las diferentes etapas de crecimiento o de producción en la que se encuentre. La industria ganadera se desarrolla casi en todo el país, su desarrollo es importante para el sustento de pequeños y grandes ganaderos, lo cual tiene un gran aporte en la economía peruana; en las últimas décadas ha pasado por una serie de etapas como consecuencia de los diferentes avances tecnológicos en cual ha revolucionado la industria con la invención de nuevas tecnologías y herramientas, para obtener mayor eficiencia de producción y reducir el tiempo de producción.

Se desea diseñar una trituradora, para aumentar la eficiencia y producción de alimentos en la industria de carne y leche, mejorando la capacidad de molienda y alcanzar estándares de calidad del producto.

En este proyecto se analizará los diferentes diseños actuales de una trituradora, así definir las variables de funcionamiento, problemas de producción y manipulación, obteniendo un enfoque más amplio del proceso de trituración y molienda; para luego diseñar una maquina acorde a la demanda de producción, reduciendo tiempo de producción, manipulación de la máquina, etc. De esta manera ampliar las miras de mercado y, además contribuir con el desarrollo de la industria ganadera en la zona rural de Cayaltí.

Palabras claves: máquina trituradora, eficiencia.

Abstract

In the livestock industry, food is one of the most important factors in achieving the potential of cattle in the different stages of growth or production in which they are. The cattle industry is developed almost throughout our country, its development is important for the sustenance of small and large cattle ranchers, which has a great contribution in the Peruvian economy; in the last decades has undergone a series of stages as a result of the different technological advances in which the industry has revolutionized with the invention of new technologies and tools, to obtain greater efficiency of production and to reduce the time of production. Given this situation, it is desired to design a crusher, to increase the efficiency and production of food in the meat and milk industry, improving grinding capacity and achieving product quality standards. This project will analyze the different current designs of a crusher, thus defining the operating variables, production problems and handling, obtaining a broader approach to the crushing and grinding process; to design a machine according to the production demand, reducing production time, machine manipulation, etc. In this way to broaden the market prospects and also contribute to the development of the livestock industry in the rural area of Cayalti.

Keywords: Crushing machine, production demand.

I. INTRODUCCIÓN

La Industria ganadera peruana ha experimentado en todos estos tiempos diferentes cambios en producción de alimentos ganaderos debido a la baja comercialización del producto y a la falta de inversión de máquinas necesarias para mejorar la producción de alimentos ganaderos, lo cual tiene como consecuencia que la pequeña y mediana empresa disminuya su producción y no pueda cumplir con la preparación de alimento para el ganado, la cual tiene como finalidad de generar carne y leche, teniendo en cuenta todos estos defectos industriales, se ve afectado seriamente en sus ingresos y se debilita por la caída en la producción.

En la zona rural de Cayalti, los productores ganaderos tienen una baja producción debido a que actualmente ellos cuentan con máquinas trituradoras de forraje las cuales presentan fallas mecánicas durante su funcionamiento debido a sobrecargas o desgaste mecánico de piezas de corte, entre otros.

La trituración y molienda ha cambiado en la industria, variedades de productos, que anteriormente podían ser utilizados en estado bruto, hoy en día son triturados, y/o pulverizados antes de ser utilizados.

Además, la trituración se ha convertido en una fase cuyo control resulta esencial por la variedad tan importante que puede tener sobre factores importantes en un proceso productivo como la calidad del producto terminado, el aumento de producción y disminución de costos de producción.

El principio de funcionamiento en una máquina trituradora no es complejo, e inicia por el silo superior por donde ingresa la materia prima (forraje, cereales, tusa u olote, etc.), a ser triturado y por gravedad cae en una cámara donde están los martillos donde pasa a ser desintegrado, el eje gira a grandes velocidades, los cuales los martillos golpean el producto que se encuentra dentro de la trituradora.

El proyecto propone el diseño de una trituradora con funcionamiento eficiente y económico para utilizar los cultivos industriales, en la elaboración de alimentos balanceados. De esta forma, procesando la materia prima, reduciendo tiempos de proceso y aumentando la producción, se contribuye en el desarrollo de la industria ganadera en la zona rural de Cayalti.

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad, la industria ganadera es importante a nivel nacional y constituye uno de los principales enlaces de la cadena agroalimentaria del país, el cual empieza por la cosecha de la materia prima (maíz, forraje, olote, caña de azúcar, etc.), y termina en las empresas de carne, aves y cerdos respectivamente.

Debido a la baja producción de alimentos balanceados en la industria ganadera, no cuenta con el debido proceso de alimentos para ganado, en la cual no cuenta con:

- Proceso no es el óptimo.
- Paradas inesperadas.

Ante ello, se ve la necesidad de diseñar una máquina trituradora, con finalidad de mejorar al mismo tiempo el ingreso de los agricultores y condiciones de empleo; ante ello se puede transformar los productos agrícolas en productos balanceados mejorando la industria ganadera en la zona rural de Cayalti.

La máquina trituradora de eje horizontal a diseñar debe ser capaz de realizar el picado y triturado de la materia prima, además teniendo un proceso limpio y eficiente; para minimizar las diferentes dificultades existentes en el proceso, aumentar la producción, competencia y eficiencia de la misma.

Formulación del problema.

¿Será factible el diseño de una máquina trituradora de eje horizontal de 15Tn/día para aumentar la producción de alimentos en la industria ganadera en la zona rural de Cayalti?

1.2. OBJETIVOS

Objetivo principal.

- ❖ Diseñar una máquina trituradora de eje horizontal de 15Tn/día para aumentar la producción de alimentos en la industria ganadera en la zona rural de Cayalti.

Objetivos específicos.

- ❖ Recolectar información técnica y mecánica de los diferentes tipos de trituración de forraje, tusa y pasto que existen en el mercado.
- ❖ Seleccionar y determinar los parámetros y características para el diseño de la trituradora.
- ❖ Realizar el diseño conceptual de la máquina trituradora.
- ❖ Seleccionar los elementos mecánicos y eléctricos de la máquina trituradora.

- ❖ Analizar el costo y retorno de la inversión de la máquina trituradora.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La ganadería es una actividad económica que se viene desarrollando desde hace muchos años atrás y su única finalidad, es obtener diversos productos derivados, tales como la carne, la leche, entre otros.

Este proyecto se justifica en el caso más desfavorable que es la producción de la materia prima, teniendo problemas de paradas por atascamiento, no satisfaciendo la producción deseada.

En este punto crítico en el tema de producción, se propone el diseño de una trituradora, con el fin de aumentar la capacidad de producción de forraje y otros derivados en la zona rural de Cayalti, enfocándonos en los criterios y parámetros de operación con un funcionamiento eficiente; y así poder aumentar la competitividad de mercado en la región de Cayalti, las cuales usan máquinas que no han tenido conceptos acordes a ingeniería.

Para hacer posible esta investigación se requiere tener en cuenta el diseño de los componentes de árbol de transmisión, martillos, discos porta ejes, separadores de martillos, separadores de discos, motor eléctrico y rodamientos. De igual manera se hará una estimación de costos que permita establecer la viabilidad del proyecto.

De esta manera justificamos este proyecto como una forma de mejorar el mercado ganadero, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera.

1.4. HIPÓTESIS

En el mercado local, la industria ganadera se ha visto implicada en el proceso de alimentos para ganado, sufriendo un incremento de producción de alimentos en los últimos años. Este incremento de producción de alimentos de ganado, está limitada en su producción de acuerdo a la materia prima (forraje, cereales, tusa u olote, etc.); la cual se ve obligada a implementar un nuevo sistema de trituración y molienda.

Los trituradores y molinos utilizan diferentes fuerzas para la reducción de tamaño. En estos equipos los consumos de energía están en función del tamaño final de partícula y del grado de dureza del material, es así que se requieren mayores consumos de energía para la molienda fina de materiales duros. La investigación de las propiedades mecánicas y física nos facilita datos necesarios como la resistencia a la fractura, humedad, etc.; los cuales serán orientados para optimizar el diseño de la trituradora.

Los ajustes de diseño de la trituradora, se deciden a partir de la investigación del volumen de producción para satisfacer las necesidades de la industria ganadera en la zona rural de Cayalti.

1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1. Variables independientes y dependientes.

Tipo de variable	Variable	Operación	Definición conceptual	Definición operacional	UND
Dependientes	Chancado (maíz)	Clasificación	Planta cereal de tallo macizo, recto y largo, hojas grandes, alargadas y alternas, flores masculinas agrupadas en racimo y femeninas agrupadas en mazorcas que reúnen hasta un millar de semillas dispuestas sobre un núcleo duro.	Masa	Kg
	Forraje	Clasificación	Todas aquellas plantas que se cultivan con el fin de alimentar a los animales. Puede ser consumida en pie o diferida, según sean las necesidades del proceso productivo.	Masa	Kg
Independientes	Materia prima	Limpieza Selección Clasificación	Sustancia natural o artificial que se transforma industrialmente para crear un producto. Cosa que potencialmente sirve para crear algo.	Masa	Kg
	Capacidad	Flujo	La capacidad es definida como el volumen de producción recibido, almacenado o producido sobre una unidad de tiempo, siendo producción el bien que produce la empresa, ya sea intangible o no. Es la máxima producción teórica que se puede alcanzar bajo condiciones ideales.	Masa	Kg

Fuente: Elaboración propia.

1.6. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA GANADERA EN LA ZONA DE CAYALTÍ

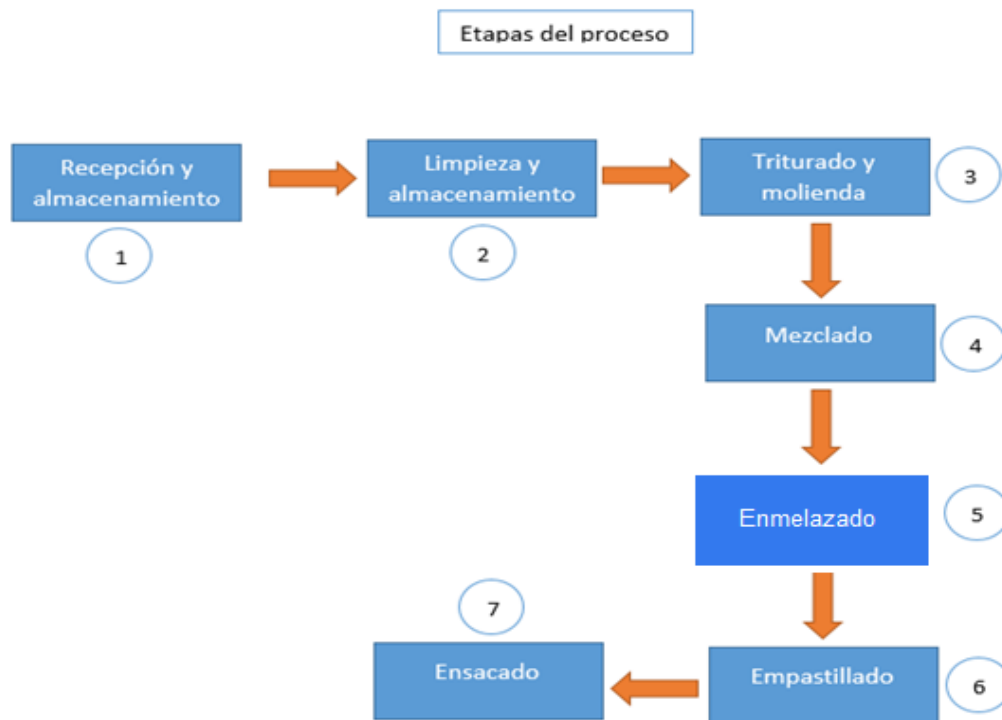


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso. Elaboración propia.

1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- Recepción y almacenamiento.**
- Limpieza y almacenamiento:** Se realiza a mano por una serie de trabajadores.
- Trituración y molienda:** Son triturados y molidos por medio de un molino de martillos.
- Mezclado:** mezcla de sólidos, se introducen la materia prima (granos, harinas y pulpa seca).
- Enmelazado:** En el mismo recipiente se agrega la melaza y se mezcla.
- Empastillado:** El objetivo es darle al producto la forma y tamaño más conveniente para que sea ingerido por el animal. Se inyecta vapor aproximadamente 15%, viene también integrada con un enfriador a la salida, para eliminar el exceso de vapor de humedad y bajar la temperatura del producto.
- Ensacado:** Se llenan en sacos de 50kg.

II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

En el medio local, existen maquinas trituradoras y de molienda, la cual utilizan un sistema mecánico y eléctrico para la producción de esta materia prima (panca, pastos, caña de azúcar, maíz, trigo, etc.). La cual esta materia prima es utilizada en la industria ganadera y otros.

En la actualidad, existen productores de mediana empresa que tienen maquinas elaboradas sin tener un criterio tecnológico de diseño y reparación, los cuales se puede tener en cuenta para nuevos diseños a futuro mejorando e innovando a las empresas dedicadas a la producción de la misma.

En esta investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS”, se implementa un método de trituración para la producción de granos triturados, mediante un molino de martillos, donde este proceso reducirá los costos y tiempos de producción y contribuye a la industria avícola [1].

Tienen como problema que la producción es obsoleta y rudimentaria en muchos casos, por lo tanto se genera la necesidad de la construcción de dicho molino, lo cual implica reducción de costos de productibilidad y por lo tanto mayor competitividad al comercializar las aves [1].

En la tesis “Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas”, para lograr la ruptura de matriz proteica de los cereales existen dos procesos como son el proceso de trituración y el de molienda, es necesario diferenciarlos para su aplicación. En la cual es apropiado el proceso de trituración y se diseña de acuerdo al proceso indicado [2].

De la tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA CORTADORA Y RECOLECTORA DE FORRAJE”. La necesidad surge a partir de la cantidad de pérdidas que se producen en el proceso de corte y recolección de forraje para la alimentación del ganado. La máquina a construir debe ser capaz de realizar el corte del forraje con un proceso limpio y eficiente produciendo el mínimo daño en el pasto, realizar el picado en trozos pequeños con un mínimo desperdicio y expulsar el forraje picado para su posterior recolección, además debe ser eficiente y de fácil maniobrabilidad. [3]

2.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Sera factible el diseño de una máquina trituradora de eje horizontal de 15 Tn/día para aumentar la producción de alimentos en la industria ganadera en la zona de Cayalti?

2.1.2. REQUERIMIENTO DEL PROBLEMA

En la presente investigación se darán requerimientos cualitativos, por lo cual, debido a las necesidades de la población, la máquina trituradora debe cumplir con las características adecuadas.

- La máquina trituradora tiene por objetivo cumplir con la trituración y molienda de la materia prima, para así poder aumentar la producción de alimentos para ganado en la zona de Cayaltí.
- Es necesario que la máquina trituradora tenga un buen funcionamiento, obtener menor desperdicios de materia prima y tener un grado trituración y molienda adecuada.
- Se debe tener en cuenta la fácil manipulación y funcionamiento de la máquina, de acuerdo a los estándares de seguridad establecidos, impacto ambiental y mantenimiento.
- El diseño de esta máquina está limitado a producir diariamente 15 Tn/día, la cual se debe tener en cuenta para no tener problemas de sobrecargas y causar pérdidas económicas.

2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

2.2.1. NUTRIENTES REQUERIDOS POR LA INDUSTRIA GANADERA

Los distintos nutrientes que son requeridos para poder cubrir los requerimientos de mantenimiento y reproducción del ganado son obtenidos a través de los diversos alimentos ingeridos como son principalmente el forraje (chala, alfalfa, etc.), alimentos balanceados (concentrados), agua, suplementos de sales minerales y vitaminas [4].

Estos alimentos nos van a proporcionar la energía, proteína, fibra, carbohidratos, grasa, vitaminas, minerales y otros nutrientes en diferentes proporciones y calidades. [4]

2.2.2. VALOR NUTRICIONAL DEL INSUMO

En el Perú existen diversos insumos no tradicionales que son frecuentemente usados como componente de la ración de vacas lecheras. Para muchos de estos insumos no presentan contenido nutricional apropiado o no se dispone información nutricional adecuada. Al realizar la formulación debe tener en cuenta la importancia de conocer el valor nutricional de los insumos ya que el contenido matronal de la ración estará dado por la composición de cada uno de los ingredientes que la componen. [4]

Lo recomendable es que los ganaderos antes de formular y preparar una ración alimenticia deben tomar una muestra de los insumos y lo remitan a un laboratorio de garantía para hacer análisis correspondiente [4].

Los insumos más utilizados para la formulación de los alimentos balanceados para ganado vacuno lo vemos a continuación en los siguientes cuadros:

Tabla 2. Valor nutricional del insumo.

	Materia seca %	Proteína %	Fibra %	Grasa %	Calcio %	Fosforo %	NDT %	EN Lactación, Mcal/ kg
Maíz	88	9,4	2,4	4,2	0,04	0,3	88,7	1,97
Subproducto de trigo	91	17,8	11	3,5	0,2	1	63	1,64
Melaza	75	5,8	0	0	1	0,1	81	1,66
Sémola de maíz	89	11,9	6,5	10,5	0,03	0,7	83	1,88
Pepa de algodón	93	24	19	19,3	0,2	0,6	77	1,94
Vaina de algarrobo	86	11	18	2,5	0,3	0,3	66	1,62
Jabón cálcico	95	0	0	0	9,5	0	186	6,05
Heno de alfalfa 1ra	85	17,8	29	1,6	1,4	0,3	59,1	1,5
Henos de alfalfa 2da	85	16	32	1,4	1,4	0,3	53	1,35
Chala 1ra	26	7,7	21,4	1,7	0,3	0,3	68,7	1,56
Chala 2da	24	6,9	24	1,5	0,3	0,3	62	1,4
Panca	87	6,2	35	1,4	0,6	0,1	50	1,22
Orujo	20	21	18	9,5	0	0	69	1,64
Harina de pescado 1ra	91	71	0	5	4	2,7	76	1,7
Urea	100	280	0	0	0	0	0	0
Pasta de algodón 35	88	39,8	12	2,3	0,2	1,2	68	1,7
Torta soya	90	51	4,5	1,2	0,35	0,7	82	1,9
H.I.Soya	92	42	8	21	0,4	0,71	94	2,05
Gallinaza	88	20	30	1,2	0,2	0,15	55	1,1

“Formulación de alimentos balanceados y mejoramiento genético en ganado lechero”. Autor: Ing. Eduardo Fernández Curí.

2.2.3. INSUMOS UTILIZADOS EN LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO VACUNO

Los pastos, forrajes y residuos agrícolas como coronta de maíz, panca, heno de avena, etc. Contiene altos niveles de fibra (celulosa, hemicelulosa) y los granos de cereales como el maíz grano, cebada, avena, trigo, etc. Son ricos en almidón y azúcar. Estos carbohidratos son degradados por los microorganismos del rumen retículo produciendo ácidos grasos volátiles como el ácido acético, propionico y butírico; gases como metano (CH₄) y anhídrido carbónico (CO₂). Estos ácidos grasos volátiles se absorben directamente a través de las papilas ruminales y van proveer de energía necesario para el metabolismo celular y el excedente da lugar a la síntesis de tejido adiposo como grasa corporal. [5]

En cuanto a los insumos proteicos como la pasta de algodón, torta de soya, harina de pescado, gran parte es degradado en el rumen por las bacterias y protozoos. Dando lugar a los compuestos como polipéptidos, aminoácidos y amoniaco (NH₃). [5]

Estos elementos son aprovechados por los microorganismos para sintetizar sus proteínas, por eso se llaman “proteínas microbianas”; a diferencia de la proteína protegida (by pass) que no es degradada por las bacterias, pasando directamente al abomaso e intestino delgado, donde sufren el proceso de hidrólisis enzimático [5].

2.2.4. INSUMOS ENERGÉTICOS

2.2.4.1. POLVILLO DE ARROZ

Es muy apetecido por el ganado por su aroma. Es una mezcla de la cutícula interna del arroz que se va puliendo, tiene el inconveniente que, al contener ácidos grasos insaturados, tiene a oxidarse produciendo diarrea en los animales y disminución de su aceptabilidad. También se debe tener mucho cuidado porque puede ser adulterado con cascara de arroz molido aumentando tremendamente el nivel de fibra (superior a 12%), es un insumo energético (1,53 y 0,99 Mcal/kg de energía neta de mantenimientos (ENm) y energía neta de peso (ENg) respectivamente su contenido de proteína total promedio de 12%. En el concentrado se recomienda utilizar como máximo 15% si es buena calidad [5].

2.2.4.2. MELAZA DE CAÑA

Es una buena fuente de energía debido a su contenido de 50 a 60 % de azúcares. Es altamente digestible, estimula el apetito y la degradación de la celulosa por los microorganismos del rumen. Reduce el polvo del alimento y sirve como aglutinante. Tiene alto contenido de potasio que le da propiedades laxativas. Niveles mayores a 25% en la ración, reducen la digestibilidad de la fibra y otros carbohidratos [5].



Figura 2. Melaza de caña.

2.2.4.3. AFRECHO DE TRIGO

El afrecho o subproducto de trigo, está constituido por las cubiertas externas del grano y su contenido en fibra es en promedio de 12% en base seca. El valor nutritivo del subproducto de trigo se caracteriza por tener bajo contenido de fibra y de grasa. Sin embargo, su contenido de proteínas varía de 15 a 16%, en base seca superior al del maíz. El contenido energía es de 1,34 y 0,84 Mcal/kg de ENm y ENg respectivamente. En el concentrado se recomienda utilizar hasta el 30% como máximo por ser laxativo [5].



Figura 3. Afrecho de trigo.

2.2.4.4. GRANOS DE CEREALES

Este tipo de cereales disponibles dependen de la zona, se pueden disponer de maíz, cebada, avena, trigo, etc. Todos son insumos energéticos por tener alto porcentaje de almidón y muy bajo en fibra, la cantidad en la dieta depende de su precio y disponibilidad. Entre ellos el maíz y la cebada son los más comunes que contiene en promedio de 9% de proteínas y alrededor de 2 y 1,3 Mcal/kg de energía neta de mantenimiento (ENm) y energía neta de peso (ENg) respectivamente.

Asimismo, se puede disponer de subproductos de los granos de cereales como el afrecho de trigo, gluten de maíz, raicilla de malta, etc. [5]



Figura 4. Granos de cereales.

2.2.4.5. HOMINY FEED

Es una mezcla de cascara (afrecho) de maíz, germen y una gran parte del endosperma que se obtiene de la molienda seca del maíz, proceso cuyo objetivo es la producción de “gritz” (maíz a medio moler) para la industria cervecera. Contiene 11% de proteínas y 75% de NDT en base fresca. Se puede usar de 10 a 15% si su precio lo permite [5].

2.2.5. INSUMOS PROTEICOS

2.2.5.1. HARINA DE PESCADO

Se obtiene principalmente de la anchoveta, eliminando la mayor parte de su contenido graso y conservando su proteína y minerales.

La harina de pescado de primera contiene de 60 a 65% de proteínas cruda en base fresca. Es mejor aprovechada que la harina de segunda, porque al ser desecada al vapor y no a fuego directo como las otras, hace que los aminoácidos esenciales como la lisina, el triptófano, metionina y otros no son destruidos por el calor y por lo tanto son mejor aprovechados por el organismo mejorándola conversión alimenticia [5].

La harina de pescado de segunda tiene de 46 a 48% de proteína en base fresca proviene de los dorsos y cabezas del pescado que se usa en conservas, al cual se le procesa en deshidratadoras como harina de pescado. Se recomienda alrededor de 12 % en una mezcla balanceada [5].



Figura 5. Harina de pescado.

2.2.5.2. PASTA DE ALGODÓN

Se distinguen dos tipos de pasta de algodón de acuerdo al procesado de la pepa. La mejor procede de plantas que procesan la pepa con prensa y solventes, contiene de 34 a 38% de proteína total con prensa y solventes, contiene de 34 a 38% de proteína total en base fresca, color amarillo. El segundo tipo, cuyo aceite es extraído mecánicamente, es decir de color marrón, fácilmente desmenuzable, tiene 30 % de proteína en base fresca, de aspecto grasoso [5].

La proteína de este insumo es de calidad satisfactoria para el ganado, es rica en fósforo (1%) y tiene solo 0,2% de calcio. Produce un ligero estreñimiento en el animal y la grasa de la carne tiene a ser dura, es común su utilización hasta 20% en las mezclas para ganado de engorde [5].

La pasta de algodón es una de las mejores fuentes de proteína para el ganado de engorde y ovinos, siempre y cuando su precio sea asequible [5].

2.2.5.3. TORTA DE SOYA

Este insumo también es un subproducto que se obtiene por la extracción de aceite del grano de soya [5].

La torta de soya es un excelente suplemento proteico para vacunos de engorde, es rico en proteína que puede variar de 45 a 46% en base fresca, pero su uso está limitado por el precio de mercado y su disponibilidad. Su contenido de energía es de 1,6 y 1,12 Mcal/kg de ENm y ENg respectivamente y el nivel recomendable independiente del precio es de 15% como máximo [5].

2.2.5.4. TORTA INTEGRAL

Es la semilla que no ha sido procesada para la obtención de aceite y por lo tanto conserva todo su aceite. Normalmente este insumo no se usa como tal sino en la forma de torta. En circunstancias especiales se puede conseguir la soya entera, pudiéndose usarla en rumiantes, previamente tratada térmicamente (aproximadamente a 124°C durante 45 minutos) para

destruir los inhibidores de la tripsina y demás sustancias antinutricionales que se conocen y debe ser molida antes de su uso [5].

2.2.6. INSUMOS FIBROSOS Y SUBPRODUCTOS

2.2.6.1. CORONTA DE MAÍZ O TUSA

Este insumo contiene 33% de fibra en base fresca, de la cual la celulosa constituye el 90%, su molienda debe ser en molino de martillos con zaranda de 7/16. La molienda gruesa causa residuos en el comedero y la muy fina la hace menos apetecible para el animal [5].



Figura 6: Coronta de maíz o tuza.

2.2.6.2. PANCA DE MAÍZ O CHALA SECA

Contiene abundante fibra, algo de almidón y proteína. Molida puede usarse de 15 a 25%. Niveles altos dan lugar a mezclas muy toscas y voluminosas y el ganado deja residuos en el comedero [5].

El uso de panca en melazada o “pancamel” (60% de panca + 40% de melaza) es comúnmente utilizada porque aumenta su palatabilidad. Mezclada con agua se deteriora rápidamente (fermentación) y tiene a la auto combustión [5].



Figura 7. Panca de maíz o chala seca.

2.2.6.3. CASCARA DE ALGODÓN (PELUSA)

Fuente de fibra de buena calidad o fibra efectiva (FDNe). Es muy apreciada por el ganado aun como alimento único, pero es pobre en nutrientes [5].

Actúa también como deshidratante de la melaza; pero es de baja digestibilidad, se recomienda su uso como máximo de 12% del concentrado [5].

2.2.6.4. HENO DE CEREALES, PAJA O BROZA

La mayor producción de heno de cereales como la avena forrajera se da en la misma sierra comúnmente utilizada en la alimentación del ganado. La paja de arroz se da en el norte del país, en general, los cereales producen, por lo menos, igual cantidad de paja que de grano. La paja de arroz contiene menos celulosa y hemicelulosa que el restrojo de maíz y la paja de trigo, pero es alto en cenizas insolubles como la sílice. [5]

2.2.6.5. CASCARA DE CACAO

Es un insumo derivado de la preparación industrial de las semillas de cacao destinado a la fabricación de chocolate para consumo humano. Su nivel recomendable es de 12%; niveles mayores de 15% lo tornan diurético. [5]

2.2.6.6. RESIDUOS DE CERVECERÍA (ORUJO FRESCO)

Es una mezcla de residuos de cervecería y residuos de lúpulo. Tiene alto contenido de humedad y su contenido de materia seca varía de 20 a 25%. Este subproducto húmedo es muy susceptible de fermentación y alteración, especialmente en épocas de calor, de allí que se recomiendan su uso fresco haciendo la compra de dos días o máximo cada tres días durante el verano, o dos veces por semana durante el invierno, este subproducto también ha sido

deshidratado con lo cual se facilita y tecnifica su uso, se le conoce con el nombre de cervecería deshidratado (orujo seco). [5]

2.2.6.7. FORRAJE SECO DE MAÍZ (GLUTEN DE MAÍZ)

Es el residuo seco que se obtiene después de la separación de la mayor parte del almidón y del germen, así como afrecho de maíz mediante el proceso que se emplean en la molienda húmeda. Su contenido en proteína es de 30% y su NDT es de 70% en base fresca. Puede usarse en niveles de 10 a 14% en la ración, si su precio lo permite [5].

2.2.6.8. HARINA DE PLUMAS

Resulta del tratamiento bajo presión de vapor en autoclave con adición de ácido clorhídrico de las plumas limpias y no alteradas procedentes de aves beneficiadas. Contiene 85% de proteína y 62% de NDT en base fresca. Su digestibilidad es de 84%, lo que significa que el valor real de proteína asimilable es de 73%. Es de muy naja disponibilidad en el mercado [5].

2.2.6.9. TARA MOLIDA O HARINA DE TARA

Es la semilla de las vainas de tara que ha sido procesada para extraer los taninos que se emplean para curtiembre. La semilla molida contiene alrededor de 25% de proteína y 58% de NDT en base fresca. Se recomienda observar la calidad que debe ser de color amarillo claro, olor agradable y sabor no muy amargo [5].

2.3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TRITURACIÓN

El termino molienda, se ha convertido en un término común, el cual se refiere a la pulverización y a la desintegración del material sólido. Ahora bien, estos dos términos se diferencian entre sí, pues toman en cuenta diferentes aspectos del material alimentado.

Específicamente, la desintegración se refiere a la reducción del tamaño de agregados de partículas blandas débilmente ligadas entre sí. Es decir, que no se produce ningún cambio en el tamaño de las partículas fundamentales de mezcla. La pulverización, por su parte, implica la reducción del tamaño de las partículas fundamentales de las sustancias. [6]

2.3.1. CLASES DE TRITURACIÓN

Según propiedades físicas de un material y su composición química, se emplean distintos métodos de trituración, los mismos se detallan en la tabla N°3. [6]

Tabla 3. Trituración en base al tipo de material.

Clase de material	Clase de trituración
Material duro	Presión, impacto
Material frágil	Fractura
Material tenaz	Escisión, corte

Tesis: “diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con capacidad de 6.5 quintales por hora.” Autor: Fernando Santiago Ramos Peña.

2.3.1.1. TAMAÑO DE DESINTEGRACIÓN

Mediante la desintegración de materiales sólidos se obtiene diferente tamaño de partículas, por lo que se pueden distinguir las diferentes etapas de trituración y molienda. [6]

2.3.1.2. TRITURACIÓN (DESINTEGRACIÓN GROSERA)

La trituración o desintegración grosera puede ser: [6]

- Trituración gruesa.
- ✓ Tamaños de partículas de salida de 15cm (6”).
- Trituración media.
- ✓ Tamaños de partículas de salida entre 3 y 15cm (1 ¼” - 6”).
- Trituración fina.
- ✓ Tamaños de partículas de salida entre 0,5 a 3cm (1/5” – 1 ¼ “).

2.3.1.3. MOLIENDA (DESINTEGRACIÓN FINA)

La molienda o desintegración fina puede ser: [6]

- Molienda grosera.
- ✓ Tamaños de partículas de salida entre 0,1 y 0,3 mm.
- Molienda fina.
- ✓ Tamaños de partículas de salida menores a 0,1mm.

2.4. TRITURADORA

Una trituradora o chancadora es una máquina que permite realizar el proceso de trituración mediante elementos que realizan fuerzas, para poder romper y disminuir el tamaño de materiales [6].

2.4.1. TRITURADORA DE MANDÍBULAS

Este tipo de trituradora se destina para la trituración de tamaño grueso o medio. Consta de dos placas de hierro, una de las placas tiene movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija, durante el cual se consigue fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos (cámara de trituración). [6]

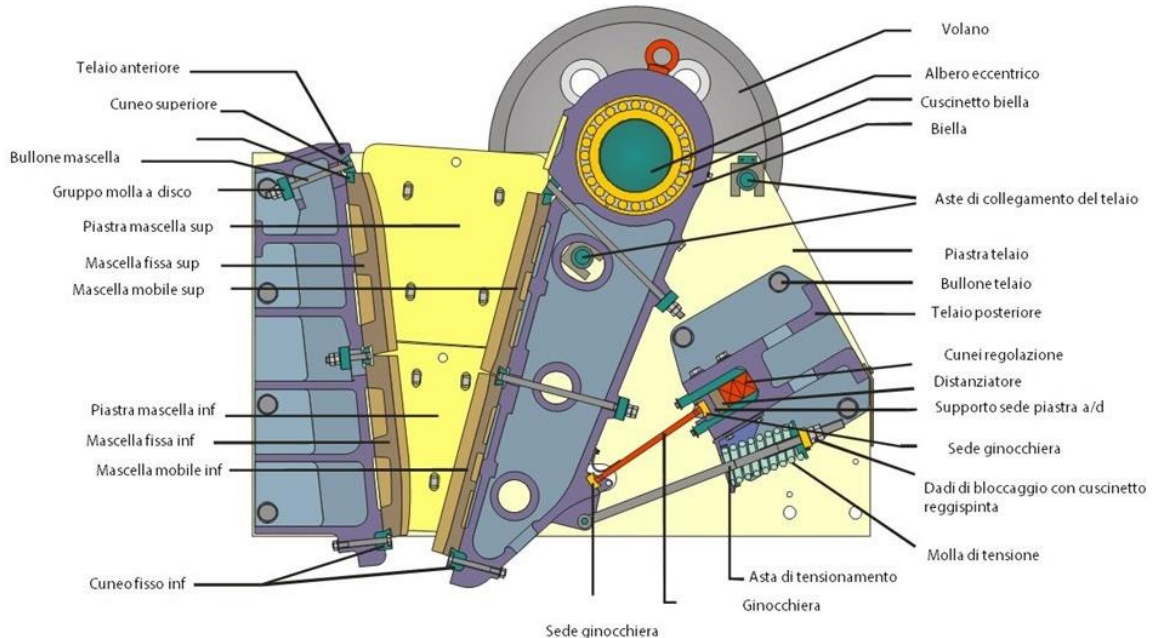


Figura 8. Trituradora de mandíbulas.

En función de la ubicación del punto de balanceo de la mandíbula móvil las trituradoras de mandíbulas se clasifican en [6]:

- **Trituradora tipo Blake**
Fijada en el punto más alto, en el área de recepción o alimentación.
- **Trituradora tipo Dodge**
Fijada en el punto más bajo, en el área de descarga.
- **Trituradora tipo universal**
Fijada en el punto medio del cuerpo de la trituración.

En la figura N°9 se muestra un esquema del tipo de trituradoras de mandíbulas según el punto de pivote [6].

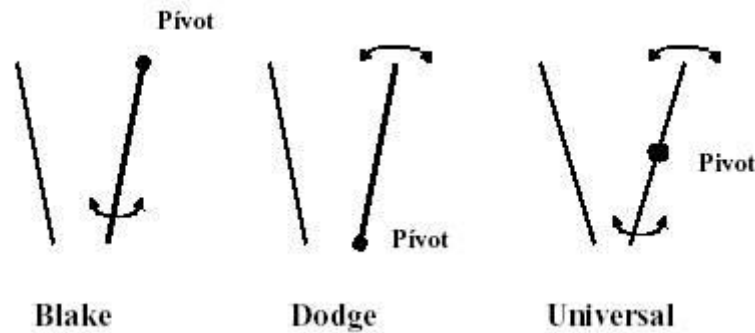


Figura 9. Trituradora de mandíbulas según el punto de pivote.

Tabla 4. Características de la máquina trituradora de mandíbulas

Capacidad	1-500 tn/h
Tipo de material	Piedra, granito, mármol, basalto mineral de hierro, piedra de río, etc.
Industria de aplicación	Industria minera, metalurgia, construcción de carretera, ferrocarriles hidráulicos e industria química.

<http://www.frantoparts.com/maquinas-trituracion-repuestos/metso-y-loro-e-parisini/Trituradora-de-mand%C3%ADbulas.aspx>.

2.4.2. TRITURADORA GIRATORIA

Este tipo de trituradora tiene la capacidad de obtener a la salida una trituración fina, media y gruesa ya que está determinada por un sistema hidráulico llamada reglaje que permite regular el acabo final. Está formada por una cabeza móvil en forma de cono truncado invertido localizado en el interior de una coraza que tiene el mismo contorno, entonces la cabeza trituradora gira excéntricamente, así, durante cada rotación, cada punto del eje móvil se aproxima y se aleja del punto correspondiente del cono fijo. Lo que produce que el material que se tritura quede atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio. [6]

Como ventajas se tienen:

- ✓ Compensación hidráulica.
- ✓ Diseño para trabajo pesado.
- ✓ Alta productividad.

Sus desventajas son:

- ✓ Capacidad media.
- ✓ Velocidad media.

Existen dos tipos de trituradoras giratorias: las denominadas de eje vertical y apoyo superior y las de eje vertical y apoyo inferior.

2.4.3. TRITURADORA DE EJE VERTICAL Y APOYO SUPERIOR

Este tipo de trituradora posee una mandíbula fija anular y una mandíbula móvil en forma de cono con la base en la parte inferior. El cono triturador en su parte inferior va montado sobre un eje vertical, el cual está conectado con una corona dentada la que gira a merced del accionamiento de un motor. [6]

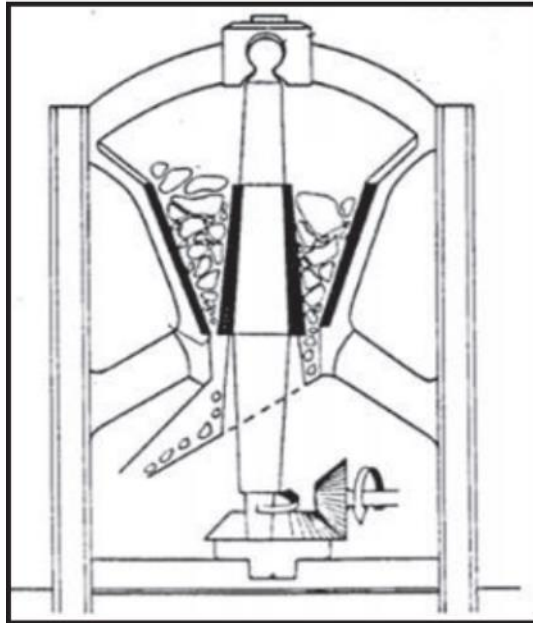


Figura 10. Trituradora de eje vertical y apoyo superior.

2.4.4. TRITURADORA DE EJE VERTICAL Y APOYO INFERIOR

Esta trituradora cuenta con una mandíbula fija y con un cono triturador en forma de hongo que va montado sobre un eje vertical, levemente conectado sobre una corona dentada que gira con acción del motor. [6]

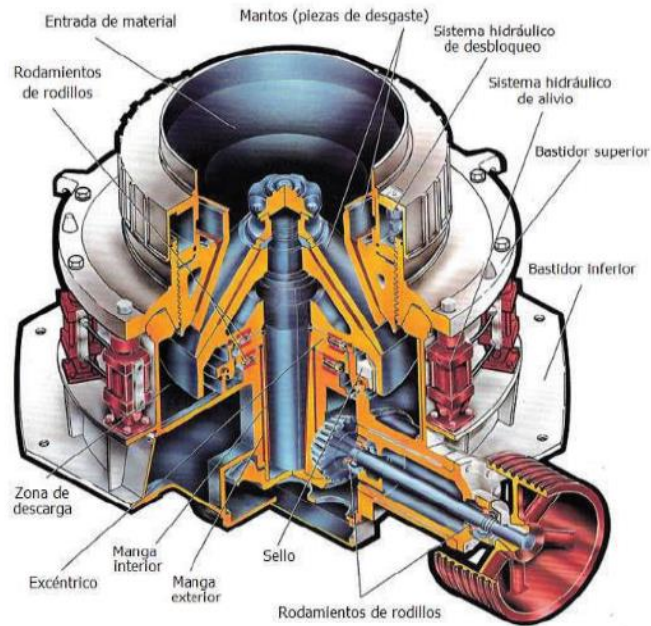


Figura 11. Trituradora de eje vertical y apoyo inferior.

Tabla 5. Características de la trituradora de eje vertical.

Capacidad	40-340 tn/h
Características	Alta productibilidad, alta calidad.
	Menor tiempo de parada.
	Fácil mantenimiento y bajo costo
Aplicación	Minera, construcción de edificios carreteras y puentes, metalurgia.
	Materiales como: hierro, granito, caliza.

http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf.

2.4.5. TRITURADORA DE RODILLOS

Esta trituradora es adecuada para triturar materiales de media dureza, por lo que se tiene un tamaño de trituración medio y fino. Este tipo de triturado se fundamenta en dos rodillos o cilindros horizontales de ejes paralelos girando en sentido inverso y a la misma velocidad de rotación, formando entre ellos una cámara de trituración y a la misma velocidad de rotación, formando entre ellos una cámara de trituración. En algunos casos según la necesidad del operario, uno de sus cilindros puede ser regulable, esto se consigue por un sistema de resortes o de pernos. [6]

Entre sus ventajas se tienen:

- ✓ Alta capacidad de producción.
- ✓ Útil para materiales de dureza media.
- ✓ Elevada fuerza de trituración.
- ✓ Fácil construcción e instalación.
- ✓ Bajo costo.

Como desventajas están:

- ✓ Desgaste de rodillos

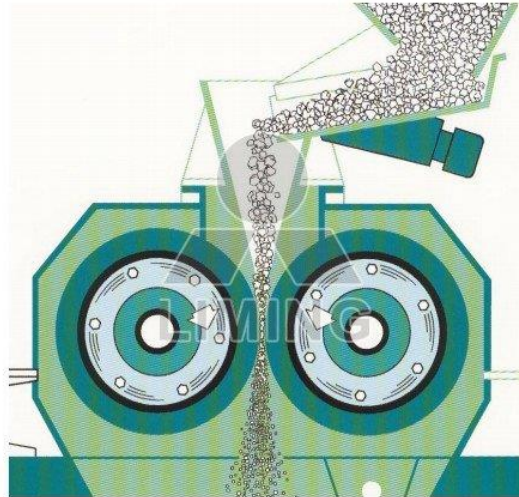


Figura 12. Trituradora de rodillos.

Tabla 6. Características de trituradora de rodillos.

Capacidad	6-210tn/h
Características	Alta productibilidad, alta presión
Aplicación	Minera, energía térmica, cemento, cerámica, metalurgia, etc.

<http://www.chancadoras.org/article/chancadoras-de-cilindros-o-trituradoras-de-cilindros.html>.

2.4.6. TRITURADORA DE IMPACTO O MARTILLOS

Este tipo de trituradora actúa en base a la sucesión de golpes en el material que se va a ser desintegrado, obteniéndose materiales triturados de tamaño medio y fino y presenta una elevada tasa de reducción [6].

Este tipo de trituradora comprimen el material entre dos cuerpos, mientras más rápido sea la fuerza de aplicación más rápido ocurre la fractura. [6]

Como ventajas se tiene:

- ✓ Diversos tipos en el tamaño de partículas desintegradas.
- ✓ Útil para cualquier tipo material o fibra.

Entre las desventajas están:

- ✓ Menos eficaces en cuestión de energía comparado con los molinos de rodillos.
- ✓ Generan excesivo calor, ruido y polvo.

Existen dos tipos de trituradoras de impacto: martillos de eje horizontal y de eje vertical.

Tabla 7. Característica de trituradora de martillos.

Capacidad	3-30 tn/h
Características	Alta productibilidad de trituración.
	Bajo consumo de energía, tamaño homogéneo de partícula.
	Estructura simple, compacta y ligera.
	Bajo costo de inversión.
Aplicación	Mineral blando y de dureza media, cuya resistencia a la compresión es mejor a 320 MPa.
	Caliza, carbón, tiza, yeso, etc.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10287/3/CD-6137.pdf>.

2.4.7. TRITURADORA DE MARTILLOS DE EJE VERTICAL

Esta trituradora dispone de una carcasa, recubierta en su interior por placas de desgaste, en la parte central se encuentra un eje hueco ubicado en sentido vertical que gira a gran velocidad. El proceso de trituración se efectúa cuando el material impacta a grandes velocidades con la placa de desgaste entre ellas. [6, p. 24]

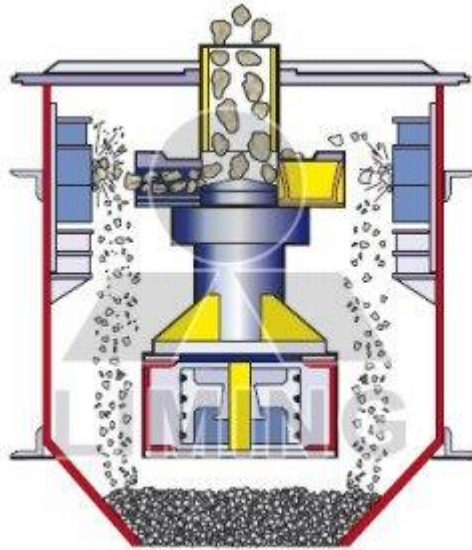


Figura 13. Trituradora de martillos de eje vertical.

2.4.8. PROCEDIMIENTO DE TRITURACIÓN MANUAL

El procedimiento manual de picado de forraje, consiste en la reducción del tamaño del forraje, hasta dejarlo de aproximadamente 10cm. Lo que dificulta el proceso, es la cantidad y poca practicidad en el procedimiento [7].

Aunque esta es una opción muy poca ortodoxa para el picado de grandes cantidades de forraje, se tendrá que efectuar cuando no se cuente con maquina trituradoras [7].



Figura 14. Trituración manual.

2.4.9. PICADORA CON SISTEMA DE TORNILLO SIN FIN

El tiempo y el esfuerzo realizado en el proceso anterior, nos lleva a pensar en una diferente alternativa que realice el proceso de una mejor manera, con mayores reducciones y con menor esfuerzo para el operador [7].

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, y considerando los inconvenientes que tienen con la cantidad y con el tamaño de forraje a procesar, se presenta un mecanismo que funciona de la siguiente manera, el forraje se deposita en una tolva de alimentación, para que ingrese al sistema pausadamente, luego el forraje al caer es comprimido por el tornillo sin fin y llevado hacia unas cuchillas que hacen el trabajo de picado del producto [7].

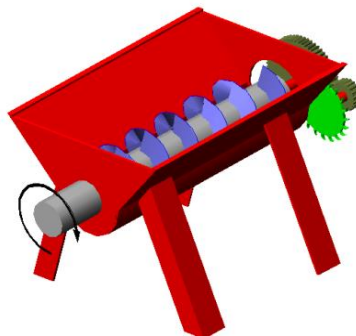


Figura 15. Picadora con sistema de tornillos sin fin.

En la siguiente Tabla N°8 se muestra un resumen de las distintas aplicaciones de trituración y molienda de los diferentes molinos en la industria de alimentos.

Tabla 8. Aplicaciones de molinos.

	Molinos de rodillos	Molinos de martillo	Molino giratorio	Molino de tambor
Tamaño de molienda				
Gruesos	X			
Intermedios	X	X	X	X
Finos/ultrafino		X		X
Aplicaciones				
cereales	X	X		
Vegetales secos		X		
Azúcar		X		X
Especies		X		X
Frutas secas		X		
Chocolate	X			X
Cacao			X	X
Granos	X		X	

<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo9.pdf>.

Tabla 9. Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final.

Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: "tritadoras"	De rodillos
Intermedio y fino	Molinos de finos: "molinos o muelas "	De martillo
		Disco de atrición de rodillos
Fino y ultra fino	Molinos de ultra finos: "amoladoras ultra finas"	De martillo
		De bolas

<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo9.pdf>

2.5. PARTES DEL MOLINO PICADOR DE FORRAJE, TUSA, PASTO Y CEREALES

Este molino es una máquina que sirve principalmente para preparar alimento balanceado para ganado y cereales. Se tiene que tener en cuentas las siguientes advertencias para la manipulación de la máquina. [8]



Figura 16. Advertencia de peligros.



Figura 17. Molino picador de forraje, tusa, pasto y cereales.

2.5.1. CÁMARA DE TRITURACIÓN O DESINTEGRACIÓN

La cámara de trituración del molino, se presenta las partes del sistema de trituración la cual se muestra en la figura N°18.

Teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones.

Cuando encienda el motor del molino espere un momento hasta que el motor alcance una velocidad de giro constante y recién comience el trabajo.

Nunca haga funcionar los molinos con motor a gasolina en lugares cerrados o sin ventilación.

El gas del escape puede causarle sueño o la muerte por asfixia. [8]

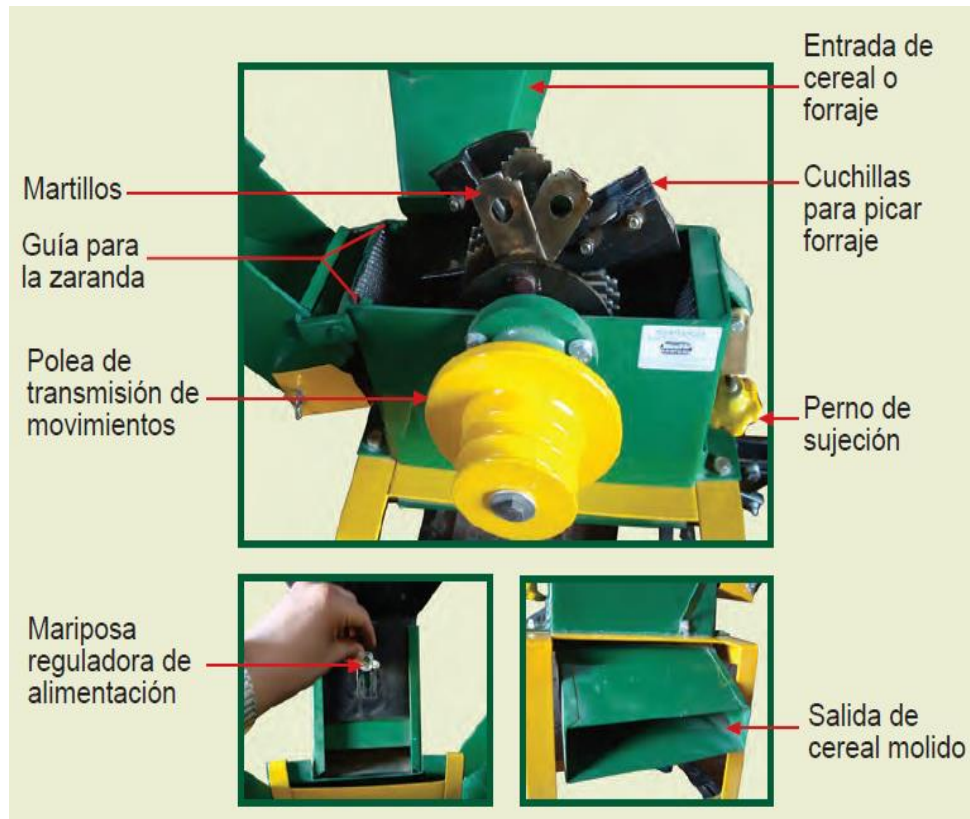


Figura 18. Cámara de trituración.

La cámara de trituración está formada por elementos como: discos porta martillos, ejes secundarios, herramientas de percusión (martillos), eje principal y la criba, a continuación, se detallan los elementos.

Eje principal: Es el eje de rotación en que se encuentran acoplados los discos, y soporta el sistema de trituración (ejes secundarios martillos). Ambos extremos de los ejes son roscados para fijarlos al sistema de trituración por medio de discos de separación.

Eje secundario: Denominado eje porta martillos, contiene los martillos de trituración.

Discos: separación que sujetan a los ejes secundarios.

Martillos: También llamada herramienta de impacto o de percusión, es la encargada del proceso de molienda o trituración. Los martillos son móviles, este sistema se utiliza ya que le otorga la capacidad de transmitir toda la fuerza acumulada hacia el producto a moles, cada martillo es distribuido de tal manera que no se golpeen entre sí, esto se logra mediante separadores [9].

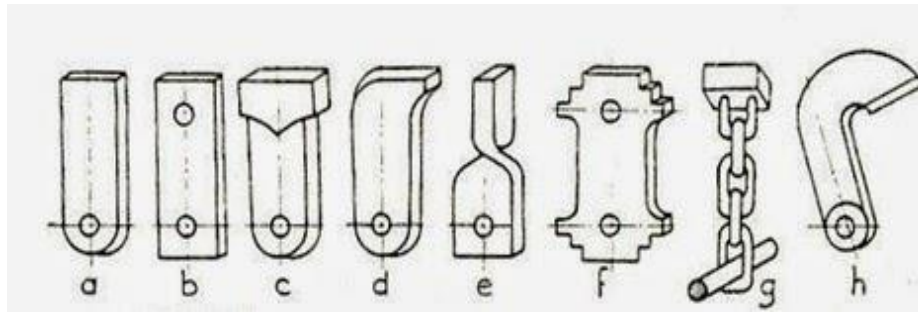


Figura 19. Tipos de martillos.

- a. Martillo más empleado y el más simple.
- b. Martillo reversible.
- c. Martillo pesado con ensanchamiento de la cabeza.
- d. Martillo para materiales tenaces y fibrosos.
- e. Martillo para pulverización.
- f. Martillo reversible.
- g. Martillo formado por una masa metálica y cadena para el desterronamiento de abonos.
- h. Martillo con forma de cuchilla.

2.5.2. TIPOS DE MARTILLOS CON REVESTIMIENTO

Estilos de martillos [10].



Figura 20. Martillos con revestimiento.

2.5.2.1. FUSIÓN DE MARTILLO MARTILLO

Simple de 2 vidas.

La superficie de corte más agudo ofrece múltiples ventajas de corte.

Ofrece un rendimiento global mejorando en una variedad de estilos.

Excelentes propiedades de recubrimiento duro para un uso prolongado [10].



Figura 21. Martillos de martillos martillo.

2.5.2.2. ESTÁNDAR DE MARTILLOS MARTILLO

Simple de 2 vidas

El martillo más económico en la industria [10].

A través de nuestro proceso de tratamiento térmico especializado y el acero de alta calidad, estos martillos ofrecen un uso prolongado con menos gasto [10].



Figura 22. Estándar de martillo martillo.

2.5.2.3. RESISTENCIA DE MARTILLOS MARTILLO

Simple de 2 vidas

Mayor resistencia al desgaste del cuerpo de cualquier martillo disponible en la industria, junto con tungsteno carburo de soldadura sin igual [10].

Caracterizado por una gran dureza [10].

Homogéneas micro estructuras que proporciona elasticidad a eliminar la fracturación y el agujero de elongación [10].

Fabricado con extrema precisión el estado de la técnica [10].



Figura 23. Resistencia de martillo martillo.

2.5.2.4. E - ESCALONADO DE BUJE MARTILLO

Simple de 2 vidas.

Disponible para complementar cualquier recubrimiento duro.

Elimina la elongación del agujero ranurado y la varilla [10].



Figura 24. E – escalonado de buje martillo.

2.5.2.5. BAÑERA DE MOLINO DE MARTILLOS

De 4 vidas.

Martillos y sus componentes proporcionan una excelente resistencia a la abrasión para mayor vida útil [10].

Templado continuo, pero que ofrece la ductilidad y la tenacidad para soportar condiciones de alto impacto [10].

Partes superiores de calidad para diversas marcas y modelos de trituradoras de tolva de alimentación industrial y maquinas horizontales [10].



Figura 25. Bañera de martillo de martillos.

2.5.2.6. MARTILLO ESPECIALIDAD

De 4 vidas y Mejor molienda.

Los procesos de fabricación del estado de la técnica, junto con la aparición de nuevos materiales permiten a los SMS (Southwest Mill Supply Company) para crear cualquier estilo para cualquier necesidad [10].



Figura 26. Martillo especialidad.

2.5.3. CRIBAS

El proceso de molienda tiene que ver con el tamaño de grano inferior a la abertura de malla del tamiz de fondo, pasa por el mismo y cae en el recipiente colector. La criba o rejilla se encuentra en el interior del molino de martillos, su función es definir el tamaño final de la partícula, todo depende del diámetro de perforación de la plancha [11].

De acuerdo a la figura 27. Se consideran los diferentes tipos de cribas (4, 5, 6, 7 o 12), estas se utilizan de acuerdo a la granulometría deseada en la salida del producto triturado. [11]

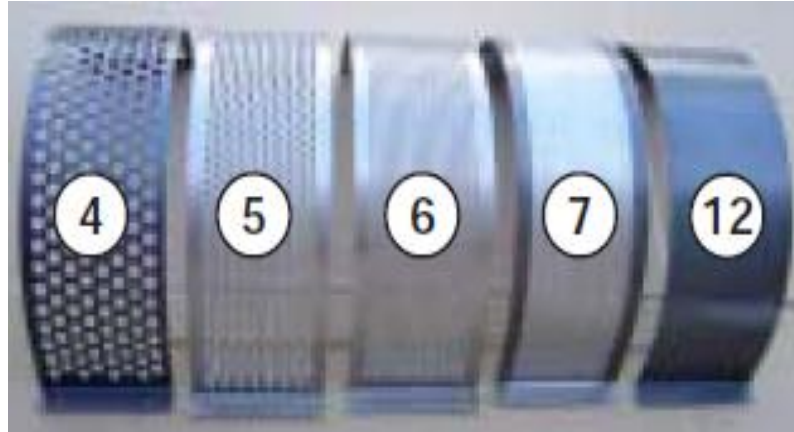


Figura 27. Tipos de cribas.

Tabla 10. Diámetros de cribas.

Criba	Diámetro de los agujeros	Aplicación
4	10mm	Maíz picado grueso y similares
5	5mm	Maíz y sorgo picados y productos derivados
6	3mm	
7	0,8mm	Harina de maíz, de trigo y centeno
12	Sello inferior	Picadora de forraje, pasto y otros

Manual de operación JF 2D

Otra de las partes importantes que constituyen el molino de martillos es el motor, el mismo que puede ser eléctrico o de combustión, y es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para girar el sistema de trituración a una velocidad angular preestablecida.

Los trituradores de rotor requieren una energía que va aproximadamente, de 1 hasta 2 kWh/t de material triturado; los de dos rotores, entre 1,3 hasta 2 kWh/t. Se puede calcular la potencia necesaria para el molino con la siguiente ecuación [12]:

$$P_m = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 1\,000\,000 * \eta}$$

Dónde:

P_m = potencia del motor (W, HP o CV)

G = peso de un martillo (Kg)

R = diámetro del disco (m)

n = RPM del rotor

e = número de martillos

f = factor dependiente de la velocidad tangencial de los martillos, cuyos valores se muestran en la tabla N° 11.

η = rendimiento mecánico

También la potencia necesaria para el molino la podemos determinar teniendo en cuenta como parámetro el caudal y el grado de desmenuzamiento, como se expresa en la siguiente ecuación empírica.

$$P_m = (0,1 \text{ a } 0,15) * i_d * Q$$

El factor “f” depende de la velocidad de rotación de los martillos, es decir de la velocidad tangencial que está dada por el valor óptimo recomendado para molinos de martillos. Como se muestra en la siguiente tabla N° 11, de acuerdo a la velocidad tangencial se puede obtener el valor f [12].

$$V_t = \frac{2 * \pi * Rg * n}{60}$$

Tabla 11. Velocidad tangencial

Velocidad tangencial m/s	Factor "f"
17	0,022
20	0,016
23	0,01
26	0,008
30	0,003
40	0,0015

[12, p. 45]

Sin embargo, debido a que la potencia está en función del caudal y del grado de desmenuzamiento, también se puede determinar el caudal, teniendo como parámetro la potencia y el grado de desmenuzamiento [12].

2.5.4. DIAGNÓSTICO DE ANORMALIDADES Y SOLUCIONES

En la siguiente tabla N°12 se detalla las diferentes anomalías y soluciones que tiene el molino de martillos, con respecto a su funcionamiento y diseño [11].

Tabla 12. Diagnóstico de anomalías y soluciones.

Anormalidad	Causa	Solución
No hay molido.	✓ Criba tapada.	✓ Limpie la criba.
	✓ La criba o los martillos están dañados.	✓ En caso de la criba reemplace, si al verificar se detecta en los martillos reemplace o cambie el lado de corte según sea el caso.
Maquina con vibración excesiva.	✓ Martillo roto.	✓ Reemplace el martillo quebrado.
	✓ Alguna de las chumaceras del cilindro está dañada.	✓ Reemplace chumacera.
	✓ Material ajeno está atascando el cilindro triturador.	✓ Remueva el material ajeno al cilindro.
	✓ La alineación de los martillos es incorrecta.	✓ Alinear los martillos.
	✓ La máquina no está sobre una base adecuada.	✓ Coloque la maquina sobre una base nivelada y firme.
	✓ El rotor no está balanceado.	✓ Compruebe la cantidad, posición de montaje de las cuchillas y martillos.
Forraje no sale por la tolva.	✓ Conductos tapados.	✓ Desarme y revise donde se encuentra obstruido y retire el forraje atorado.
Demasiado tiempo de trituración.	✓ Lado de corte del martillo desgastado.	✓ Cambie el lado de corte del martillo.
	✓ Lado de corte de la criba en mal estado.	✓ Cambie el lado de corte de la criba.
Correa patinando	✓ Correa muy holgada.	✓ Tense la correa de acuerdo a especificaciones técnicas.

Manual de uso y mantenimiento trituradora de forraje.

2.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

En la tabla N°13 se detalla las ventajas y desventajas que tiene el molino de martillos, con respecto a su diseño y funcionamiento [13].

Tabla 13. Ventajas y desventajas de un molino de martillos.

Ventajas	Desventajas
Produce un extenso rango en el tamaño de partículas	Puede generar calor, ruido y emisiones de polvo.
La caída del material a triturar es por gravedad.	Desgaste elevado en ciertas piezas.
Máquinas de concepción sencilla	Menor uniformidad en la partícula.
Bajo costo de adquisición de piezas.	Menor eficiencia en la utilización de energía.
Puede moler granos con porcentajes de humedad altos.	Mayor pérdida de humedad.

Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora. Autor: Fernando Santiago Ramos Peña.

2.6. TOLVAS

Se denomina tolva a un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros. En ocasiones se monta sobre un chasis que permite el transporte.

Generalmente es de forma cónica y siempre es paredes inclinadas como las de un gran cono, de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y forma un cono la descarga se realiza por una compuerta interior [14].

- Son utilizadas en agricultura, en construcción de vías férreas, en instalaciones industriales, y en la minería.
- Se pueden construir en hormigón o en chapa de acero. Suelen utilizarse para productos finos (comerciales).
- La entrada de materia prima se hace mediante alimentador o por gravedad.

La carga puede hacerse directamente manualmente o mediante cinta (faja) [14]

2.7. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de un molino de martillos no es complejo, e inicia por la boca superior por donde ingresa el producto a ser triturado y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, el eje gira a gran velocidad y por presencia de la fuerza centrífuga los martillos se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo, los martillos golpean el producto que se encuentra en el interior del molino, posteriormente choca contra la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos, este proceso ocurre sucesivamente hasta que el producto alcance un tamaño tal que pueda pasar por la criba o rejilla como se observa en la figura 28. [2, p. 17]

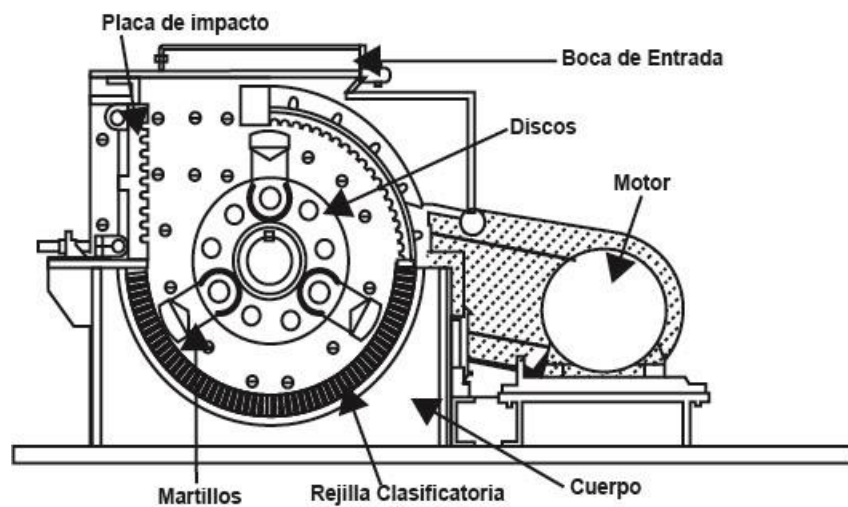


Figura 28. Trituradora de martillos de eje horizontal.

El tamaño de salida de los productos triturados puede variar cambiando la criba (tamaño de los orificios de la criba) de salida, la velocidad del eje o configuración del martillo. Por ejemplo, la velocidad más rápida, una criba más pequeña, y mayor número de martillos dan como resultado un producto final más fino [2].

Es recomendable que la velocidad de rotación del molino de martillos se encuentre entre 2500 a 3500 rpm, la velocidad en las puntas de los martillos puede variar entre 70 a 100 m/s, mientras que la separación de los martillos se encuentra de 1,5 a 7,5 cm dependiendo a triturar [2].

La capacidad de un molino depende de la clase de grano, la fineza de la molienda, la potencia disponible, la velocidad y el contenido de humedad del producto.

La alimentación del producto puede ser por los lados o por los extremos de los martillos. En general el punto de admisión está situado casi directamente sobre el eje del rotor, de tal modo

que si se mira al molino cuando gira en el sentido de las agujas del reloj la admisión está entre las posiciones de la una y de las dos [2].

2.8. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Tiene como objetivo llevar, a los diferentes elementos de una máquina la potencia y el movimiento producido por un elemento motriz (motor) de una manera que la máquina pueda funcionar y cumplir la finalidad para la que fue construida a.

Tenemos.

- Sistema de transmisión por poleas con correa.
- Sistema de transmisión por engranajes.
- Sistema de transmisión por acoplamiento directo.

2.8.1. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR POLEAS CON CORREA

Es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerza y velocidad angular entre arboles paralelos que se encuentran a una cierta distancia. La fuerza se transmite por efecto del rozamiento que ejerce la correa sobre la polea [15].

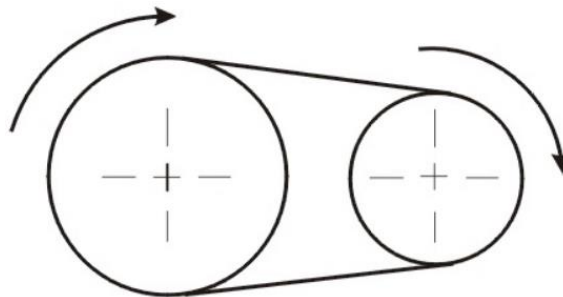


Figura 29. Transmisión por poleas con correa.

También se tienen diferentes tipos de elementos flexibles de transmisión:

- ✓ Correas planas.
- ✓ Correas en V: estándar, angostas, múltiples y hexagonales.
- ✓ Correas sincronizadas.

Este tipo de transmisión genera las siguientes desventajas.

- ✓ La diferencia de longitud entre correas generara una tensión diferente en cada correa al tensar el conjunto.

- ✓ Cada correa será capaz de tomar carga hasta llegar a su límite impuesto por su lado menos tenso.
- ✓ Las más cortas pueden llegar a sobrecargarse y romperse.
- ✓ Cuando se rompe una correa de un grupo, las restantes deben ser capaces de transmitir la carga temporalmente.
- ✓ Al momento del recambio, todas las correas deben ser reemplazadas.

2.8.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES

Se conoce con el nombre de tren de engranajes al conjunto de dos o más ruedas dentadas que tienen en contacto sus dientes de forma que, cuando gira una giran las demás. Tiene las siguientes ventajas y desventajas [16].

Tabla 14. Ventajas y desventajas de transmisión de engranajes.

Ventajas	Inconvenientes
- Ocupan espacio más reducido.	- Son más costoso.
- No hay posibilidad de deslizamiento.	- La transmisión se produce con más ruido.
- Tiene mayor capacidad de trasmisión de potencia.	
- Elevado rendimiento.	

2.8.3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR ACOPLAMIENTO DIRECTO

Un acoplamiento o coplee es un dispositivo que se utiliza para unir dos ejes en sus extremos con el fin de transmitir potencia. Son sistemas de transmisión de movimiento entre dos ejes o árboles, cuyas misiones son asegurar la transmisión del movimiento y absorber las vibraciones en la unión entre los dos elementos [17].

Ventajas de acople directo.

- ✓ Una alineación de ejes precisa ayuda a incrementar la vida de los rodamientos.
- ✓ Reducir la tensión en los acoplamientos y por tanto, el riesgo de un sobrecalentamiento y rotura.
- ✓ Reducir la fricción y por tanto, el consumo energético.
- ✓ Reducir el ruido y la vibración.
- ✓ Incrementar el tiempo operativo y la eficiencia y la productibilidad de la máquina.

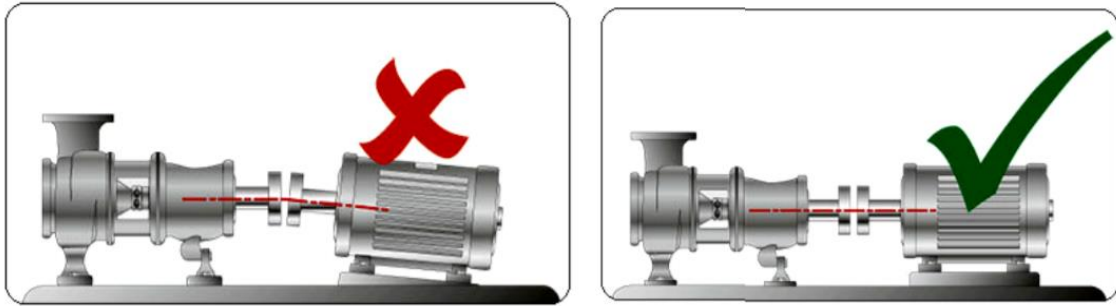


Figura 30. Acople directo de ejes.

2.9. SISTEMA DE CONTROL MANUAL

Para obtener una respuesta del sistema, interviene el hombre sobre el elemento de control. La acción del hombre es, entonces, la que actúa siempre sobre el sistema (cierra o abre, acciona un interruptor, aprieta el freno, etc.), para producir cambios en el funcionamiento.

2.9.1. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

Los sistemas de control de lazo abierto son aquellos en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. Estos sistemas ejecutan acciones con exactitud determinada por su calibración. Esta calibración establece o restablece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada [18].

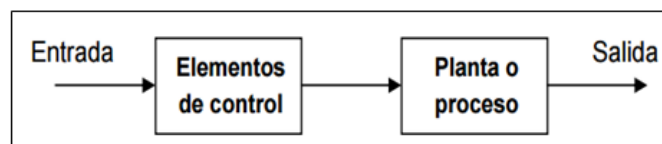


Figura 31: Lazo abierto.

2.9.2. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO

Un sistema de control de lazo cerrado, es aquel en el que la acción de control es dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario, que la entrada sea modificada en cada instante en función de salida. Esto se consigue por medio de una realimentación o retroalimentación [18].

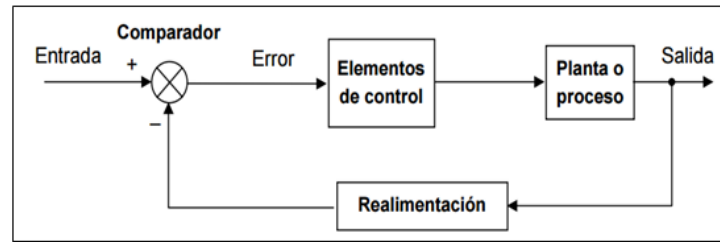


Figura 32. Sistema de lazo cerrado.

2.9.3. EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO MANUAL

2.9.3.1. ARRANCADOR DE ESTADO SÓLIDO

Un arrancador por lo general está constituido por dispositivos de estado sólido (tiristores), mediante los cuales se controla la tensión que alimenta el motor, la tensión aumenta en forma progresiva evitando el cambio brusco del par y la corriente de arranque. Mediante este tipo de arranque se consigue controlar las características de funcionamiento durante los periodos de arranque y parada. La corriente y el par pueden regularse en un amplio rango [19].



Figura 33. Arrancador de estado sólido.

2.9.3.2. GUARDAMOTOR

Un guardamotor es un interruptor magneto térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre intensidades transitorias típicas de los arranques de los motores. El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores. Su curva característica se denomina D o K.

Las características principales de los guardamotors, al igual que de otros interruptores automáticos magneto térmica, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase [20].



Figura 34. Guardamotor.

2.9.3.3. PULSADOR DE PARO Y MARCHA

Un pulsador es un interruptor de encendido o apagado que conectado a un componente eléctrico que hace funcionar o apaga el mismo. Los pulsadores existen de diversas formas y tamaños que se encuentran en diferentes equipos electrónicos, pero también muy usados en el campo de la electricidad industrial. Un **pulsador** permite el paso o interrupción de la corriente eléctrica mientras esté presionado o accionado, y cuando deja de presionarse este vuelve a su estado original o de reposo [21].



Figura 35. Pulsador de paro y marcha.

III. DISEÑO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se realiza en el presente proyecto, reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, por la razón que se utilizan conocimientos de ingeniería, con el fin de aplicar en el diseño mecánico de trituración y molienda para aumentar la producción de alimentos en la industria ganadera.

3.1.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a los alcances del trabajo de investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo.

3.1.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.1.2.1. POBLACIÓN

La aplicación de la población de esta investigación es destinada a toda industria ganadera de la Región Cayalti, que son abastecidas con las diferentes materias primas (forraje, cereales, tusa u olote, etc.), para su proceso de triturado y molido con finalidad de la alimentación del ganado.

3.1.2.2. MUESTRA

La muestra utilizada en la presente investigación, está desarrollada por la industria ganadera en la zona rural de Cayalti. Siendo dicha información recopilada de dichas maquinas utilizadas para la producción de triturado y molienda.

3.1.3. MÉTODOS Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.3.1. MÉTODOS

Los principales métodos que se utilizan en la investigación fueron: descriptivo e hipotético – deductivo.

3.1.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la presente investigación se desarrollará el modelo propuesto por Michel Jhosep French (1999), que se muestra en el siguiente esquema.

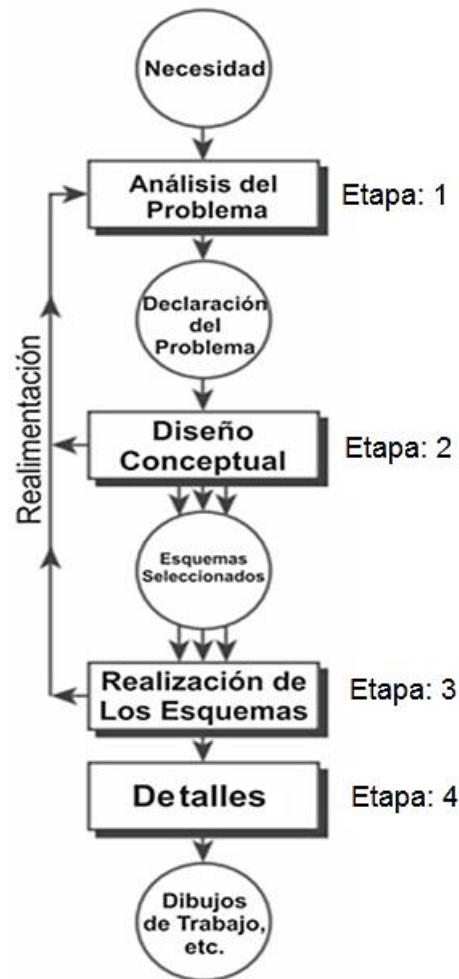


Figura 36. Modelo descriptivo del proceso de diseño.

Se basa en la práctica del diseño observado en la industria. Se compone de cuatro etapas [21]:

- **Etapa 1.** El proceso comienza con la observación de la necesidad de producción de la máquina trituradora, la cual se analiza a continuación, lo que lleva a un planteamiento del problema sin ambigüedades. Esto toma la forma de una lista de requisitos que debe cumplir el producto.
 - El diseño de la máquina trituradora tiene por objetivo abastecer la cantidad necesaria de producción de alimentos para la industria ganadera.
 - La máquina trituradora debe tener fácil manejo, seguridad de manipulación, bajo impacto ambiental.
 - Es necesario que la máquina funcione correctamente de acuerdo a los parámetros estándar.
 - El diseño de la trituradora nueva debe cumplir con los límites de carga del diseño establecido, así no causar pérdidas económicas y problemas en el funcionamiento.

- **Etapa 2.** Durante la fase de diseño conceptual de varios conceptos se generan, cada uno representando un conjunto de principios físicos para resolver el problema. Estos esquemas se transforman en una representación más concreta para permitir la evaluación y comparación. Los conceptos resultantes se evalúan y uno o más se seleccionan para formar la base de la solución final.
- **Etapa 3.** El diseño elegido se solidifica desarrollando con mayor detalle los cálculos necesarios, donde se convierte en un diseño definitivo para realizar dimensiones correctas de acuerdo a los parámetros de diseño establecido.
- **Etapa 4.** Diseño de detalle, como punto final se realizan Diseño de planos, esquemas de acuerdo a parámetros calculados, para el uso de su fabricación de nuevos componentes de la máquina trituradora.

3.2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

Para el diseño de la máquina trituradora, se considera los siguientes parámetros y características.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA

La capacidad la cual va a tener que operar la máquina trituradora es de 15 Tn/día y un horario de trabajo de 8 horas diarias. Por tanto, se especifica que la máquina trituradora tiene dos funciones.

- Triturar panca (forraje), que tiene una capacidad de 4500 Kg/día.
- Moler maíz con una capacidad de 8116,67 Kg/día.

La potencia nominal en una máquina trituradora se determina mediante la Ley de Bond “El trabajo necesario es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño producido” (Warren McCabe, Pag.891).

$$W = W_1 \left(\frac{100}{L_f} \right)^{0,5} \left(\frac{r^{0,5} - 1}{r^{0,5}} \right)$$

Dónde:

$W =$ Trabajo kwh/tn .

$w_1 =$ Constante energética (kwh/ton).

$L_f =$ Tamaño del producto molido (μm).

$L_i =$ Tamaño del producto antes de ser molido (μm).

$r = L_i/L_f$ coeficiente de desintegración.

El cálculo de la constante energética es la siguiente:

$$W_1 = \frac{44,5 \times 1,1}{(P_i)^{0,23} (g/r)^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{L_f}} - \frac{10}{\sqrt{L_i}} \right]}$$

P_i = Abertura de la malla empleada en micras.

g/r = granos por revolucion.

Luego para la capacidad del molino se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$W = \frac{P}{CP}$$

Dónde:

W = Trabajo $\left(\frac{KW}{Tn}\right)$.

P = Potencia mecánica (KW).

CP = Capacidad de producción $\left(\frac{Tn}{día}\right)$.

3.2.2. GEOMETRÍA DE MARTILLOS Y DISCOS

La disposición de los martillos en el molino da lugar al nombre de árbol de martillos. El principio fundamental es el impacto sucesivo producido por arboles al pasar el grano desde su tobera de alimentación hacia la zona inferior de la carcasa donde se halla el tamiz o criba.

La disposición de los martillos es simétrica tanto en el eje horizontal como en sus dimensiones. También en este caso, se tomará en cuenta las dimensiones de los discos.

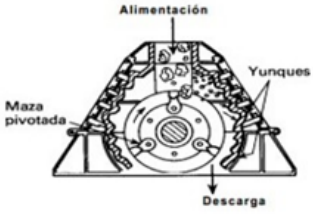
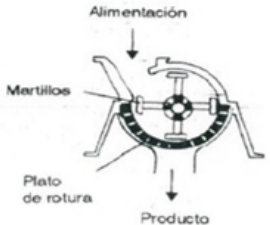
3.2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL ARMAZÓN DEL MOLINO DE MARTILLOS

Debido a la forma de ingreso del grano y la forma en la que actúan los martillos, es posible que existan partículas que puedan salir despedidas de la máquina a gran velocidad. Esto se podrá evitar mediante el adecuado diseño del sistema de alimentación, con el uso de compuertas que impidan el retorno del grano.

La forma del armazón en las cercanías a la circunferencia del impacto de los martillos, debe diseñarse de forma adecuada para que abarque el sistema de trituración e impida que los granos queden atrapados entre los martillos y el armazón.

En la tabla 15, se detallan alternativas de bastidores con diferente entrada de alimentación, de los cuales podemos tener referencia para el diseño del bastidor de la máquina actual.

Tabla 15. Matriz morfológica del armazón

Aspecto	Ventajas	Desventajas	
Alimentación superior	Mayor capacidad para el producto	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño complejo • Costo 	
Alimentación lateral	Fácil manufactura	Diseño solo para un eje	

Elaboración propia.

- Se utilizará la matriz de decisión de **Stuart Pugh** para la toma de decisiones. La mecánica es la siguiente: si es superior se coloca un signo “+”, si es inferior un signo “-” y si es igual “0”. Para mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1,1 y 0 respectivamente ya que permiten operar en plantillas de cálculo. Utilizaremos esta última nomenclatura de aquí en adelante [22].

3.2.4. TIPOS DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS

El tipo de material es un parámetro muy importante para este proyecto, es por eso que se realizara una selección de un adecuado material, el cual reemplazara al material que utiliza cada uno de los elementos de la trituradora. Según el funcionamiento de cada elemento de la máquina, se ira realizando el cambio de material de ser necesario, es decir, solo se reemplazarán los materiales que realicen más trabajo y esfuerzo en su funcionamiento, por ejemplo: ejes principales, ejes secundarios, los martillos, engranajes, etc.

Para esta selección del material a utilizar se tomó en cuenta la norma AISI-SAE, el cual utiliza el acero para la fabricación de ejes y árboles, que debido a sus propiedades mecánicas es lo suficientemente fuerte como para soportar los esfuerzos a los que pueda ser sometida la pieza.

Tabla 16. Tipos de acero.

Primera cifra	Tipos de aceros
1	Acero al Carbono
2	Acero al Níquel
3	Acero al Níquel-Cromo
4	Acero al Molibdeno
5	Acero al Cromo
6	Acero al Cromo Vanadio
7	Acero al Tungsteno
8	Acero al Níquel-Cromo-Molibdeno
9	Acero al Silicio-Magnesio

3.2.5. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Se realizará una selección del tipo de sistema de transmisión de potencia, para ver qué sistema de transmisión es la adecuada en el funcionamiento de la máquina trituradora. De acuerdo a la teoría, ya explicada en la parte teórica, se utilizará matriz de decisión para seleccionar el adecuado del sistema de transmisión de potencia.

3.2.6. FACTOR DE DISEÑO

Es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. Para algunos tipos de carga, es más cómodo establecer una relación con la que se pueda calcular el factor de diseño, a partir de los esfuerzos reales aplicados y de la resistencia del material.

Con frecuencia, el valor del factor de diseño o del esfuerzo de diseño está definido por códigos establecidos por organizaciones de normalización, como la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers), la Sociedad Estadounidense de Manufactura de Engranés (American Gear Manufacturers Association), el Departamento de la Defensa de Estados Unidos (U.S. Department of Defense), la Asociación de Aluminio (Aluminum Association) o el Instituto Estadounidense de Construcción de Acero (American Institute of Steel Construction). Cuando no se cuenta con códigos o normas, el diseñador debe aplicar su juicio para especificar el factor de diseño adecuado.

Tenemos los siguientes alineamientos.

Materiales dúctiles.

- $N=1,25$ a 2 . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
- $N= 2$ a $2,5$. Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
- $N= 2,5$ a 4 . Diseño de estructuras estáticas o elementos de maquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzo o el ambiente.
- $N = 4$ o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de maquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre en cuanto alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

3.3. SELECCIÓN DE DISEÑO PARA LA MÁQUINA TRITURADORA

3.3.1. SELECCIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA

De acuerdo con las características técnicas, costos, tipos de trituración y molienda, se ha realizado la siguiente matriz de decisión, con la finalidad de seleccionar el tipo de trituradora adecuado de acuerdo al tipo de material a utilizar.

Tabla 17. Matriz de decisión tipos de trituradora.

		Tipos de trituradora				
		Mandíbula	Giratoria	Rodillos	Martillos	Sinfín
Concepto	Costo	-1	-1	-1	1	1
	Rendimiento	1	1	1	1	-1
	Energía	-1	-1	-1	-1	-1
	Tipo de material	-1	-1	1	1	-1
	Trituración y molienda	-1	-1	1	1	1
	Total	-3	-3	1	3	-1

Elaboración propia.

3.3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE MARTILLOS

Teniendo en cuenta el tipo de material que se va a procesar en la máquina trituradora, y los requerimientos de trabajo especificados anteriormente en la base teórica, se realizó la siguiente matriz de decisión con el fin de seleccionar adecuadamente el tipo de martillo a utilizar.

Tabla 18. Matriz de decisión tipos de martillos. [22]

		TIPOS DE MARTILLOS					
		Fusión	Estándar	Resistencia	Escalonado	Bañera	Especial
Concepto	Costo	1	1	1	1	1	1
	Corte	1	-1	1	-1	1	1
	Rendimiento	1	1	1	-1	1	1
	Recubrimiento	1	-1	1	1	1	-1
	Vida útil	-1	-1	-1	1	1	-1
	TOTAL	3	-1	3	1	5	1

Elaboración propia.

3.3.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

De acuerdo a los diferentes tipos de transmisión que hay en el mercado, se optó por la transmisión de unión por bridas, es más comercial y usada para uniones de ejes, teniendo una mejor unión, transmisión de potencia, mantenimiento fácil y económico, que facilita el ensamblaje de la máquina trituradora.



Figura 37. Tipos de transmisión por brida.

3.3.4. SELECCIÓN DE ARMAZÓN PARA LA MÁQUINA TRITURADORA

Para la selección del armazón se considera la tabla 19, Donde tenemos las ventajas y desventajas. De acuerdo a la matriz de evaluación del armazón se toma en cuenta detalles a

evaluar de fabricación, manufacturabilidad, seguridad, mantenimiento, costos, tamaños, resistencia, peso y funcionalidad de cada pieza.

Tabla 19. Selección del tipo de armazón para el molino.

SELECCIÓN DEL TIPO DE ARMAZON										
	ASPECTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN							TOTAL	
		Mn	S	Mt	C	T	P	R		F
1	ALIMENTACIÓN SUPERIOR	1	1	1	1	1	-1	1	1	7
2	ALIMENTACIÓN LATERAL	1	-1	1	1	-1	1	1	1	6

Elaboración propia.

Finalmente llegando a una selección de alternativa 1, que tiene el armazón de ingreso por la parte superior de la máquina. Tiene mejor ingreso a la cámara de trituración, evitando el retorno de la materia prima.

3.3.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE CRIBAS

En esta selección se toma en cuenta que las cribas tienen como función definir el tamaño final de la partícula, todo depende el diámetro de perforación de la plancha.

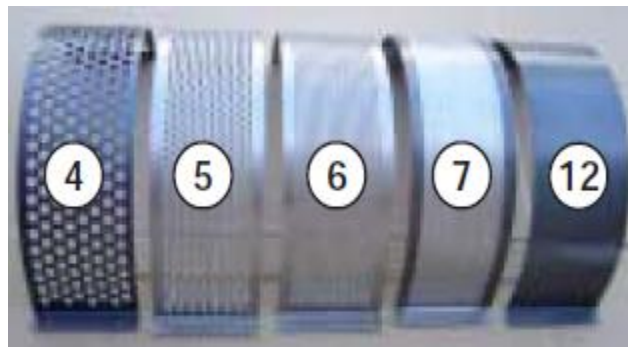


Figura 38. Tipos de cribas.

IV. RESULTADOS Y CALCULOS JUSTIFICATIVOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

En las siguientes tablas N°20, 21. Se ve el cuadro alimenticio de ganado, ovino y cerdos, estas raciones alimenticias son diarias.

Cuadro alimenticio de ganado y ovino.

Tabla 20. Alimento balanceado para ganado y ovino.

Producto	Kg en ganado	Kg en ovino	% en producto
Panca	15	15	30
Algarroba	11,5	11,5	23
Harina de pescado	2	2	4
Pasta de algodón	1,5	1,5	3
Polvillo	7,5	7,5	15
Maíz	1,5	1,5	3
Urea	0,5	0,5	1
Sal yodada	0,5	0,5	1
Melaza	10	10	20
Total	50	50	100

Elaboración propia

Cuadro alimenticio de cerdos.

Tabla 21. Alimento balanceado para cerdos.

Materia prima por Kg	Pre inicio 1 día - 5 semanas	Inicio 5-8 semanas	Crecimiento 8-18 semanas	Engorde 18 semanas-mas
Maíz	25			
H. pescado	3	3	3	3
polvillo	15	10	10	5
calcio	0,5			
Soya	1,5	0,5		
Azúcar	0,5			4,5
Lechoncina	1	5	5	
Afrecho	3,5	8	7,5	7,5
Melaza		5	8	10
Maíz molido		14,5	12,5	17,5
Pasta de algodón		4	4	2,5
Total	50	50	50	50

Elaboración propia

Encuesta realizada a criadores de ganado lechero y porcino en la zona de Zaña – Cayalti, dicha encuesta se realizó a un determinado sector del 10% de toda la población pecuaria.

Tabla 22. Encuesta de criadores de ganado y porcino Zaña – Cayalti.

Criadores zona Zaña - Cayalti	Ganado lechero y engorde	Ganado porcino
Sr. Jorge Cueva	30	94
Sr. Ramón Aguilar	15	76
Sr. Salvador Olivares	10	70
Sr. Oscar Lara	10	100
Sr. Ramón Benavidez	10	65
Sr. Tomas Sandoval	20	80
Sr. Charly Días	20	80
Sr. Juan Olivares	8	85
Sra. Marta Uriarte	13	75
Sr. Segundo Gamonal	16	90
Sr. Tomas Bolaños	15	90
Sr. Santos Colchado	20	95
Total	187	1000

Elaboración propia

- ❖ En tabla N°22. Se muestra el valor de 187 que pertenece al número de ganado lechero y engorde, como también los 1000 que son de ganado porcino. La encuesta realizada fue elaborada en un determinado radio de cercanía de la zona Zaña – Cayalti.

Tabla 23. Población pecuaria en los distritos del departamento de Lambayeque al mes de julio del año 2001

Provincia	Distrito	Ganado vacuno	Ganado porcino	Ganado ovino
Lambayeque	Lambayeque	7150	1952	3348
	Morrope	2295	486	512
	San José	1260	318	524
	Mochumi	6276	842	792
	Túcume	3817	507	460
	Illomo	228	483	672
	Pacora	2423	563	1068
	Salas	667	366	1404
	Chochope	859	417	1036
	Motupe	5800	7602	4688
	Olmos	2918	3607	4456
	Chiclayo	Chiclayo	1800	2640
Pimentel		3935	1710	740
Reque		4250	4000	1580
J.L.Ortiz		2750	3000	1000
La victoria		3170	2500	925
C. Eten		1400	1980	680
Monsefu		5550	880	1060
Zaña		1400	1200	800
N. Arica		1590	1081	1825
Oyotun		2760	1325	1824

Tesis “Diseño de pequeñas plantas elaboradas de alimentos balanceados, para el uso en la alimentación pecuaria en unidades agropecuarias del departamento de Lambayeque”.

Autor: James Skimner Celada Padilla.

- ❖ En la tabla N°23. Nos muestra la población pecuaria (vacuna, ovina y porcina) en Zaña, la que nos permite saber que tenemos un número adecuado de población pecuaria para su alimentación.

De acuerdo a los cuadros alimenticios de ganado, cerdos y ovinos, la materia prima (M.P) a procesar por la maquina se obtiene con respecto a la encuesta realizada en la zona **Zaña – Cayalti**, y los datos obtenidos por **MINAG** (Ministerio de agricultura y riego).

Con el cuadro de MINAG.

En panca se va a procesar:

Panca a procesar por Tn

$$= (\text{kg de panca para vacuno} + \text{kg de panca para ovino})$$

$$* \Sigma \text{ de \# de ganado} + \text{ovino}$$

$$(15 + 7,5) \times (1400 + 800) = \mathbf{49,5 Tn}$$

En polvillo:

Polvillo a procesar por Tn

$$= [(\text{kg para vacuno} + \text{kg para ovino} + \text{kg para porcino})]$$

$$* [(\# \text{ ganado} + \# \text{ ovino} + \# \text{ porcino})]$$

$$[7,5 + 3,75 + (15 + 10 + 10 + 5)] \times (1400 + 1200 + 800) = \mathbf{174,25Tn}$$

En maíz molido:

$$\text{Maiz molido a procesar por Tn} = (\text{kg para porcino}) * (\# \text{ de porcino})$$

$$(14,5 + 17,5 + 12,5) \times 1200 = \mathbf{53,4 Tn}$$

Sumando la M.P a procesar:

$$49,5Tn + 174,25Tn + 53,4Tn = \mathbf{277,15 Tn \text{ de M. P a procesar diariamente.}}$$

Encuestados en la zona Zaña – Cayalti.

En panca a procesar:

$$\text{Panca a procesar por Tn} = (\text{kg de panca para vacuno}) * \Sigma \text{ de \# de vacuno}$$

$$(15) \times 187 = \mathbf{2,805Tn}$$

En polvillo a procesar:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Polvillo a procesar por Tn} \\
 & = [\textit{kg para vacuno} + (\textit{kg para porcino})] \\
 & * [(\textit{\# ganado} + \textit{\# porcino})] \\
 & [7,5 + (15 + 10 + 10 + 5)]x (187 + 1000) = \mathbf{56,382Tn}
 \end{aligned}$$

En maíz molido para chanco a procesar:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Maiz molido a procesar por Tn} = (\textit{kg para porcino}) * (\textit{\#de porcino}) \\
 & (14,5 + 17,5 + 12,5) x 1000 = \mathbf{44,5Tn}
 \end{aligned}$$

Sumando la M.P a procesar:

$$2,805Tn + 56,382Tn + 44,5Tn = \mathbf{10,687Tnde M. P a procesar diariamente.}$$

- ❖ De acuerdo al cuadro de MINAG en el año 2001, tenemos un valor de **277,15** toneladas de M.P a procesar diariamente. La cual nos indica que en la zona rural de Zaña – Cayalti tiene mercado para la producción de alimento para ganado.
- ❖ En la encuesta en la zona Zaña – Cayalti realizada el año 2017, se obtuvo como resultado **103,387** toneladas de M.P a procesar diariamente. Este valor actual nos indica que se tiene una producción para la realización del proyecto.

Se realizó un cuestionario a la persona a la cual requiere implementar un nuevo sistema de trituración para la alimentación de ganado.

- Sacos de alimentos al día: 300 Sacos/día
- Toneladas día: 15 Tn/día
- Costo del Saco: S/. ---
- Trabajo por día: 8 a 10 horas

4.2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DISPONIBLE DE MATERIA PRIMA POR 1HA SEMBRADA EN CHACRA

Producción en chacra:

- 1fanega de maíz; equivale a 6 sacos de 70kg = 420kg de maíz.
 - ✓ En 1 Ha de maíz; equivale de 15 – 20 fanegas = 6,300 – 8,000 kg de maíz por Ha.
- 1 Ha equivale a 15 Tn de panca.
 - ✓ Entonces sacando un promedio por 1 Ha de maíz tenemos 7,350 kg. La cual será sumada a las 15Tn de panca.
 - ✓ Se obtiene que por 1 Ha producida entre panca y maíz tenemos un total de **22,350 kg.**
- Con datos de muestra de Agencia Agraria Lambayeque, haciendo una encuesta de productores rurales de la zona Zaña - Cayalti tenemos:

Tabla 24. Hectáreas por propietarios.

Criadores zona Zaña - Cayalti	Hectarias (Ha) por propietario
Sr. Jorge Cueva	30
Sr. Ramón Aguilar	15
Sr. Salvador Olivares	12
Sr. Oscar Lara	10
Sr. Ramón Benavidez	15
Sr. Tomas Sandoval	20
Sr. Charly Días	20
Sr. Juan Olivares	8
Sra. Marta Uriarte	15
Sr. Segundo Gamonal	20
Sr. Tomas Bolaños	15
Sr. Ramon Abanto	20
Total	200

Propia.

Tabla 25. Siembra de maíz amarillo duro.

Siembras (ha) de maíz amarillo duro			
perido: Agosto - Julio			
Distrito	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Cayaltí	481	630	274
Zaña	1,002	1,116	519
Total genera	1,483	1,746	793

Agencia Agraria Lambayeque

Tabla 26. cosecha y producción de maíz amarillo duro.

Cosechas (ha) y produccion (t) de maíz amarillo duro						
perido: enero - diciembre						
Distrito	2014		2015		2016	
	Cosechas (ha)	Producción (t)	Cosechas (ha)	Producción (t)	Cosechas (ha)	Producción (t)
Cayaltí	481	3,253	630	4,281	254	1,924
Zaña	998	6,538	1,116	7,383	398	2,784
Total genera	1,479	9,791	1,746	11,664	652	4,708

Agencia Agraria Lambayeque

Tabla 27. Cultivo de maíz chala.

Áreas sembradas (ha) del cultivo de maíz chala, según valle						
Etiquetas de fila	agosto - enero			enero		
	2015-2016	2016-2017	% Var.	2015-2016	2016-2017	% Var.
Total	795	651	-18.11	158	140	- 11.39
Chancay-Lambayeque	441	278	-36.96	75	38	- 49.33
La Leche	330	360	9.09	80	100	25.00
Motupe	10	-	- 100			
Zaña	14	13	- 7.14	3	2	- 33.33

Agencia Agraria Lambayeque

- En la encuesta realizada a productores se obtuvo que por 1Ha sembrada se obtiene **22,350 kg** de maíz y panca.
 - ✓ Teniendo en cuenta que las personas encuestadas cuentan con un promedio de 10 a más hectáreas por propietario, se tiene unas **200 Ha** que se producen en la zona de Zaña – Cayalti.
 - ✓ Entonces de acuerdo a las 200 hectáreas sembradas por los agricultores, tenemos que en producción se obtiene promedio de 4, 470,000 kg/Ha. La cosecha de maíz y chala se da cada 6 meses. Tenemos que por cada mes nos da **745, 000 kg/Ha**.

Como el proyecto de tesis vamos a producir 15Tn/día. Se tiene que mensualmente vamos a obtener una producción de **450, 000 kg/mes.**

4.3. MATERIA PRIMA A UTILIZAR EN 15 TN/DÍA

Se utiliza el cuadro de alimenticio que necesita cada ganado (vacuno, ovino y porcino)

- Para panca (chala).

Vacuno + ovino = 15+15= 30 kg de panca

Aplicamos regla de tres simple:

$$\begin{aligned} 30kg \text{ de panca} &- 100kg \text{ de concentrado} \\ x &- 15,000kg \text{ de concentrado} \\ \mathbf{x} &= \mathbf{4,500 \text{ kg de panca}} \end{aligned}$$

- Maíz molido.

Porcino: inicio + crecimiento + engorde = 14,5 + 12,5 + 17.5 = 44,5 kg de maíz molido.

Aplicamos regla de tres simple:

$$\begin{aligned} 44,5kg \text{ de maiz molido} &- 150kg \text{ de concentrado} \\ x &- 15,000kg \text{ de concentrado} \\ \mathbf{x} &= \mathbf{4,450 \text{ kg de maiz molido}} \end{aligned}$$

- Polvillo.

Ganado + ovino + pre inicio + inicio + crecimiento + engorde = 7,5 + 7,5 + 15 + 10 + 10 + 5 = 55kg de polvillo.

Aplicamos regla de tres simple:

$$\begin{aligned} 55kg \text{ de polvillo} &- 300 \text{ kg de concentrado} \\ x &- 15,000kg \text{ de concentrado} \\ \mathbf{x} &= \mathbf{2750 \text{ kg de polvillo}} \end{aligned}$$

- De acuerdo a los productores dedicados al proceso de maíz, se tiene que por 1 kg de maíz se obtiene 0,75 kg de polvillo, por 1 kg de maíz se obtiene 1 kg de maíz chancado.

$$\begin{aligned} 1kg \text{ de maiz} &- 0,75 \text{ kg de polvillo} \\ x &- 2750kg \text{ de polvillo} \\ \mathbf{x} &= \mathbf{3666,67 \text{ kg de maiz a procesar para polvillo.}} \end{aligned}$$

- Total, de materia prima a procesar para 15 tn.

$$\text{Panca} + \text{polvillo} + \text{maíz molido} = 4500 + 4450 + 3666,67 = \mathbf{12,616.67 \text{ kg.}}$$

4.4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

La capacidad de molienda es el primer parámetro que se requiere para el diseño de molino. El molino de martillo opera diariamente 8 horas, con la finalidad de obtener una producción de 8116,67 Tn/día.

Los 8116,67 Tn/día, es la suma de maíz molido más el polvillo necesario a procesar.

$$4450 \text{ kg} + 3666.67 \text{ kg} = 8116,67 \text{ Tn/día.}$$

$$\text{Masa a procesar} = \frac{8116,67 \text{ Kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hr}} = \mathbf{1,014.58 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}$$

4.4.1. CALCULO DEL NÚMERO DE MARTILLOS

El presente proyecto requiere una capacidad de procesamiento de 1014,58 kg/hr además se sabe que por (1 grano de maíz se obtiene una masa de 0,38 gr. [1]), Con la siguiente conversión se calcula la cantidad de granos de maíz que deben impactar contra el martillo.

$$1,014.58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1,000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ grano}}{0,38 \text{ gr}} = 44,499.12 \frac{\text{granos}}{\text{min}}$$

(C. Hall y F. Salas Arango, Equipo para procesamiento de productos agrícolas, pág. 8).

Considerando el valor recomendado para la velocidad angular de un molino de martillos, que oscila entre las 3000 y 3500 rpm, el cual no se requiere trabajar al límite de revoluciones, además que el trabajo del motor será continuo, se ha escogido un valor intermedio de 3250 rpm. [23].

Si se divide el número de forraje por minuto a triturar, para los 3250 rpm escogidas, se obtiene aproximadamente el número de forraje que se deberán partir por cada revolución del eje del motor.

$$\text{para maíz : } \frac{44,499.12 \frac{\text{granos}}{\text{min}}}{3250 \text{ rpm}} = 13,69 \approx 16 \frac{\text{granos}}{\text{rev}}$$

Con esta información se tiene en cuenta que la máxima cantidad de granos a triturar es 16 granos, considerando la distribución de la cámara de trituración se tomara 16 martillos para su mejor distribución. Como cada martillo tritura como promedio un solo grano, se establece que se necesita 16 martillos, los mismos que son predispuestos en una cantidad de 4 martillos (separados 90 grados entre sí) por disco porta martillos, todos estos en una sola cámara de molienda, lo que resulta un total de 2 discos.

4.4.2. CALCULO DE MARTILLOS

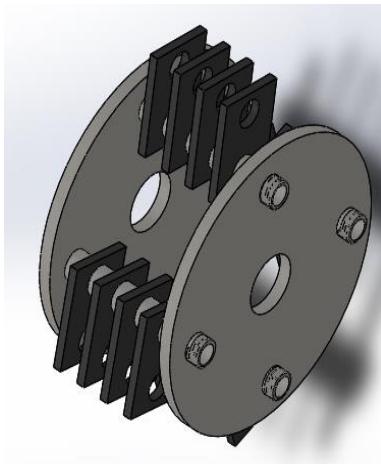
Para el diseño de los martillos se analizará algunos factores como: velocidad del rotor, el tipo de producto a triturar. En este caso se toma en cuenta que el maíz representa el 60% del alimento que se triturara.

Cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación aparece la fuerza centrífuga, la misma que tiende a que el objeto se aleje del centro de rotación, en el caso de los martillos es la fuerza centrífuga la que los coloca en posición de trabajo.

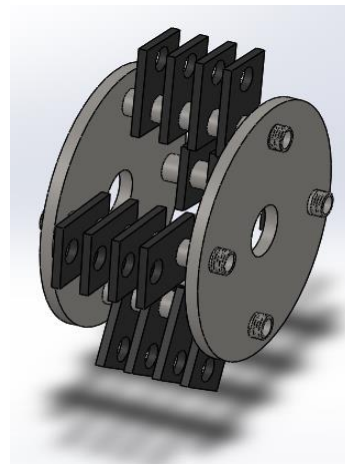
El cálculo de martillos es fundamental en la trituradora, se tiene en cuenta que el martillo cuenta con 2 posiciones:

- ✓ **Posición inicial:** Es la posición que adquieren los martillos antes del encendido de la trituradora.
- ✓ **Posición de trabajo:** Es la posición que adquieren los martillos una vez encendido el triturador.

Cuando se describe el movimiento de un cuerpo es un sistema de referencia en rotación aparece la fuerza centrífuga, la misma que tiende a que el objeto se aleje del centro de rotación, en el caso de los martillos es la fuerza centrífuga la que los coloca en posición de trabajo.



Posicion inicial



Posicion de trabajo

Figura 39: Posición de los martillos.

La energía necesaria para romper el maíz ($E_{ruptura}$), es equivalente a dejar caer un objeto de 0,45 Kg desde una altura de 15 cm, la masa aproximada de 1 grano de maíz equivale a 0.38gr. (Ley de Charpy) [1].

La energía de ruptura del maíz, se puede calcular mediante la ecuación de la energía potencial, descrita a continuación [2].

- Energía potencial.

$$E_{ruptura} = m_o * g * h \quad (\text{Zemansky Pag. 214})$$

Dónde: m_o = masa del objeto = 0,45 Kg

g = gravedad = 9,81 m/s²

h = altura = 15 cm

Reemplazando valores, se obtiene:

$$E_{ruptura} = 0,45 * 9,81 * 0,15$$

$$E_{ruptura} = 0,662 \text{ Nm}$$

4.4.3. VELOCIDADES TANGENCIALES DEL MARTILLO

La ecuación anterior se puede traducir como la energía que debe tener el martillo cuando está girando y choca contra el grano, esto es debido a la caída de un objeto el cual produce la energía potencial. Sin embargo, cuando en la molienda el grano de maíz choca con el martillo se genera energía cinética, la ecuación de esta energía se da a continuación.

- Energía cinética.

$$E_c = \frac{1}{2} m_t * v^2 \quad (\text{Zemansky Pag. 187})$$

Dónde:

E_c = energía del maíz

m_t = masa del maíz

v = velocidad del martillo

Esta ecuación se deduce como la energía del grano al momento del impacto con el martillo. Al igualar la energía potencial y cinética, y despejando la velocidad de la expresión obtenida, tenemos.

- Velocidad tangencial del martillo.

$$v_t = \sqrt{\frac{m_o * g * h}{0,5 * m_t}}$$

Reemplazando valores, se obtiene:

$$v_t = \sqrt{\frac{450 \text{ gr} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,15\text{m}}{0,5 * 0,38 \text{ gr}}}$$

$$v_t = 40,68 \text{ m/s}$$

La velocidad obtenida es la velocidad tangencial del martillo, que la denominaremos v_t (velocidad al vacío, o sin carga).

Al momento de la trituración o molienda, cuando el grano choca con el martillo se produce una disminución en la velocidad del mismo, por lo que existe una velocidad que será menor a la velocidad de vacío, que se le denominará v_c (velocidad con carga).

Para el cálculo de v_c , se analiza el conjunto moedor (martillos, discos, ejes y demás componentes) como un solo cuerpo que gira a esto se lo conoce como volante.

- Coeficiente de fluctuación.

$$C_s = \frac{v_t - v_c}{V} \text{ (shigley, Pag. 847)}$$

Dónde:

V = velocidad tangencial del volante (velocidad media), por lo tanto:

$$V = \frac{v_t + v_c}{2} \text{ (shigley, Pag. 848)}$$

Reemplazamos la ecuación del coeficiente de fluctuación y de la velocidad media, y obtenemos.

- Velocidad tangencial con carga.

$$v_c = -v_t \left(\frac{C_s - 2}{C_s + 2} \right)$$

COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN *	
Tipo de máquina	C_f
Maquinaria de machaqueo	0,200
Maquinaria eléctrica	0,003
Maquinaria eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,020
Transmisión rueda dentada	0,020
Martillos	0,200
Máquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030-0,050
Maquinaria de corte	0,030-0,050
Maquinaria de hilanderías	0,010-0,020
Maquinaria textil	0,025

Figura 40. Coeficiente de fluctuación.

El valor del coeficiente de fluctuación para molinos es 0,2 según la tabla anterior. Reemplazamos este valor en la ecuación de la velocidad tangencial con carga, obtenemos

$$v_c = -40,68 \text{ m/s} \left(\frac{0,2 - 2}{0,2 + 2} \right)$$

$$v_c = 33,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como v_c es menor a v_t , existe una cesión de potencia por parte del volante al grano.

Con el dato obtenido podemos calcular la velocidad angular con carga mediante la siguiente ecuación:

- Velocidad angular final.

$$\omega_c = \frac{v_c}{r_g} \text{ (Zemansky, Pag. 293)}$$

De esta relación se deduce el radio de giro, que es necesario para obtener la velocidad angular que va a tener el martillo.

- Radio de giro.

Para el radio de giro del molino que se puede observar en la figura 32.

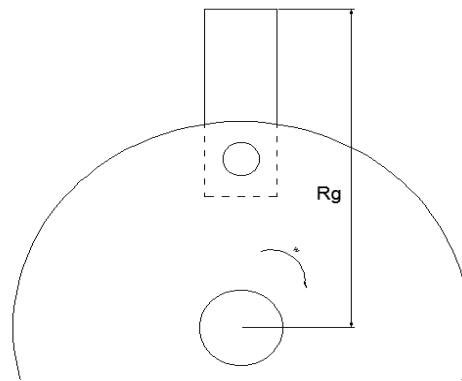


Figura 41. Radio geométrico.

La velocidad tangencial también se calcula en base a la velocidad angular (ω_{RPM}) y radio de giro (Rg).

$$v_c = \frac{\omega_{RPM} * 2\pi * Rg}{60}$$

$$Rg = \frac{33,28 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 60}{3250 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 2\pi}$$

$$Rg = 0,097 \text{ m} = 9,77 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

Para fácil manejo se tomará un valor de radio de giro de 0.1 m, el cual se usará para calcular la velocidad angular con carga.

Al momento de la trituración o molienda, cuando el grano choca con el martillo se produce una disminución en la velocidad del mismo, por lo que existe una velocidad que será menor a la velocidad de vacío, que se le denominará v_c (velocidad con carga).

Con el dato obtenido de v_c , podemos calcular la velocidad angular con carga definido en la siguiente ecuación.

$$\omega_c = \frac{v_c}{r_g} \text{ (Zemansky, Pag. 293)}$$

De esta relación se deduce el radio de giro, que es necesario para obtener la velocidad angular que va a tener el martillo.

$$\omega_c = \frac{v_c}{r_g}$$

$$\omega_c = \frac{33,28}{0,1} = 332,8 \frac{rad}{s}$$

La velocidad angular del molino, la cual es igual a la velocidad angular de vacío ω_v .

$$\omega_v = 3250 \text{ rpm} = 340,34 \frac{rad}{s}$$

Obtenidas las velocidades angulares, se puede calcular la aceleración del sistema, por medio de la siguiente ecuación

- Aceleración angular

Partimos de la ecuación del movimiento angular desacelerado

$$\omega_v^2 = \omega_c^2 + 2 * \alpha * \theta \text{ (Zemansky, Pag. 291)}$$

Dónde:

α = aceleración angular

θ = ángulo de separación entre martillos (cada disco tendrá cuatro ejes porta martillos, por lo tanto, este ángulo será de 90 grados)

$$\theta = 90^\circ = 1,5708 \text{ rad}$$

Por lo tanto, de la ecuación anterior obtenemos:

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 * \theta}$$

$$\alpha = \frac{(340,34)^2 - (332,8)^2}{2 * 1,5708}$$

$$\alpha = 1615,57 \frac{rad}{s^2}$$

De acuerdo una encuesta realizada al Señor: **Richard Jaramillo**, la cual se dedica a la construcción de trituradoras y molinos de martillos se ha obtenido los siguientes datos:

Martillos:

- Espesor de cada martillo =plancha de $\frac{1}{4}$ " =**0,635 cm.**
- Longitud de cada martillo = 7 a 10 cm, utilizaremos una longitud de martillo de **7 cm.**
- Ancho de cada martillo = 3.5 a 6 cm, utilizaremos un ancho de martillo de **5 cm.**

Disco:

- Espesor de cada disco: $\frac{1}{8}$ " =**0,9525 cm.**
- Radio de disco: **10 cm.**

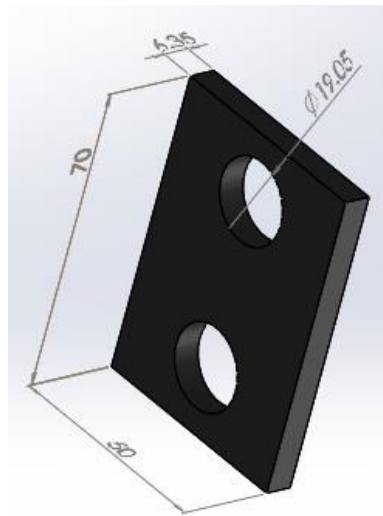


Figura 41. Martillo.

De acuerdo a los parámetros escogidos tenemos:

$$e = 0,635cm$$

$$L = 7cm$$

$$a = 5 cm$$

Tipo de material para el martillo: De acuerdo a norma AISI, Acero AISI 1045. Con densidad de $7850 \frac{kg}{m^3}$ [24].

A partir de su geometría establecida del martillo, se determinará la masa del martillo.

$$m_m = \rho \times V$$

$$m_m = \rho \times L \times a \times e$$

$$m_m = \left(7850 \frac{kg}{m^3}\right) (2,2225 \times 10^{-5} m^3)$$

$$m_m = 0.174kg$$

4.4.4. CALCULAMOS LA FUERZA DE CORTE

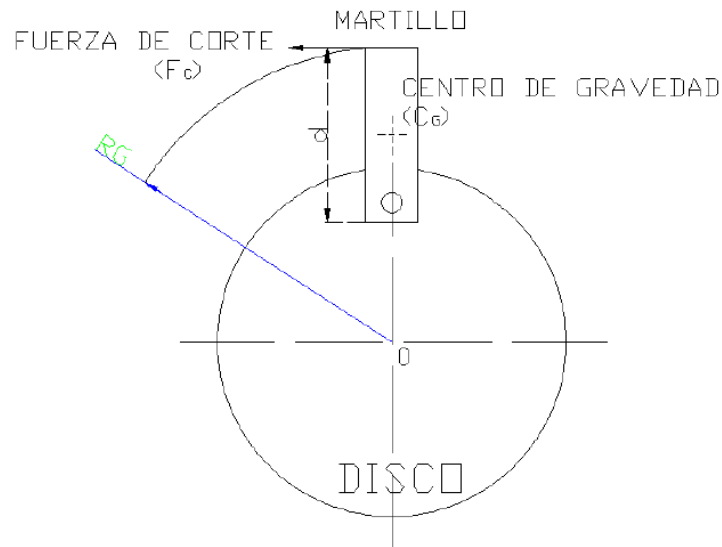


Figura 42. Diagrama de fuerza de corte.

El momento de inercia del martillo está dado por la siguiente ecuación

- Momento de inercia del martillo (placa rectangular para con lado perpendicular al eje de rotación L con m) (Anexo 1)

$$I_o = \frac{1}{12} * m_m * L^2$$

Dónde:

m = masa del martillo.

L = longitud del martillo.

4.4.5. ANÁLISIS DE FUERZAS PRESENTES EN EL MARTILLO

Teniendo los siguientes datos de la densidad del material del martillo 7850 kg/m^3 [24], $V = 2,2225 \times 10^{-5}$, $L = 0,07 \text{ m}$.

Por lo tanto, el momento de inercia es:

$$I_o = \frac{1}{12} * m_m * L^2$$

$$I_o = \frac{1}{12} * 0,174 * (0,07)^2$$

$$I_o = 7,105 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

- **Fuerza de corte.**

La fuerza corte produce un momento que es dado por la siguiente ecuación.

$$M = F_c * d \text{ (fisica teoria y problemas Pag. 69)}$$

El momento que produce la fuerza de corte con respecto al centro de giro del martillo viene dado por la siguiente ecuación:

$$M = I_o * \alpha$$

Entonces se iguala ambas ecuaciones y se despeja la fuerza de corte:

$$F_c = \frac{I_o * \alpha}{d}$$

$$F_c = \frac{7,105 \times 10^{-5} \text{ Kg. m}^2 * 1615,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}}{0,07 \text{ m}}$$

$$F_c = 1,64 \text{ N}$$

Falla por rotura o cizalladura.

Debido al orificio en el martillo, puede generarse una falla por rotura, como se muestra en la figura.

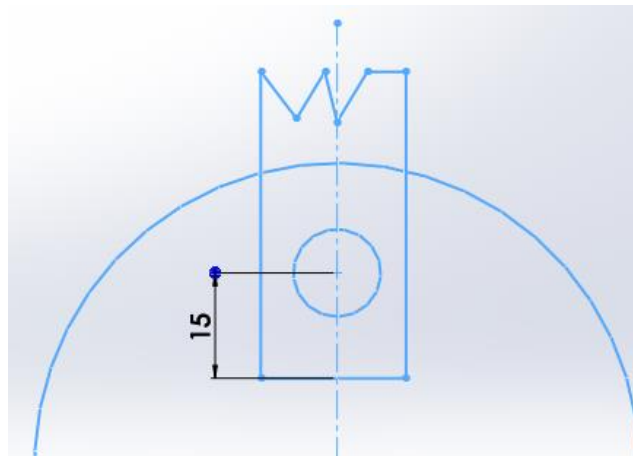


Figura 43. Diagrama de rotura.

Calculamos el área de desgarramiento mediante la siguiente ecuación.

- Área de desgarramiento

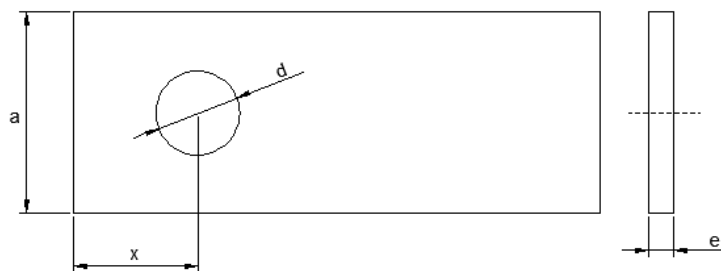


Figura 44. Sección de análisis por ruptura.

$$A = (a - d) * e$$

Dónde:

e = espesor del martillo = 0,635 cm = 0,00635 m

a = ancho del martillo = 5 cm = 0,05m

d_1 = 1,5 cm = 0,015 m, distancia del centro del orificio al borde del martillo.

Reemplazamos los datos y obtenemos:

$$A = 0,635 \times 1,5 = 2,225 \times 10^{-4} m^2$$

Calculando la fuerza centrífuga, para garantizar que los martillos se mantengan en la posición de trabajo.

- Fuerza centrífuga.

$$F_{cf} = w_v^2 * m_m * Rg \text{ (Zemansky, Pag. 158)}$$

$$F_{cf} = (340,34)^2 \frac{rad^2}{s^2} * 0,174 \text{ Kg} * 0,1 \text{ m}$$

$$F_{cf} = 2015,14 \text{ N}$$

El valor de la fuerza centrífuga es mucho mayor que la fuerza tangencial o de corte, esto quiere decir que el martillo si mantiene su posición de trabajo.

Con el valor obtenido de la fuerza centrífuga, calculamos el esfuerzo normal

- Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A}$$

$$\tau = \frac{2015,14 \text{ N}}{2,225 \times 10^{-4} m^2} = 9,95 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

Los martillos utilizan material AISI 1045 con $S_y = 530 \text{ MPa}$ (tabla A-24, Shigley), por lo tanto el factor de seguridad para materiales impacto o choque se calcula con la siguiente ecuación.

$$n = \frac{S_y}{12\tau_c} \text{ (Mott, Pag. 119)}$$

$$n = \frac{530}{12 * 9,95} = 4.44$$

El factor de seguridad está dentro del rango los cuales son los permitidos, por lo que no existe falla por rotura o cizalladura.

4.4.6. FALLA POR TRACCIÓN

Se realiza el cálculo del esfuerzo normal.

- Esfuerzo normal

El esfuerzo normal por tracción, debido a la fuerza centrífuga se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} \quad (\text{Zemansky, Pag. 19})$$

Dónde:

A_{st} = Área de la sección transversal del martillo: e x a

$$\sigma = \frac{2015,44 \text{ N}}{0,00635 * 0,05} = 6,3478 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

Los martillos utilizan material ASISI 1045 con $S_y = 350 \text{ MPa}$ (tabla A-24, Shigley), por lo tanto el factor de seguridad para materiales impacto o choque torsional se calcula con la siguiente ecuación.

$$n = \frac{S_{ut}}{12 \sigma} \quad (\text{Mott, Pag. 202})$$

$$n = \frac{350}{12 * 6,3478} = 4,59$$

El factor de seguridad es alto, por lo tanto, no existe falla por desgarramiento o cizalladura.

Tabla 28. Parámetros de diseño para martillos

	Masa	Inercia	Aceleración	Velocidad angular-carga	Fuerza tangencial
	m_m	I_o	α	ω	F_c
Unidad	Kg	Kg/m ²	Rad/s ²	Rad/s	N
Valor	0,174	$7,105 \times 10^{-5}$	1615,57	332,8	1,64

Elaboración propia.

4.5. DISEÑO DE LOS DISCOS PORTA MARTILLOS

Con la información obtenida de los elementos de la máquina trituradora y molineras, tenemos que los discos son circulares, esta geometría presenta algunas ventajas con relación a otras, como por ejemplo a la cuadrangular.

Tabla 29. Ventajas y desventajas de discos.

Ventajas	Desventajas
La fuerza centrífuga (radial en todo momento) coloca a los martillos en posiciones de 90 ° entre sí.	Ligeramente más pesado que otras configuraciones, como la triangular y rectangular
Mejores condiciones para el balanceo dinámico, ya que es circular	Requiere mayor número de martillos, 4 por cada disco

Elaboración propia.

La configuración circular permite que en todo momento la fuerza centrífuga sea radial posicionado correctamente a los martillos en modo de trabajo.

El molino de martillos debe estar correctamente balanceado, por esta razón la ubicación de los ejes secundarios en el disco debe ser de tal forma que no altere el centro de gravedad del disco, es decir a 60°, 90°, 120°, etc. La selección dependerá del diseñador. Como se estableció anteriormente la configuración que utilizara es de 90°.

De acuerdo al radio de giro calculado y longitud de herramienta de percusión se utilizarán discos de diámetro 20 cm.

Se utilizará un material de Acero al carbono fundido que comercialmente viene en plancha de 3/8 pulg.

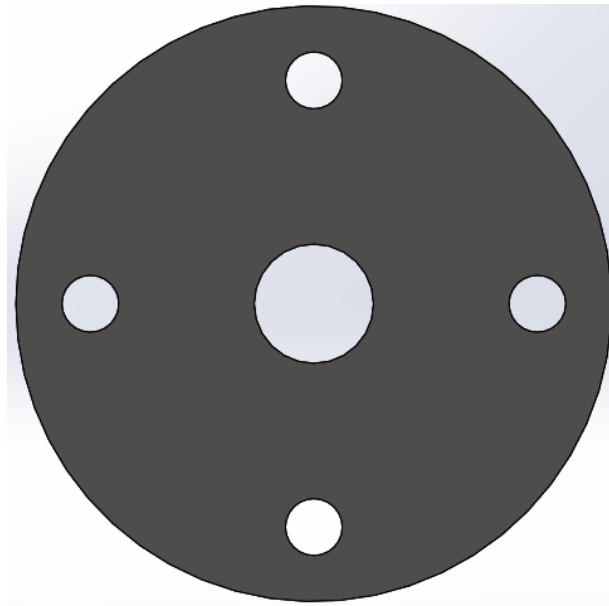


Figura 45. Disco porta martillos.

4.6. DISTRIBUCIÓN DE LOS MARTILLOS

Los ejes secundarios están dispuestos en el disco cada uno a 90° .

El número de martillos que se coloquen en los ejes secundarios depende del criterio del diseñador, pero tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- La distribución del número de martillos debe ser igual en todos los ejes secundarios, para que el sistema se encuentre balanceado.
- El número de martillos por eje secundario depende del diseñador, tomando en cuenta que, a mayor número de martillos, mayor diámetro de eje, y para menor número de martillos se necesitara más discos. En molinos de martillos ya existentes se colocan de 2 a 5 martillos entre discos.

El tren de martillos está compuesto por los martillos que se encuentran entre dos discos por cada eje secundario.

De acuerdo a las condiciones mencionadas cada tren de martillos estará formado por 4 martillos. La distribución se indica en la figura 46.

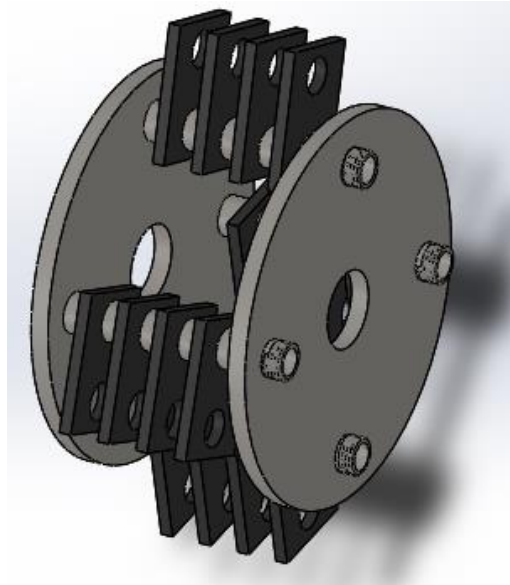


Figura 46. Distribución de martillos.

4.7. SELECCIÓN DE SEPARADORES DE MARTILLOS

Los separadores son cilindros huecos, que cumplen la función de mantener una distancia adecuada entre los martillos, para que no exista fricción y choque entre ellos al pasar de la posición inicial a la de trabajo, y en su operación para evitar la acumulación de materia triturada entre los martillos. Los separadores deben de ser de un material liviano que no presente un peso significativo para el eje secundario.

El ancho del separador debe coincidir con el espesor de martillo, por lo tanto.

$$e_{\text{separador-disco}} = 0,00635m$$

Con estas consideraciones y la teoría estudiada, la misma señala que los martillos deben tener una separación de 1,5 a 7,5 cm, dependiendo del producto a triturar y tomando en cuenta el tamaño del grano de maíz, se concluye el uso de separadores de tubería de acero de 15 mm de longitud, el diámetro se establece de acuerdo al diseño del eje secundario.

$$\text{longitud} = 1,5m$$

4.8. DISEÑO DEL EJE SEGUNDARIO - PORTA MARTILLOS

El eje secundario está sometido a esfuerzos por flexión y corte, no está sometido a torsión porque se encuentra fijo y no gira. Para el análisis es necesario encontrar la fuerza y momento máximo presentes en el eje.

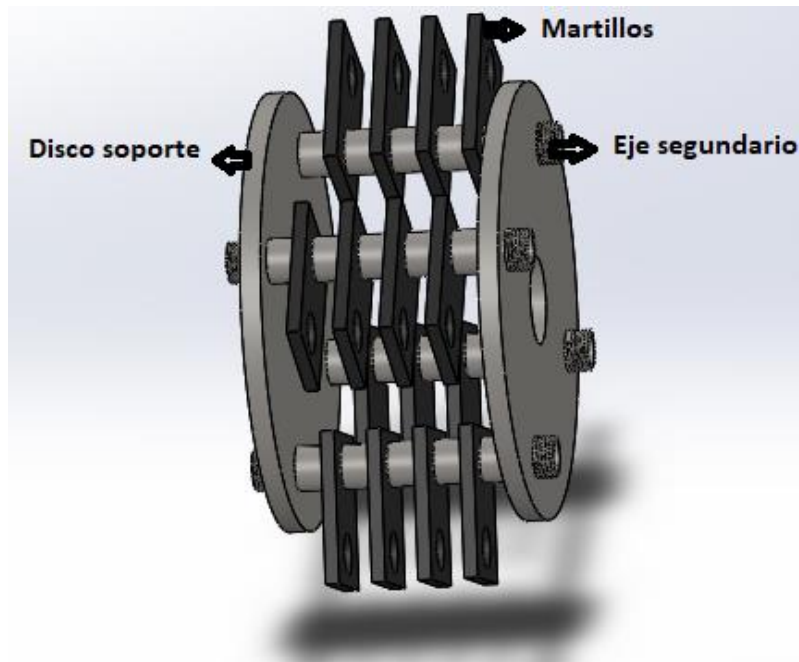


Figura 47. Partes de molino de martillo.

Cada eje secundario soporta 4 martillos, y se encuentra apoyado en 2 discos.

Se analizará un segmento del eje secundario puesto que en los demás segmentos ocurre lo mismo.

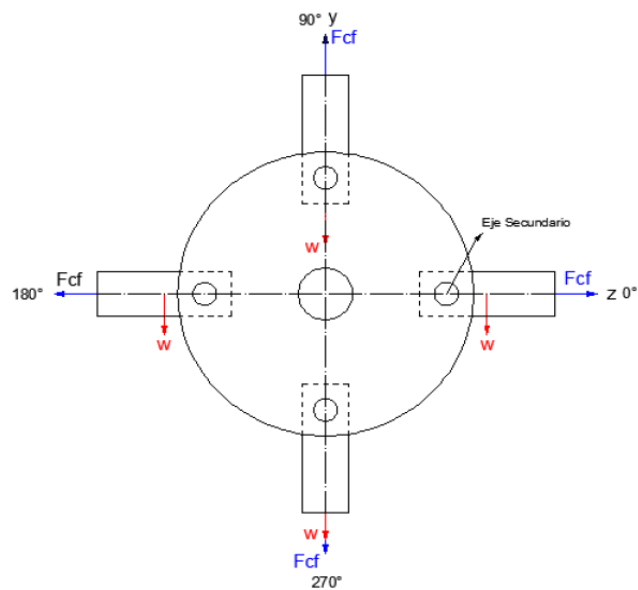


Figura 48. Análisis de fuerzas.

Las fuerzas que actúan en el eje secundario son: la fuerza centrífuga presente en los martillos por la dinámica del molino y el peso de los martillos.

Plano Y

$$F_{y90^\circ} = F_{cf} * \text{sen}90^\circ - W_m$$

$$F_{y90^\circ} = 2015,44 \text{ N} * \text{sen}90^\circ - 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,174 \text{ Kg}$$

$$F_{y90^\circ} = 2009,73 \text{ N}$$

$$F_{y270^\circ} = F_{cf} + W_m$$

$$F_{y270^\circ} = 2015,44 \text{ N} + 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,174 \text{ Kg}$$

$$F_{y270^\circ} = 2013,15 \text{ N}$$

Plano Z:

$$F_{z0^\circ} = F_{z180^\circ} = F_{cf} * \text{cos}30^\circ$$

$$F_{z0^\circ} = (2015,44)(\text{cos}30^\circ) = 1741,96 \text{ N}$$

En el programa MDSolids se realiza el análisis de fuerzas de la sección del eje secundario, se puede observar el diagrama de cuerpo libre.

$$F_{y270^\circ} = 2013,15 \text{ N}$$

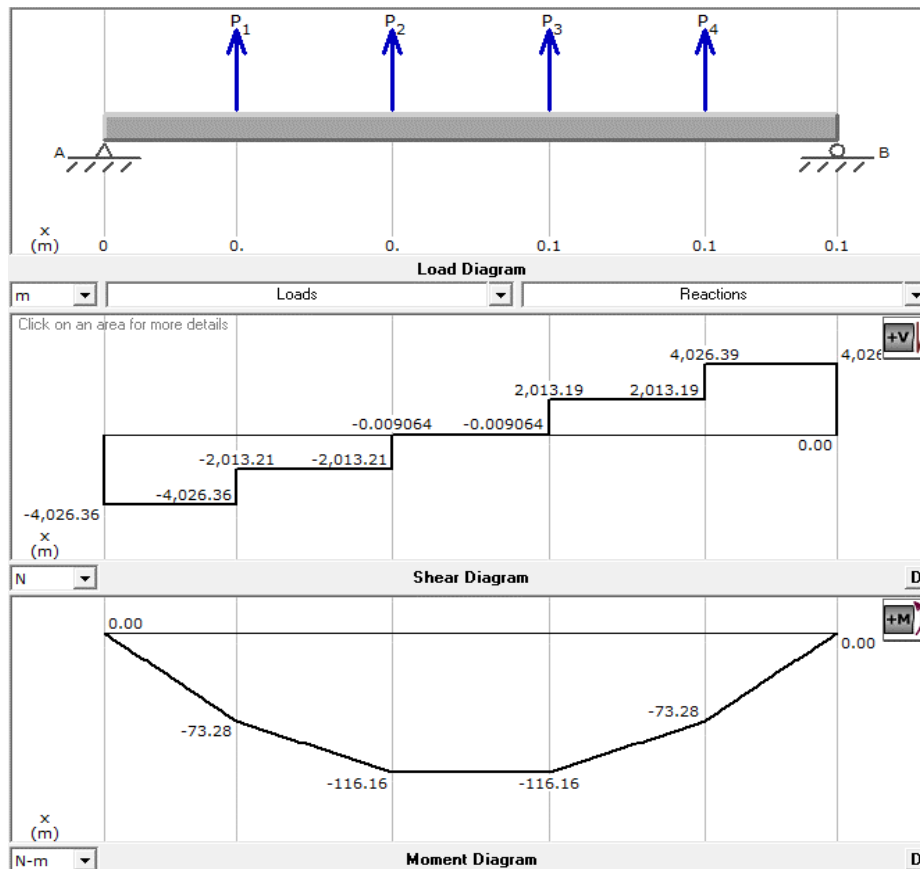


Figura 49. Diagrama de esfuerzo cortante y flexionante.

También están presentes en el eje esfuerzos flexionante y cortantes, para el cálculo se tienen las siguientes ecuaciones:

- Esfuerzo por flexión.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S} \text{ (Shigley, Pag. 86)}$$

Donde:

S = módulo de sección:

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

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{V}{A} \text{ (tabla 3 - 2, Shigley, Pag. 95)}$$

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{V}{\pi * d^2}$$

De acuerdo a los diagramas de fuerzas cortantes y momentos, tenemos que:

$$V = 9,064 \text{ N}$$

$$M_{max} = 116,16 \text{ N.m}$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores.

- $\sigma_{max} = \frac{M_{max} * 32}{\pi * d^3}$

$$\sigma_{max} = \frac{116,16 * 32}{\pi * (0,0125)^3}$$

$$\sigma_{max} = 171,148 \text{ MPa}$$

- $\tau = \frac{16}{3} * \frac{V}{\pi * d^2}$

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{9,064}{\pi * (0,0125)^2}$$

$$\tau = 0,0424 \text{ MPa.}$$

El factor de seguridad se calcula de la siguiente manera:

Se utiliza material de acero AISI 1020, con resistencia a la fluencia de $S_y = 390 \text{ MPa}$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{390}{171,148} = 2,28$$

4.9. DETERMINACIÓN DE PESOS PARA EL ANÁLISIS DEL EJE PRINCIPAL

Primero determinar los pesos totales de los componentes de la trituradora de martillos. Las masas y volúmenes se han ido calculando anteriormente.

- Peso de los discos.

```
Propiedades de masa de disco porta martillos k
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 2155.98 gramos

Volumen = 276407.86 milímetros cúbicos
```

Figura 50. Peso de disco.

$$m_m = 2,15598kg$$

Como son 2 discos porta martillos, entonces.

$$w_{discos} = 2,15598kg * 2 = 4,31196kg$$

$$w_{discos} = 4,31196kgf * 9,81 = \mathbf{42,3N}$$

- Separador de discos.

```
Propiedades de masa de separador de discos k
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 4433.99 gramos

Volumen = 568459.96 milímetros cúbicos
```

Figura 51. Peso de separador de disco.

$$m_{sd} = 4,43399kg$$

$$W_{sd} = 4,43399 * 9,81 = \mathbf{43,49N}$$

- Separador de martillos

Propiedades de masa de separador de martillos k
 Configuración: Predeterminado
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
 Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 21.83 gramos
 Volumen = 2799.16 milímetros cúbicos

Figura 52. Separador de martillo.

$$m_{sm} = 0,02181kg$$

Hay 20 separadores de martillos.

$$W_{sm} = 0,02181 * 20 = 0,4362kg$$

$$W_{sm} = 0,4362 * 9,81 = \mathbf{4,2791N}$$

- Peso de martillos.

Propiedades de masa de martillos k
 Configuración: Predeterminado
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
 Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 133.96 gramos
 Volumen = 18605.21 milímetros cúbicos

Figura 53. Peso de martillo.

$$m_{martillo} = 0,13396kg$$

Como son 16 martillos, por lo tanto:

$$w_{martillos} = 0,13396kg * 16 = 2,143kg$$

$$w_{martillos} = 2,143kgf * 9.81 = \mathbf{21,03N}$$

- Pesos de ejes secundarios.

Propiedades de masa de eje secundario k
 Configuración: Predeterminado
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
 Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 137.13 gramos
 Volumen = 17580.67 milímetros cúbicos

Figura 54. Eje secundario.

$$m_{m_{eje\ secundario}} = 0,13713kg$$

Con material de acero al carbono fundido, como son 4 ejes porta martillos, por tanto:

$$W_{eje\ secundario} = 0,13713kg * 4 = 0,54852kg$$

$$W_{eje\ secundario} = 0,54852kgf * 9.81 = \mathbf{5,381N}$$

- Peso de cuchillas.

Propiedades de masa de cuchillas k
 Configuración: Predeterminado
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
 Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 1404.14 gramos
 Volumen = 178416.84 milímetros cúbicos

Figura 55. Peso de cuchillas.

$$m_{cuchillas} = 1,40414kg$$

$$W_{cuchillas} = 1,40414kgf * 9.81 = \mathbf{13,77N}$$

- Peso del eje principal (AISI 1020)

Propiedades de masa de eje principal k
 Configuración: Predeterminado
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
 Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 3555.26 gramos
 Volumen = 450033.15 milímetros cúbicos

Figura 56. Eje principal.

$$m_{eje\ principal} = 3,55526kg$$

$$W_{eje\ principal} = 3,55526kgf * 9.81 = \mathbf{34,87N}$$

- El peso final del rotor será:

$$W_{rotor} = W_{eje\ principal} + W_{sd} + W_{discos} + W_{eje\ secundario} + W_{martillos} + W_{sm} + W_{cuchillas}$$

$$W_{rotor} = 34,87 + 43,49 + 42,3 + 5,381 + 10,0062 + 4,2791 + 13,77$$

$$W_{rotor} = \mathbf{154,0963N}$$

4.9.1. ANÁLISIS DE FUERZAS PRESENTES EN EL EJE PRINCIPAL

Se analizará el eje principal de la trituradora de martillos, para comprobar la resistencia que tiene a la hora de realizar su trabajo.

- ✓ Longitud de eje principal: 38cm.

- Análisis estático.

Se realiza el análisis mediante el diagrama de fuerzas y momentos, se hace uso del programa MDSolids.

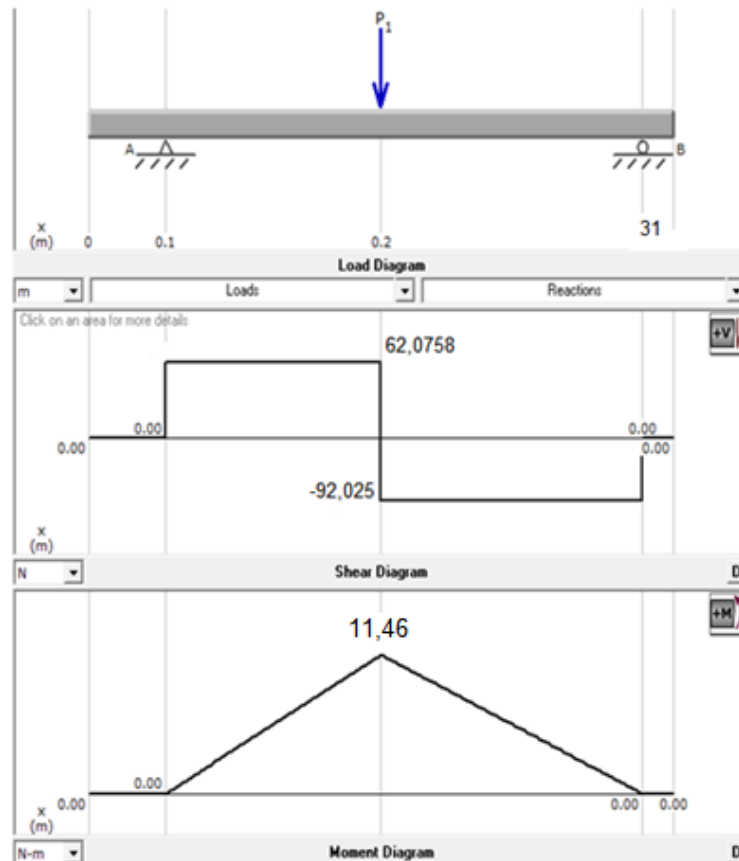


Figura 57. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

De los diagramas se tiene:

- Esfuerzo cortante máximo = 62,0758 N
- Momento flector máximo = 11.46 N.m

4.9.1.1. DETERMINAR EL DIÁMETRO DEL EJE

De acuerdo a la ecuación de Von Mises (Shigley. Pag.352).

$$d = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{Mxk_f}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

d = diametro del eje.

S_y = resistencia a la fluencia (MPa).

S_e = limite de resistencia a la fatiga (MPa).

M = Momento flector.

T = Par de torsion.

N = Factor de seguridad.

K_f = Factor de modificacion por efectos varios.

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

P = potencia (kW)

n = rpm

$$T = \frac{60(18,6425 \times 10^3)}{2\pi \times 3250}$$

$$T = 54.77 \text{ N.m}$$

4.9.1.2. ANÁLISIS DE FATIGA DEL EJE PRINCIPAL

Para este análisis, se determinará el límite de resistencia a la fatiga, ya que el eje durante su funcionamiento se encuentra sometido a flexión y torsión.

- Límite de resistencia a la fatiga.

En (Shigley, pag.279). Se identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura y varios puntos. Por tanto, la ecuación de Marin tenemos:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f s'_e$$

Dónde:

k_a = factor de modificación de la condición superficial (Anexo 2)

k_b = factor de modificación del tamaño (shigley, pág.280)

k_c = factor de modificación de carga (shigley, pág.282)

k_d = factor de modificación de la temperatura (shigley, pág.283)

k_e = factor de confiabilidad (Anexo 3)

k_f = factor de modificación de efectos varios

s'_e = límite de resistencia a la fatiga (shigley, pág. 274)

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

El tipo de material del eje principal se ha tomado un acero AISI 1020, responde bien al trabajo en caliente y tratamiento térmico, resistencia al desgaste con $S_{ut} = 470 \text{ MPa}$ y $S_{yt} = 390 \text{ MPa}$ (Anexo 4), por lo que el límite de resistencia a la fatiga se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \text{ (Shigley, Pag. 274)}$$

Reemplazando, obtenemos:

$$S'_e = 0,5 * 470 \text{ MPa} = 235 \text{ MPa}$$

Luego calculamos con la ecuación de Marin:

$$k_a = aS_{ut}^b \text{ (Shigley, Pag. 279)}$$

Según el siguiente (anexo 5) y acabado superficial de laminado en frio, tenemos:

$$a = 4,51 \text{ y } b = -0,265 \text{ (Shigley, Pag. 280)}$$

Reemplazando valores:

$$k_a = 4,51(470)^{-0,265} = 0,88$$

✓ Para un eje rotativo, sometido a flexión y torsión, tenemos.

$$k_b = 1,24d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51\text{mm} \text{ (Shigley, Pag. 280)}$$

El diámetro del eje en la zona de trituración es: $d = 5\text{cm} = 50\text{mm}$, por lo tanto, tenemos:

$$k_b = 1,24(50)^{-0,107} = 0,85$$

✓ $k_c = 1$, por flexion (Shigley, Pag. 282)

✓ $k_d = 1$ (Shigley, Pag. 283 – 284, Tabla 6 – 4)

✓ $k_e = 0,814$, para una confiabilidad de 99% (Shigley, Pag. 285, Tabla 6 – 5)

✓ De acuerdo a (Shigley, Tabla 7.1. Pág. 356) $k_f = 1.7$ y $k_{ts} = 1.5$

Por lo tanto, calculamos el límite de resistencia a la fatiga del eje principal, reemplazando los valores de cada factor.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

$$S_e = (0,88)(0,85)(0,814)(235)$$

$$S_e = 143,08\text{MPa}$$

Reemplazando en la formula.

$$d = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{Mxk_f}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left(\frac{32(4)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1,146.69x1.7}{143,08}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{54.77}{390}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 4,98 \approx 5\text{cm}$$

- Esfuerzo alternante y esfuerzo medio.

Los esfuerzos de flexión y torsión pueden estar presentes tanto en componentes medios como alternantes. Para este análisis, se combina los diferentes tipos de esfuerzos de von Mises alternantes y medios, como sigue. Con factor de concentración de esfuerzos de $k_f = 1,7$ y $k_{fs} = 1,5$.

$$\sigma_a = k_f \frac{32M_a}{\pi d^3} (\text{esfuerzo alternante})$$

$$\sigma_a = (1,7) \frac{32(11.46)}{\pi(0,04)^3}$$

$$\sigma_a = 12,58MPa$$

Debido a que se permite un solo tipo de carga, el esfuerzo medio debe ser $\sigma_m = 0$

- Numero de ciclos a la falla

El número de ciclos de falla a la fatiga, partiendo de la resistencia a la fatiga según Manson – Coffin, donde se tiene que la resistencia a la tensión

$S_{ut} < 70kpsi$, se toma la fracción de resistencia a la fatiga $f = 0,9$ (Shigley, pág. 277, Figura 6-18).

Por lo tanto, la ecuación de resistencia a la fatiga queda de la siguiente manera:

$$S_f = aN^b$$

Como se seleccionó anteriormente el tipo del material del eje de acero AISI 1020, con $S_{ut} = 470MPa$, y como se produce un esfuerzo alternante en dicho eje, se tiene que $S_f = \sigma_a$, el número de ciclos a la falla queda expresado de la siguiente manera:

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Dónde:

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}; b = \frac{1}{3} \log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right)$$

Reemplazando valores:

$$a = \frac{(0,9 * 470)^2}{143,08} = 1389,5MPa$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{0,9 * 470}{143,08}\right) = -0,157$$

Por tanto, el número de ciclos de falla del eje principal será:

$$N = \left(\frac{12,58}{1389,5}\right)^{\frac{1}{-0,157}} = 1,13 \times 10^{13} \text{ ciclos}$$

Con el número de ciclos a la falla del eje principal determinado, se determina que es muy resistente para soportar los elementos del sistema de trituración y molienda.

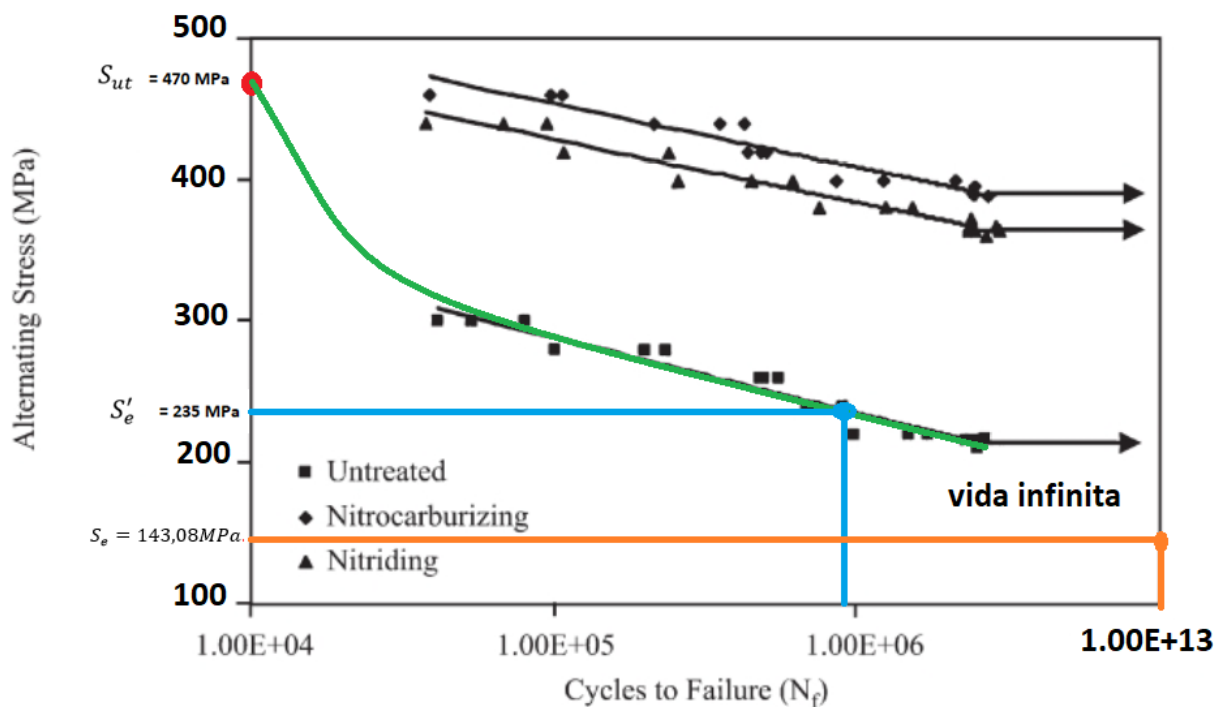


Figura 58. Curva de fatiga S-N del acero 1020.

- El límite de resistencia a la fatiga de acero AISI1020. $S'_e = 235$ MPa, esto quiere decir que, si se aplica un esfuerzo de flexión mayor, entonces el eje principal fallara.
- La grafica nos indica que un esfuerzo mayor a $S'_e = 235$ MPa 235 tiende a disminuir, el numero por ciclos por falla de 10^6 , a números de ciclos mucho menores.
- Aplicando los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga real, tenemos como resultado $S_e = 143,08$ MPa. Entonces con este resultado obtenemos un numero de ciclos de falla de $N = 1,13 \times 10^{13}$, nos indica que el número de falla del acero AISI 1020 es infinito. No sufre fallas por fatiga, pero si puede ser susceptible a fallar por desgaste, corrosión.

4.9.2. RODAMIENTOS EN EL EJE PRINCIPAL

Se realiza de acuerdo a la carga que abarca el sistema de trituración (martillos, discos, ejes, separadores). Se utiliza la siguiente ecuación (Shigley, Ecu. 11-2):

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D * n_D * 60}{L_R * n_R * 60} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (\text{Shigley, Pag, 555})$$

Dónde:

- F_D = carga radial del diseño (kN)
- L_D = vida deseada (hr)
- n_D = velocidad deseada (rpm)
- a = como se aplica un rodamiento de bolas, el valor de $a = 3$ (Shigley, Pag.554)
- $L_R * n_R * 60 = 10^6$ considerando el caso de la compañía SKF, que clasifica sus cojinetes para un millón de revoluciones de manera que la vida $L_R * n_R * 60 = 10^6$ revoluciones.

Para la carga radial del diseño se considera la siguiente tabla:

Tabla 30. Total, de materiales.

Elemento	Cantidad	Masa x unidad (Kg)	Masa total (Kg)
Martillos	16	0,13396	2,14
Discos	2	215,598	4,31
Separador de martillos	20	0,02181	0,44
Separador de discos	1	44,339	4,43
Ejes secundarios	4	0,13713	0,54
Eje principal	1	355,526	3,55
Cuchillas	1	140,414	1,4
total			16,81

Se multiplica el total por $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$F_D = 16,81 \times 9,81 = 164,91 \text{ N}$$

Para la vida deseada utilizamos la tabla 28.

Tabla 31. Tipos de aplicación

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

Shigley.

Seleccionamos el tipo de aplicación de una máquina de 8 horas. Que se utiliza plenamente, por tanto:

$$L_D = 30\,000 \text{ hr}$$

Remplazando:

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D * n_D * 60}{L_R * n_R * 60} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$C_{10} = 164,91 \left(\frac{30\,000 * 3250 * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10} = 2,971 \text{ kN}$$

Con este valor obtenido vemos la tabla 32, escogemos un rodamiento de serie 2

Tabla 32. Tipo de rodamiento.

Diámetro interior, mm	DE, mm	Ancho, mm	Radio del entalle, mm	Diámetro del hombro, mm		Clasificaciones de carga, kN		Contacto angular	
				d_s	d_H	Ranura profunda C_{10}	C_0	C_{10}	C_0
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	2.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0
40	80	18	1.0	46	72	30.7	16.6	31.9	18.6
45	85	19	1.0	52	77	33.2	18.6	35.8	21.2
50	90	20	1.0	56	82	35.1	19.6	37.7	22.8
55	100	21	1.5	63	90	43.6	25.0	46.2	28.5
60	110	22	1.5	70	99	47.5	28.0	55.9	35.5
65	120	23	1.5	74	109	55.9	34.0	63.7	41.5
70	125	24	1.5	79	114	61.8	37.5	68.9	45.5
75	130	25	1.5	86	119	66.3	40.5	71.5	49.0
80	140	26	2.0	93	127	70.2	45.0	80.6	55.0
85	150	28	2.0	99	136	83.2	53.0	90.4	63.0
90	160	30	2.0	104	146	95.6	62.0	106	73.5
95	170	32	2.0	110	156	108	69.5	121	85.0

Shigley

$$D_l = 40mm$$

$$D_e = 80mm$$

$$a = 18mm$$

4.9.3. CAPACIDAD Y RENDIMIENTO MECÁNICO

La potencia nominal en un molino de martillos se determina mediante la Ley de Bond: “el trabajo necesario es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño producido” [25, pp. 894,895]

- Capacidad del molino.

$$3666,67 \frac{kg}{dia} * \frac{1000 gr}{1 Kg} * \frac{1 grano}{0,08 gr} * \frac{1 dia}{8 horas} * \frac{1 hora}{60 min} = 0,955 \times 10^5 \frac{granos}{min}$$

$$W_l = \frac{44,5 \times 1,1}{(P_i)^{0,23} (g/r)^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{L_f}} - \frac{10}{\sqrt{L_i}} \right]}$$

$$\frac{g}{r} = \frac{0,955 \times 10^5 \frac{granos}{min}}{3250 rpm} = 29,38 \frac{granos}{rev}$$

Dónde:

$w_l =$ Constante energetica (kwh/ton)

$L_f =$ Tamaño del producto molido (μm)

$L_i =$ Tamaño del producto antes de ser molido (μm)

$P_i =$ Abertura de la malla empleada en micras

$r = \frac{L_i}{L_f}$ coeficiente de desintegracion

$g/r =$ granos por revolucion

Según los datos de la malla a aplicar, se obtuvo:

$$P_i = \frac{1}{8}'' = 0,003175 m$$

$$L_f = 4 mm = 0,004 m$$

$$L_i = 100 mm = 0,1 m$$

$$W_l = \frac{44,5 \times 1,1}{(0,003175)^{0,23} (29,38)^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{0,004}} - \frac{10}{\sqrt{0,1}} \right]}$$

$$W_I = 0,091 \text{KWh/Tn}$$

Por tanto:

$$W = W_I \left(\frac{100}{L_f} \right)^{0,5} \left(\frac{r^{0,5} - 1}{r^{0,5}} \right)$$

$$W = 14,136 \text{ KWh/Tn}$$

Entonces la potencia

$CP = \text{Capacidad de produccion Tn/dia}$.

$W = \text{Trabajo kwh/tn}$.

$P = \text{potencia mecanica}$.

$$P = CP * W = 8,11667 \frac{\text{Tn}}{\text{dia}} * 14,136 \frac{\text{kWh}}{\text{Tn}} * \frac{\text{dia}}{8\text{h}} = 14,43\text{Kw} \approx \mathbf{19.35HP}.$$

- ✓ A la potencia de la cámara de molienda que es de 19.35 Hp se le suma los 2 Hp de la cámara de trituración teniendo obteniendo una potencia de 21.35 ≈ **25 Hp**.

Rendimiento mecánico:

$$\eta = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * P_m}$$

$P_m = \text{potencia del motor (W, HP o CV)}$

$G = \text{peso de un martillo (Kg)}$

$R = \text{diámetro del disco (m)}$

$n = \text{RPM del rotor}$

$e = \text{número de martillos}$

$f = \text{factor dependiente de la velocidad tangencial de los martillos, cuyos valores se muestran en la tabla N°11.}$

$\eta = \text{rendimiento mecánico}$

Tenemos:

$$P_m = 25\text{Hp}$$

$$G = 0,174\text{kg}$$

$$R = 0,2\text{m}$$

$$n = 3250$$

$$e = 16$$

$$\text{Con } v_c = 33,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}, f = 0,003$$

Reemplazando tenemos:

$$\eta = \frac{0,174 * (0,2)^2 * (3250)^3 * 16 * 0,003}{8 * 100000 * 25}$$

$$\eta = 57.3\%$$

4.10. CAPACIDAD DE LA MÁQUINA TRITURADORA PARA PANCA

$$4500 \text{ kg/dia} \times \frac{1 \text{ dia}}{8 \text{ hr}} = 562,5 \text{ kg/hr}$$

Densidad del forraje seco: $\rho = \frac{m}{v}$

Masa: como tenemos que la humedad de la panca (chala) es de 20 %. [26] (Pág. 26).

Tenemos una masa de **250gr** en masa verde.

$$250 \text{ gr} - 100\%$$

$$x - 20\%$$

$$m = 50 \text{ gr} \approx \mathbf{0,05 \text{ kg}}$$

Medidas promedio de la panca (chala):

$$\text{largo} = 2 \text{ m}, \text{ ancho} = 2 \text{ cm}$$

Para obtener el volumen de la panca (chala), se toma como un cilindro entonces tenemos:

$$v = h\pi r^2 = 2 \times \pi \times (0,02)^2 = \mathbf{2,513 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

Entonces tenemos que la densidad es:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,05}{2,513 \times 10^{-3}} = \mathbf{19,89 \text{ kg/m}^3}$$

4.10.1. VELOCIDAD DE CORTE

Velocidad de ingreso de panca (chala).

$$v_{\text{ingreso de panca}} = \frac{c}{\rho}$$

ρ = densidad de la panca (chala).

c = peso de la panca (chala) en función de la capacidad

$$v_{\text{ingreso de panca}} = \frac{562,5 \text{ kg/hr}}{19,89 \text{ kg/m}^3} = 28,28 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Teniendo en cuenta que el volumen de la panca (chala) corresponde el 20% del volumen del total de la misma.

Se toma como dato experimental el ensayo realizado en la tesis de **“Diseño y construcción de una maquina picadora de bagazo de caña de azúcar”** la cual determina: un valor experimental del porcentaje de bagazo de caña de azúcar en peso y volumen. **Que concluye que se puede obtener aproximadamente las tres cuartas partes del peso de la caña en jugo, con la ayuda de un trapiche (Anexo 2, Pág. 120).** [27]

Se toma el mismo dato del bagazo de caña de azúcar por tener las mismas características físicas que panca (chala).

Medida promedio de panca (chala):

$$v_c = \frac{3}{4} \times A \times h$$

$$v_c = \frac{3}{4} [(\pi)(0,02)^2](2) = 0,001885 \text{ m}^3$$

$v_b = \text{volumen de una panca(chala)}$

$$v_b = 0,001885 \times 20\% = 0,0377 \text{ m}^3$$

El número de panca (chala) a picar por cada hora es:

$$\begin{aligned} \text{Panca (chala)} &= \frac{v_{\text{ingreso de panca}}}{v_b} = \frac{28,28 \text{ m}^3/\text{hr}}{0,0377 \text{ m}^3} = 750,13 \frac{\text{panca (chala)}}{h} \\ &\approx 751 \frac{\text{panca (chala)}}{h} \end{aligned}$$

La alimentación hacia el picador es manual, lo cual lo puede realizar un operario.

Para determinar la **velocidad de ingreso del forraje**, tenemos la longitud de la panca (chala).

$$V_i = \left(\frac{N^\circ \text{ panca (chala)}}{h} \right) \times L_p$$

$$V_i = 751 \frac{\text{panca (chala)}}{h} \times 2\text{m} = 1502 \frac{\text{m}}{h} \approx 41,72 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

4.10.2. RELACIÓN ENTRE NÚMERO DE REVOLUCIONES VS EL NÚMERO DE CUCHILLAS, EN EL ROTOR PICADOR

Las cuchillas están dispuestas de manera que corten un centímetro a la vez cada cuchilla.

Se colocan 3 cuchillas y 3 paletas sopladoras. Cada cuchilla estará a 120° ($2,0944$ rad).

Mientras más pequeñas sean los trozos de la panca (chala), mayor es el consumo del ganado pecuario.

Entonces se picará en tramos de $0,5$ cm.

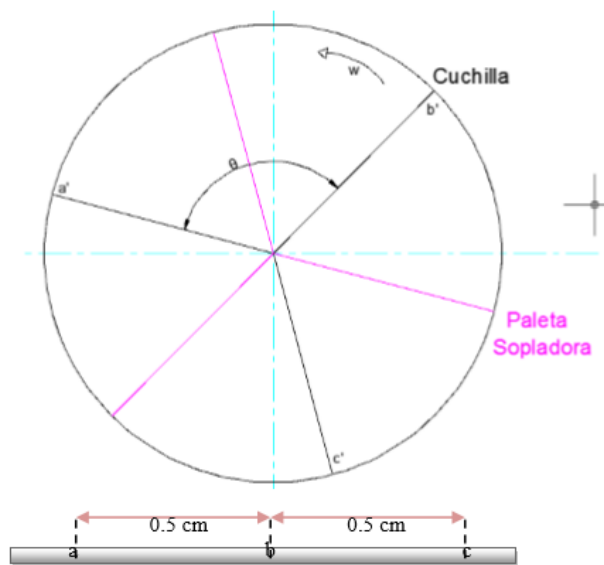


Figura 59. Radio de giro de la cuchilla.

El volante debe recorrer el tramo $a'b'$ en el mismo tiempo que la panca (chala) recorre el tramo ab , para ello tomamos en cuenta que los tiempos son iguales, tenemos las siguientes ecuaciones.

$$t_{a'b'} = \frac{\theta}{w} ; t_{ab} = \frac{e}{V_i}$$

$$t_{a'b'} = t_{ab}$$

$$\frac{\theta}{w} = \frac{e}{V_i}$$

$$\frac{2,0944}{w} = \frac{0,5}{41,67}$$

$$w = 174,55 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$N = 1667 \text{ rpm}$$

4.10.3. DIÁMETRO DE LA VOLANTE

De acuerdo a los cálculos realizados en el molino de martillos tenemos un $R_g = 10 \text{ cm} \approx 0.1 \text{ m}$, con una longitud de cuchilla de 7cm.

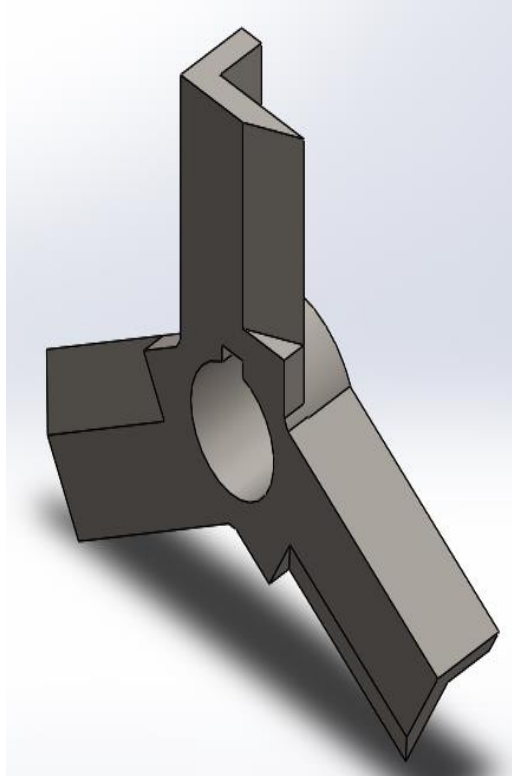


Figura 60. Cuchillas.

Teniendo en cuenta el área de la panca (chala) es de:

$$A = \pi r^2 = \pi 2^2 = 12,56 \text{ cm}^2 \approx 12,6 \text{ cm}^2$$

Para motivos de cálculo.

$$R = \frac{F_c}{A}$$

$F_c = \text{fuerza de corte}$

$A = \text{area de corte}$

$R = \text{resistencia al corte de panca (chala)}$

Como dato se toma $1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ para la resistencia al corte, obteniendo del ensayo en la tesis de “Diseño y construcción de una maquina picadora de bagazo de caña de azúcar”, (Anexo 1, Pág. 119). [27]

Entonces tenemos que la fuerza de corte es:

$$F_c = R \times A = 1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 12,6 \text{cm}^2 = 12,6 \text{kgf}$$

El radio promedio del volante es de 6,5cm. Tomando desde el centro del eje hasta la mitad de la longitud de la cuchilla.

$$T = F_c \times r$$

$$T = 12,6 \text{kgf} \times 0,065 \text{m} = 0,819 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

4.10.4. POTENCIA DE CORTE

Se calcula en función del torque requerido y la velocidad angular del volante.

$$P_c = T \times N \text{ (Shigley, Pag. 125)}$$

$$P_c = \frac{(0,819 \text{kgf} \cdot \text{m}) \times (1667 \text{rpm})}{726,24} = 1,89 \text{Hp} \approx 2 \text{Hp}$$

Entonces $P_c = 2 \text{Hp}$, es el valor de la potencia mecánica necesaria en el eje del rotor para realizar el corte.

El material que está hecho las paletas y las cuchillas es de un acero AISI 1020 responde al trabajo en frío y tratamiento térmico, resistencia al desgaste con $S_{ut} = 470 \text{MPa}$ (Shigley). Plancha de $\frac{1}{2}$ ".

4.10.5. RESISTENCIA A LA FLUENCIA DE CORTE

Utilizando la teoría del esfuerzo cortante máximo, se tiene:

$$S_{xy} = 0,577 S_y \text{ (Shigley, Pag. 274)}$$

$$S_{xy} = 0,577(470) = 271,19 \text{MPa}$$

Factor de seguridad para diseño de flechas según normas ANSI – ASME.

$$\tau_{max} = \frac{S_{xy}}{n} = \frac{271,19}{4} = 67,79 \text{ N/m}^2$$

Tabla 33. Factor de seguridad.

Condiciones de carga	factor de seguridad F.S
Cargas estables	2
Cargas con impacto moderado	3
Cargas de impacto fuerte	4

Facultad de estudios superiores Cuautitlán departamento de ingeniería, “TABLAS Y GRAFICAS PARA DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS”. Autor: M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez [28].

4.10.6. DISEÑO DEL ARMAZÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA

El armazón del molino está formado por el bastidor y por dos entradas, una la cual ingresa maíz y la segunda la panca (forraje).

Se diseñará el armazón donde irá un eje montado al sistema de molienda que son los martillos y el otro la cuchilla trituradora para panca (forraje).

4.10.6.1. DISEÑO DEL BASTIDOR

El bastidor es la carcasa donde va alojado el sistema de trituración y molienda, chumaceras, etc. También soporta la dinámica del dicho sistema y es donde se encuentran las guías para las cribas.

El material que utiliza el bastidor es de acero al carbono fundido. Las dimensiones del bastidor se muestran en la figura 60.

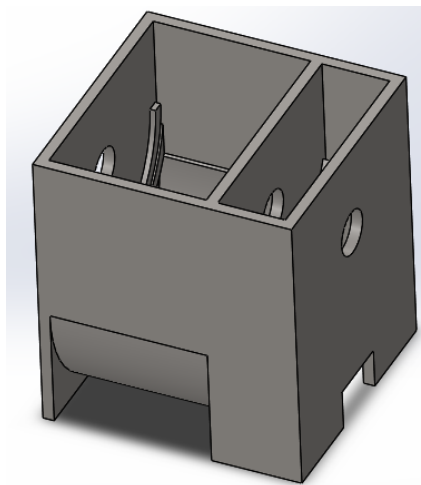


Figura 61. Bastidor.

4.10.6.2. DISEÑO DE LA TAPA.

La tapa es un elemento muy importante para el sistema de trituración, ya que permite que el producto no salga disparado hacia afuera, esta debe cumplir las siguientes características:

- Geometría de la tapa.
- Tipo de material, para que garantice la resistencia de sus paredes cuando los impacten contra ella.
- Las dimensiones están en función a las dimensiones del bastidor.

4.10.7. SELECCIÓN DE MOTOR Y SISTEMA DE CONTROL

Para la selección es necesario tomar en cuenta las características del motor como:

- Fases: Trifásica.
- Tipo de arranque por estado sólido.
- Frecuencia: 60Hz.
- Potencia del motor de acuerdo a cálculo: 25 Hp.
- Voltaje de alimentación: 380V

4.10.7.1. DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR

$$\text{potencia real del motor} = \frac{25 \text{ Hp}}{0.91} = 27.47 \approx 30 \text{ Hp}$$

El motor funciona a 3250 rpm entonces va a ser de 2 polos que es de 3600rpm y no de 4 polos porque funciona a 1800 rpm.

El valor de 0.91 es la eficiencia de cada motor, de acuerdo a catalogo Siemens (anexo 10).

4.10.7.2. SELECCIÓN DE GUARDAMOTOR

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{COS}\phi}$$

I = Corriente nominal (A).

P = Potencia nominal (W).

V = Tension nominal (V).

$\text{COS}\phi$ = Factor de potencia.


$$I = \frac{30 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.86}$$

$$I = 39.54 \text{ A.}$$

4.10.7.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE GUARDAMOTOR TERMOMAGNETICO REGULABLE

Según catálogo Schneider. Sección 3/5.

$$I_n = 37 - 50 \text{ A.}$$



GV3P
Guardamotor magneto-térmicos
Protección contra sobrecargas y cortocircuitos. **Coordinación tipo 2**


HP 220V/440V	Regulación (A)	I corte 415V	Referencia	Precio S/.
7 / 5	17 - 25	100KA	GV3P25	542.00
10 / 20	23 - 32	100KA	NOVED GV3P32	576.00
14 / 28	30 - 40	50KA	GV3P40	645.00
19 / 38	37 - 50	50KA	GV3P50	709.00
25 / 50	48 - 65	50KA	GV3P65	742.00

Figura 62. Guarda motor termomagnetico.

4.10.7.4. SELECCIÓN DE ARRANCADOR DE ESTADO SÓLIDO

Basado en el catálogo Schneider.

- Modelo a elegir: ALTISTART 48.
- Arrancador: $P_n = 30Hp$ y $I_n = 47 \text{ A}$.



Altistart 48
Serie ATS48***Y de alimentación trifásica 50/60 Hz : 200 V - 15%...690 V + 10%

Motor				ATS48			
Potencia Nominal				Máxima corriente de salida permanente In (A)	Alto x ancho x profundidad	Referencia	Cantidad indivisible
230V		440V					
HP	KW	HP	KW				
10	7.5	20	15	32	275 x 160 x 190	ATS48D32Y	1
-	9	25	18.5	38	275 x 160 x 190	ATS48D38Y	1
15	11	30	22	47	275 x 160 x 190	ATS48D47Y	1
20	15	40	30	62	190 x 290 x 235	ATS48D62Y	1
25	18.5	50	37	75	190 x 290 x 235	ATS48D75Y	1
30	22	60	45	88	190 x 290 x 235	ATS48D88Y	1
40	30	75	55	110	190 x 290 x 235	ATS48C11Y	1
50	37	100	75	140	340 x 200 x 265	ATS48C14Y	1
60	45	125	90	170	340 x 200 x 265	ATS48C17Y	1
75	55	150	110	210	380 x 320 x 265	ATS48C21Y	1
100	75	200	132	250	380 x 320 x 265	ATS48C25Y	1
125	90	250	160	320	380 x 320 x 265	ATS48C32Y	1
150	110	350	220	410	670 x 400 x 300	ATS48C41Y	1

Figura 63. Arrancador de estado sólido.

4.10.7.5. SELECCIÓN DE CABLE

- Según catalogo Indeco: El cable THW es utilizado en circuitos industriales.

$$I_n = 39 \text{ A calculados.}$$

Tabla 34. Cable tipo THW.

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm ²)								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

Indeco. Según CNE (código nacional de electricidad) el cable debe operar al

$$80\% I_n.$$

$$39/0.8 = 48.75 \text{ A.}$$

De acuerdo a la tabla Indeco el cable THW de 10 mm² soporta 62 A.

Se calcula la caída de tensión.

$$\% \Delta V = \left(\frac{0.0309 \times I \times L \times \cos \phi}{S \times V} \right) \times 100$$

$\% \Delta V =$ Caída de tensión.

$I =$ Corriente nominal (A).

$L =$ Longitud del conductor (m).

$V =$ Tensión nominal (V).

$\cos \phi =$ Factor de potencia.

$S = \text{Seccion del conductor.}$

$$\% \Delta V = \left(\frac{0.0309 \times 39 \times 50 \times 0.86}{10 \times 380} \right) \times 100 = 1.36 < 2.5$$

4.10.7.6. CIRCUITO DE FUERZA – MANDO Y TIPO DE CABLE

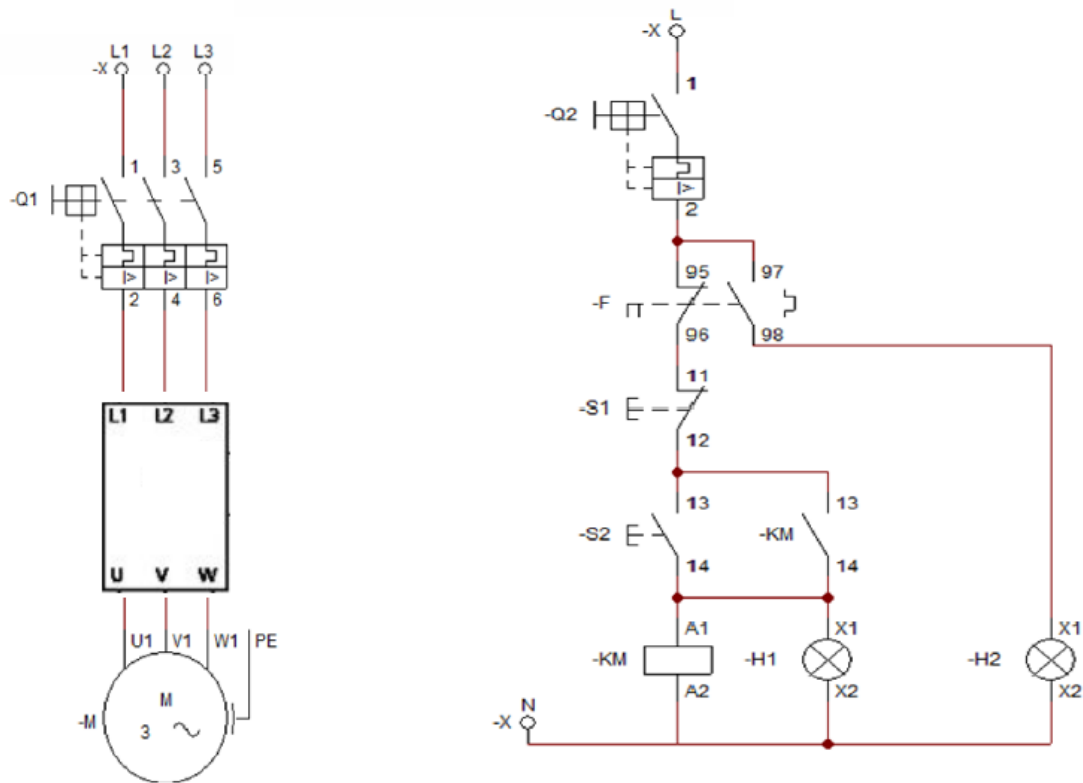


Figura 64. Circuito de fuerza – mando.

4.10.7.7. SELECCIÓN DEL TIPO DE PILOTOS

Pilotos			Pilotos de señalización - IP 66 - Nema 4X - Nema 13	
Lámpara			Referencia	
Descripción	Voltaje de alimentación	Color		
Bulbo incandescente 2.4 W (no incluido)	<250 VAC conexión directa	Verde	XB4BV63	
		Rojo	XB4BV64	
	24 VAC/VDC	Amarillo	XB4BV65	
		Blanco	XB4BVB1	
		Verde	XB4BVB3	
		Rojo	XB4BVB4	
		Amarillo	XB4BVB5	

Figura 65. Pilotos de señalización.

4.10.7.8. SELECCIÓN DEL TIPO DE TABLERO

- **El tipo de tablero.** Será de acero IP66 spacial CRN, tiene como características.
- ✓ Instalación es en exterior: conforme a la IEC 62208 (resistente a los rayos ultravioletas (UV), resistente a la corrosión).
- ✓ Apertura de la puerta superior a 120°, posibilidad de cambiar de lado de abertura.

	Dimensiones			Peso (Kg)	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
	Alto	Ancho	Profundidad				
	300	250	200	4.9	NSYCRN325200	184.00	1
	400	300	200	6.8	NSYCRN43200	234.00	1
	500	400	200	9.8	NSYCRN54200	281.00	1
	600	400	200	10.8	NSYCRN64200	286.00	1
	600	600	250	18.2	NSYCRN66250	353.00	1
	700	500	250	19.3	NSYCRN75250	447.00	1
	800	600	200	21.8	NSYCRN86200	464.00	1
	800	600	300	28.3	NSYCRN86300	557.00	1
	1000	600	250	28.4	NSYCRN106250	617.00	1
	1000	600	300	30.6	NSYCRN106300	672.00	1
	1000	800	300	37.4	NSYCRN108300	732.00	1
	1200	800	300	45.0	NSYCRNG128300	1,341.00	1

Figura 66. Tablero de acero IP66.

➤ Accesorios básicos de montaje.

Placas de Montaje Metálicas

- Placas de montaje de acero galvanizado, con agujeros de fijación y toma a tierra
- Posibilidad de fijación directa en el fondo del tablero

Dimensiones		Para aceptar a los tableros	Peso (Kg)	Carga Adm. (Kg)	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
H	W						
250	200	NSYCRN325200	0.7	60	NSYMM3025	14.60	1
250	350	NSYCRN43200	1.25	60	NSYMM43	26.00	1
450	350	NSYCRN54200	2.2	90	NSYMM54	42.00	1
550	350	NSYCRN64200	2.7	90	NSYMM64	52.00	1
550	550	NSYCRN66250	4.4	135	NSYMM66	90.00	1
650	450	NSYCRN75250	4.25	135	NSYMM75	95.00	1
750	550	NSYCRN86200 / NSYCRN86300	8.1	135	NSYMM86	142.00	1
950	550	NSYCRN106250 / NSYCRN106300	10.2	150	NSYMM106	177.00	1
950	750	NSYCRN108300	13.9	150	NSYMM108	227.00	1
1150	750	NSYCRNG128300	17.35	180	NSYMM128	386.00	1

Conjunto de fijación mural

- Material: acero zincado.
- Fijación desde fuera y pueden colocar horizontal o verticalmente.
- Carga máxima: en horizontal 180 kg, en vertical 350 kg.
- No se incluyen en la entrega estándar.

Descripción	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
Para todos los tableros Spacial CRN	NSYPFCR	21.10	1
Para todos los tableros Spacial CRNG	NSYAEFPFSC	27.20	1

Figura 67. Accesorios básicos de montaje.

4.10.8. ERGONOMÍA

La ergonomía es la disciplina que se encarga del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas, de modo que coincidan con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades de los trabajadores que se verán involucrados. Busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora métodos de la persona, de la técnica y de la organización [29].

La ergonomía física se ocupa de las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas del usuario, en tanto que se relacionan con la actividad física. Sus temas más relevantes incluyen posturas de trabajo, sobreesfuerzo, manejo manual de materiales, movimientos repetitivos, lesiones músculo-tendinosas (LMT) de origen laboral, diseño de puestos de trabajo, seguridad y salud ocupacional.

4.10.8.1. BENEFICIOS DE LA ERGONOMÍA

- Disminución de riesgo de lesiones y accidentes.
- Disminución de riesgos ergonómicos.
- Disminución de enfermedades profesionales.
- Disminución de días de trabajo perdidos.

- Disminución de Ausentismo Laboral.
- Disminución de la rotación de personal.
- Aumento de la tasa de producción.
- Aumento de la eficiencia.
- Aumento de la productividad.
- Aumento de los estándares de producción.
- Aumento de un buen clima organizacional.
- Simplifica las tareas o actividades.
- Rendimiento en el trabajo.

4.10.8.2. AJUSTES DEL PUESTO DE TRABAJO

Cualquier puesto de trabajo debe ser ajustado de acuerdo con su estatura, usando como guía la altura del codo. Por ejemplo, para trabajos de precisión tal como escribir o montaje electrónico, se debe tener una superficie de trabajo unos 5 centímetros por arriba de la altura de su codo, poniendo atención en contar con un buen apoyo para sus antebrazos. El trabajo liviano, como el de una línea de montaje o trabajos mecánicos, necesitan de una superficie de trabajo que esté entre 5 y 10 centímetros por debajo de la altura del codo. Los trabajos pesados, que requieran aplicar fuerzas de empuje hacia abajo, requiriendo de una superficie de trabajo que esté entre 20 a 40 centímetros por debajo de la altura del codo [30].

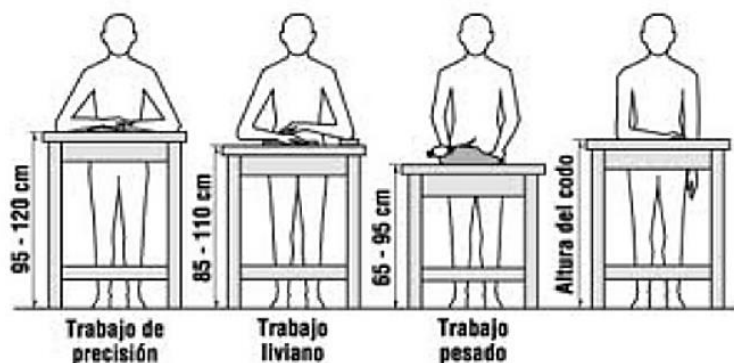


Figura 68. Trabajo de pie.

- De acuerdo a la figura 60. Se selecciona un tipo de trabajo pesado por tanto la máquina trituradora estará a una altura de 95 cm.

V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se desarrolla de la siguiente manera:

- La energía que consume la máquina trituradora y molienda en un periodo de trabajo de un mes.

Tabla 35. Características del motor.

MOTOR	
HP	30
W	22380
kW	22,380
kW x 8 horas	179,04

Propia.

Opción tarifaria. BT5B – No residencial [29].

Precio de kWh = S/. 0.5299.

Total = 179,04 x 0.5299 = S/. 94,873 kW/día.

Días de trabajo 25 = 25 x S/. 94,873 kW/día = **S/. 2,371.83 kW/mes.**

En 1 Ha se obtiene 5 Tn de chala (panca) de maíz, en campo varía de acuerdo a la producción anual de entre S/. 100 a S/. 200. Se tomará un valor intermedio de S/. 150.

La tonelada de maíz, en campo varía de acuerdo a la producción anual de entre 40 a 55. Se tomará un valor intermedio de S/ 47.5.

Al día se necesita 8116,67 kg de maíz y 4500 kg de panca (chala).

Costo por tonelada.

Precio de 4500 kg de panca (chala) = S/. 135.00.

Precio en 8116,67 kg de maíz = 8116,67 x 47.5 = S/. 385,542.00.

Precio total de materia prima: 135 + 385,542 = S/. 520,542.00.

Ganancia en un mes: 25 x S/. 520,542.00 = **S/. 13013,55.00. Mes**

Pagando el consumo de energía que consume la maquina se tiene como ganancia neta por mes:

$$GN = 13013,55 - 2,371.83 = \text{S/} \mathbf{10,641.72 \text{ Mes}}$$

Anualmente tenemos:

$$\text{S/} \mathbf{10,641.72 \times 12 = \text{S/} \mathbf{127,700,61 \text{ Anuales.}}$$

- ✓ El precio promedio de la máquina trituradora se obtendrá de máquinas parecidas en el mercado local.

ANÁLISIS DE COSTO TOTAL DE ELEMENTOS DE LA MAQUINA TRITURADORA.

Tabla 36. Costo de elementos de máquina trituradora.

ITEM N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	CARCASA DE LA MAQUINA TRITURADORA	Und	1	2,000.00	2,000.00
2	MOTOR SIEMENS 30 HP	Und	1	12,300.00	12,300.00
3	MARTILLOS	Und	16	80	1280
4	COJINETES	Und	2	200	400
5	CRIBAS	Und	3	300	900
6	EJE PRINCIPAL	Und	1	800	800
7	EJE SEGUNDARIO	Und	4	50	200
8	SEPARADOR DE DISCOS	Und	1	100	100
9	SEPARADOR DE MARTILLOS	Und	20	10	200
10	SOPORTE DE LA MAQUINA	Und	1	300	300
COSTO TOTAL NUEVOS SOLES					S/. 18,480.00

Propia

ANÁLISIS DE COSTO DE DISEÑO.

Tabla 37. Costo de diseño.

ITEM N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	DISEÑO DE INGENIERÍA	Gbl	1	4,500.00	4,500.00
2	MOVILIZACIÓN	Gbl	1	500	500
3	IMPRESIONES	Gbl	1	300	300
4	ADQUISICION SOFTWARE SOLIDWORKS	Pqt	1	11,880.00	11,880.00
5	DIBUJO CAD Y SIMULACION EN SOLIDWORKS	Gbl	1	3,000.00	3,000.00
COSTO TOTAL NUEVOS SOLES					S/. 20,180.00

Propia

ANÁLISIS DEL COSTO DE ENSAMBLAJE.

Tabla 38. Costo de ensamble.

ITEM N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	ENSAMBLAJE	Gbl	1	900	900
COSTO TOTAL NUEVOS SOLES					S/. 900.00

Propia

ANÁLISIS DEL COSTO TOTAL DE ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN

Tabla 39. Elementos de automatización.

EQUIPOS	UNIDADES	[21] COSTO (S/.)
Guardamotor (GV3P50)	1	709
Lampara de marcha (XB4BV63)	1	36.8
Lampara de paro (XB4BV64)	1	36.8
Arrancador Electrónico (altistart48)	1	2,072.00
Pulsador de paro (XB7NA42)	1	15.2
Pulsador de encendido (XB5AV64)	1	15.2
Tablero IP66 (NSYCRN86200)	1	464.00
Instalación		350
COSTO TOTAL NUEVOS SOLES		S/. 3,699.00

Propia

COSTO TOTAL DE LA MAQUINA TRITURADORA.

Tabla 40. Máquina trituradora.

ITEM N°	EQUIPOS	COSTO (S/.)
1	ANALISIS DEL COSTO TOTAL DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS	S/. 18,480.00
2	ANALISIS DEL COSTO DE DISEÑO	S/. 20,180.00
3	ANALISIS DEL COSTO DE ENSAMBLAJE	S/. 900.00
4	ANALISIS DEL COSTO TOTAL DE ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN	S/. 3,699.00
COSTO TOTAL		S/. 43,259.00

Propia.

VAN TIR.

- Datos:**

Tasa de descuento: 18%

Costos de la maquina: S/. 43,259.00.

Ganancia mensual: S/. 10,641.72

Periodo de retorno: 12 meses.

- Resultados:**

$$VAN = -I_{nv} + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j}$$

$$VAN = S/. 7,749.16$$

$$TIR = 22\%$$

Tasa de interés de retorno (TIR)

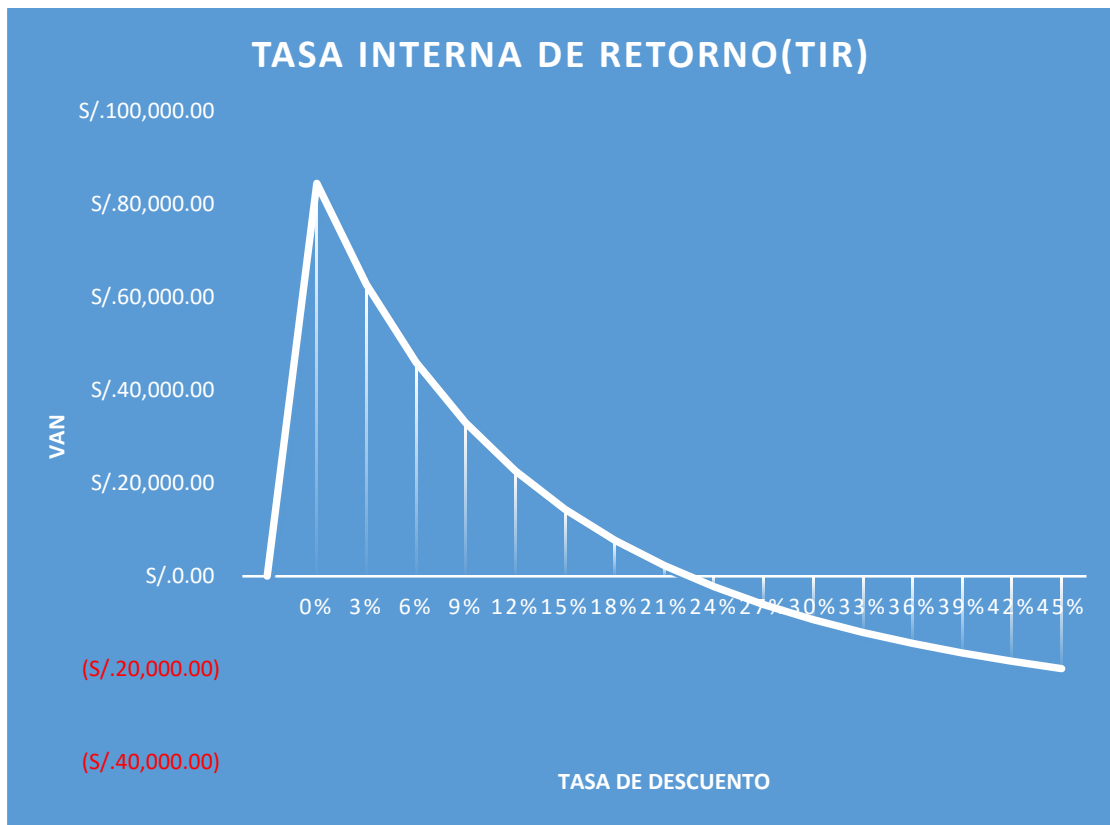


Figura 69. Tasa de interés de retorno.

VI. CONCLUSIONES

- Se identificó problemas en la producción de panca (forraje), donde genera sobrecargar por el excesivo ingreso de materia prima (maíz, panca, etc.), generando fallas por sobrecargas, desgaste continuo de los martillos atascamientos en las cribas y mayor tiempo de producción impidiendo no satisfacer la producción deseada.
- Se seleccionó los parámetros necesarios para realizar el diseño de la trituradora y molienda. Para el diseño se realizó matriz de decisión lo que permitió determinar las características y dimensiones de los componentes de diseño, eje principal, martillos, discos, armazón.
- Debido a las fallas mencionadas anteriormente se diseñó el armazón de la máquina trituradora, con la finalidad de tener mejor capacidad de entrada para la trituración y molienda, como también se implementó un sistema de transmisión de potencia con bridas.
- Se realizó el diseño de la máquina trituradora con un arranque de estado sólido, seleccionando sus componentes de acuerdo catalogo industriales como es Schneider, tipo de cable de acuerdo a CNE (Código Nacional de Electricidad) y catalogo INDECO.
- Con el análisis realizado de VAN TIR, se concluye que es proyecto es viable teniendo como resultados un VAN de 7,749.16 y TIR de 22%.

VII. RECOMENDACIONES

- La trituración y molienda de granos secos desprende una gran cantidad de polvo que no es aprovechada por ello se recomienda la implementación de un sistema de absorción de partículas en suspensión, para minimizar la contaminación e impacto ambiental.
- Se recomienda realizar un análisis CAE, enfocado en un análisis de fatiga del eje teniendo en cuenta el espesor del tratamiento termo químico y poder compararlo con un ensayo experimental de fatiga del mismo material.
- Realizar un estudio de resistencia al impacto mediante ensayo Charpy con temperatura mayores a temperatura ambiente a partir del material del martillo y su recubrimiento duro.

VIII. MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	MANTENIMIENTO DE MARTILLO TRITURADOR
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Monitoreo continuo de vibraciones, ajustes y temperaturas de chumaceras y motor. ❖ Planificación de lubricación de chumaceras y su correcta aplicación de grasa (grasa correcta). ❖ Verificación de cribas, que no estén fisuradas porque aumenta el tamaño de partícula, que estén debidamente centradas para evitar filtraciones de materia prima. ❖ Para evitar que el molino tenga sobrecarga, tenemos que controlar el flujo de entrada de la materia prima. <ul style="list-style-type: none"> ❖ Verificar zonas calientes, por acumulación de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Limpieza de martillos, con la finalidad de que no se incruste materia prima, causando desbalanceo de la máquina trituradora. ❖ Verificar el estado de los martillos, con la finalidad de ver desgaste. El desgaste en el martillo provoca desbalanceo, no tritura la materia prima, provocando atascamiento o paradas por sobrecarga. ❖ Verificar: <ul style="list-style-type: none"> • Desgaste y fisuras de puntas de martillos. • Fisuras en las varillas. • Corrosión.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- [1 D. C. B. M., «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS
] TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS,» Latacunga, 2014.
- [2 D. C. B. M., «Diseño y contruccion de un molino de martillo triturador de granos
] para granjas avicolas.,» Ecuador, 2014.
- [3 F. y. Y. P. M. Ramirez Villacis, «"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA
] MAQUINA CORTADORA Y RECOLECTORA DE FORRAJE",» RIOBAMBA -
ECUADOR, 2001.
- [4 I. E. F. Curi, «Formulaciòn de alimentos balanceados y mejoramiento genético en
] ganado lechero,» Agrobanco, Monsefu, 2013.
- [5 I. M. S. V. H. Lozano, «Formulaciòn de alimentos balanceados para el engorde de
] ganado vacuno,» Agrobanco, Zepita - Chucuito - Puno, 2013.
- [6 F. S. R. Peña, marzo 2015. [En línea]. Available:
] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10287/3/CD-6137.pdf>. [Último acceso:
5 Octubre 2016].
- [7 L. R. Z. Santana, «Diseño de una maquina picadora de rastrojo, para produccion de
] abono orgànico,» Guayaquil - Ecuador, 2004.
- [8 N. P. y. O. Chuquimia, «Manual de molino de cereales y picadora de forraje,» La
] Paz - Bolovia , 2014.
- [9 I. J. C. M. Rios, «Trituradoracion,» 16 Abril 2014. [En línea]. Available:
] <https://www.dropbox.com/s/wfsw6c6gj0we0f0/Trituradora%20Impacto%20I.pdf?dl=0>. [Último acceso: junio 2016].
- [1 S. S. M. S. Company, «<http://www.swmill.com/hammers/>,» [En línea]. Available:
0] <http://www.swmill.com/hammers/>.
- [1 JF - Maquinas Agricolas , «Manual de operacion JF - 2D,» Leudtke, Sao Pablo -
1] Brasil.

[1 Duda.W, «Manual Tecnológico del Cemento,» Barcelona, 2003.

2]

[1 F. S. Ramos Peña, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA
3] TRITURADORA DE HOJAS SECAS DE GUAYUSA CON CAPACIDAD DE 6.5
QUINTALES POR HORA,» Quito - ECUADOR, 2015.

[1 U. n. S. A. (UNSA), «Los chutes o tolvas,» Arequipa, 2015.

4]

[1 transmision por poleas y correas o cadenas, «http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1101/html/3_transmision_por_poleas_y_correas_o_cadenas.html,» [En línea]. [Último acceso: 23 Noviembre 2017].

[1 <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/04/04-engranajes1.pdf>,
6] «Transmision por engranajes.,» [En línea]. Available:
<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/04/04-engranajes1.pdf>.
[Último acceso: 23 Noviembre 2017].

[1 [https://www.monografias.com/docs/Transmisi%C3%B3n-De-Potencia-Por-](https://www.monografias.com/docs/Transmisi%C3%B3n-De-Potencia-Por-Acoplamiento-Directo-PKYRVJEJMZ)
7] Acoplamiento-Directo-PKYRVJEJMZ, «Tranmision de potencia por acoplamiento
directo.,» [En línea]. Available:
[https://www.monografias.com/docs/Transmisi%C3%B3n-De-Potencia-Por-](https://www.monografias.com/docs/Transmisi%C3%B3n-De-Potencia-Por-Acoplamiento-Directo-PKYRVJEJMZ)
Acoplamiento-Directo-PKYRVJEJMZ. [Último acceso: 23 Noviembre 2017].

[1 W. Bolton, «Ingeniería de Control».

8]

[1 Prezi, «<https://prezi.com/pwj2lgan3rnv/arrancadores-de-estado-solido/>,» [En línea].
9] Available: <https://prezi.com/pwj2lgan3rnv/arrancadores-de-estado-solido/>. [Último
acceso: 25 Noviembre 2017].

[2 Wikipedia, «<https://es.wikipedia.org/wiki/Guardamotor>,» 24 Agosto 2017. [En
0] línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Guardamotor>. [Último acceso: 25
Noviembre 2017].

- [2 Enlaces mas interesantes, «[http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-1\) marcha-y-paro/](http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-1) marcha-y-paro/),» [En línea]. Available: <http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-marcha-y-paro/>. [Último acceso: 04 Diciembre 2017].
- [2 J. Clarkson, Design Process Improvement, Springer - Verlag, 2005.
2]
- [2 <http://ctcalidad.blogspot.pe/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>,
3] «calidad total,» 14 Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://ctcalidad.blogspot.pe/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>. [Último acceso: 07 Noviembre 2017].
- [2 C. H. y. F. S. Arango, Equipo para procesamiento de productos agrícolas, Turrielba -
4] Costa Rica : IICA, 1968.
- [2 C. G. d. A. S.A., «SAE 1020 Y SAE 1045 Aceos ingeniería al carbono,» [En línea].
5] Available: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>. [Último acceso: 06 11 2017].
- [2 W. M. -. J. C. S. -. P. Harriott, Operaciones unitarias en Ingeniería Química, Madrid:
6] McGRAW-HILL PNTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U., 1991.
- [2 R. A. R. M. R. G. O. F. ALBERTO JIMÉNEZ MERINO, «CONSERVACIÓN DE
7] FORRAJES PARA MEJOR LA PRODUCTIVIDAD DEL GANADO,» Puebla, Mexico .
- [2 J. Ines, «Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de
8] azúcar,» Riobamba - Ecuador, 2011.
- [2 F. D. d. C. Rodriguez,
9] «http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/tabras%20y%20graficas.pdf,» 2007. [En línea]. Available: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/tabras%20y%20graficas.pdf. [Último acceso: 15 Agosto 2017].

[3 <https://es.wikipedia.org/wiki/Ergonom%C3%ADa>, «Wikipedia,» [En línea].
0] Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ergonom%C3%ADa>. [Último acceso: 28
Noviembre 2017].

[3 Trabajo de pie., «<https://www.ergonomia.cl/eee/ergos09.html>,» Ergonomia en
1] español., [En línea]. Available: <https://www.ergonomia.cl/eee/ergos09.html>..
[Último acceso: 28 Noviembre 2017].

[3 OSINERMINING, «Plan Tarifario,» 4 Octubre 2017. [En línea]. Available:
2] [http://www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx
?Id=140000](http://www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx?Id=140000). [Último acceso: 23 Octubre 2017].

- R. Hernández Sampieri, Metodología de la investigación, 5ta edición. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2010.
- R. L.Mott, Resistencia de materiales, 5ta edición. Mexico: Pearson educación, 2009.
- R. Budynas y J. Keith Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de shigley, 8va edición. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2008.
- P. Beer, E. Russell Johnston y E. Eisenberg, Mecánica vertical para ingeniería, 8va edición. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2007.
- S. Zemansky. Física Universitaria, 12va edición. Mexico: Addison – Wesley Pearson,2009.

X. ANEXOS

• Anexo 1.

Propiedades mecánicas de materiales ferrosos.

Número ASTM	Resistencia a la tensión S_{ut} kpsi	Resistencia a la compresión S_{uc} kpsi	Módulo de ruptura por cortante S_{sur} kpsi	Módulo de elasticidad, Mpsi		Límite de resistencia a la fatiga* S_e kpsi	Dureza Brinell H_B	Factor de concentración al esfuerzo a la fatiga K_f
				Tensión†	Torsión			
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156	1.00
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174	1.05
30	31	109	40	13-16.4	5.2-6.6	14	201	1.10
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212	1.15
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235	1.25
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262	1.35
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302	1.50

*Piezas pulidas o maquinadas.
 †El módulo de elasticidad del hierro fundido en compresión corresponde de manera muy cercana al valor superior en el intervalo dado para tensión y es un valor más constante que el de tensión.

Fuente (Shigley 2008)

• Anexo 2

Factor de acabado superficial (K_a)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente (Shigley 2008)

- **Anexo 3**

Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_o	Factor de confiabilidad k_o
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente (Shigley 2008)

- **Anexo 4**

Resistencias mínimas de aceros.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente (Shigley 2008)

- Anexos 5 – 6.

Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

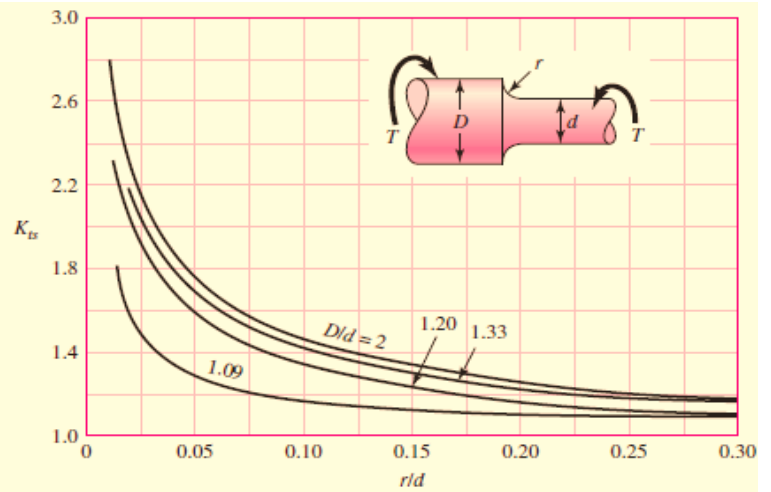
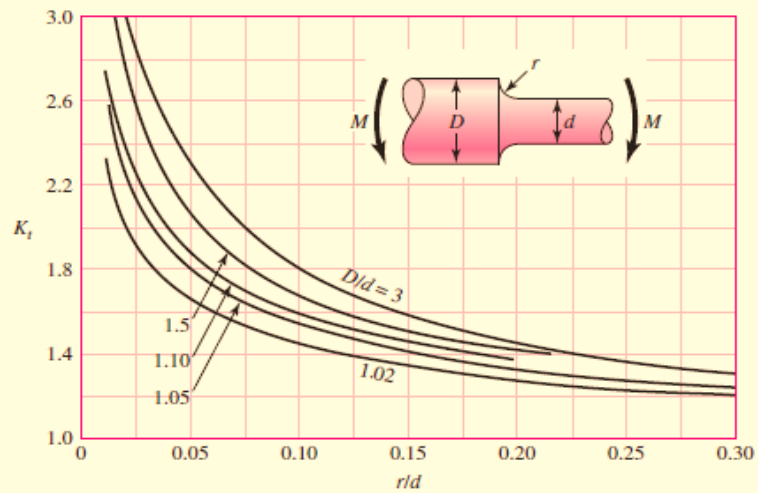


Figura A-15-9

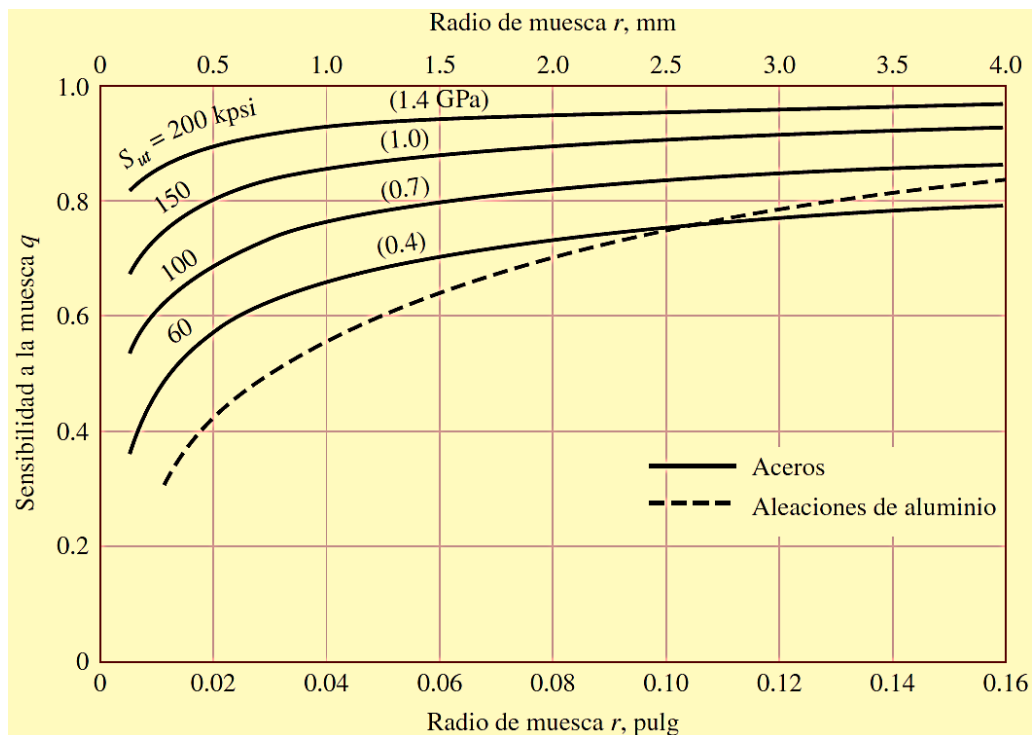
Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.



Fuente (Shigley 2008)

- **Anexo 7**

Sensibilidad a la muesca en caso de acero y aleaciones de aluminio.



Fuente (Shigley 2008)

Calculo de cuchillas.

- **Anexo 8**

Cuerpo Rígido	Posición del eje de rotación	Momento de Inercia (I)
Varilla delgada de longitud L y masa M	CM	$\frac{1}{12}ML^2$
Cono sólido de radio R (de la base) y masa M	CM	$\frac{3}{10}MR^2$
Varilla delgada de longitud L y masa M	Extremo de la varilla	$\frac{1}{3}ML^2$
Aro delgado de radio R y masa M	CM	MR^2
Cilindro sólido de radio R y masa M	CM	$\frac{1}{2}MR^2$
Disco de radio R y masa M	CM	$\frac{1}{2}MR^2$
Placa rectangular de lados a y b asentada con masa M	CM	$\frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$
Placa rectangular parada con lado perpendicular al eje de rotación L con masa M	CM	$\frac{1}{12}ML^2$
Placa rectangular parada con lado perpendicular al eje de rotación L con masa M	Extremo de la placa	$\frac{1}{3}ML^2$
Esfera sólida de radio R y masa M	CM	$\frac{2}{5}MR^2$

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia.

- **Anexo 9**

Shigley, Tabla A-24.

Propiedades típicas de hierro fundido gris N° ASTM 20

Número ASTM	Resistencia a la tensión S_{utr} kpsi	Resistencia a la compresión S_{ucr} kpsi	Módulo de ruptura por cortante S_{sur} kpsi	Módulo de elasticidad, Mpsi		Límite de resistencia a la fatiga* S_e kpsi
				Tensión†	Torsión	
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5
30	31	109	40	13-16.4	5.2-6.6	14
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5

*Piezas pulidas o maquinadas.
 †El módulo de elasticidad del hierro fundido en compresión corresponde de manera muy cercana al valor superior en el intervalo dado para tensión y es un valor más constante que el de tensión.

- **Anexo 10.**

Tabla de selección							
Potencia en HP	RPM	Voltaje	Armazón	GP10 Uso General Catálogo Spiridon	Corriente Nominal A	Eficiencia Nominal %	Peso Kg
3	3600	208-230/460	182T	A7B10001006543	3,7	85,5	39
	1800	208-230/460	182T	A7B10001006545	4,0	87,5	40
	1200	208-230/460	213T	A7B10001006553	4,2	87,5	65
	900	208-230/460	215T	A7B10001006607	4,8	85,5	63
5	3600	208-230/460	184T	A7B10001006544	6,2	87,5	41
	1800	208-230/460	184T	A7B10001006546	6,7	87,5	43
	1200	208-230/460	215T	A7B10001006554	6,8	87,5	68
	900	208-230/460	254T	A7B10001006608	8,8	86,5	99
7.5	3600	208-230/460	213T	A7B10001006549	9,0	88,5	62
	1800	208-230/460	213T	A7B10001006551	9,5	89,5	65
	1200	208-230/460	254T	A7B10001006559	10,5	89,5	101
	900	208-230/460	256T	A7B10001006609	13,0	87,5	113
10	3600	208-230/460	215T	A7B10001006550	11,5	89,5	68
	1800	208-230/460	215T	A7B10001006552	12,5	89,5	68
	1200	208-230/460	256T	A7B10001006560	13,5	89,5	107
	900	230/460	284T	*	12,0	91,0	170
15	3600	208-230/460	254T	A7B10001006555	18,0	90,2	103
	1800	208-230/460	254T	A7B10001006557	19,0	91,0	103
	1200	230/460	284T	A7B10001005586	20,0	90,2	170
	900	230/460	286T	*	23,0	91,0	195
20	3600	208-230/460	256T	A7B10001006556	23,5	90,2	109
	1800	208-230/460	256T	A7B10001006558	25,0	91,0	111
	1200	230/460	286T	A7B10001005567	26,0	90,2	195
	900	230/460	324T	*	31,0	91,0	257
25	3600	230/460	284TS	A7B10001005569	29,0	91,0	170
	1800	230/460	284T	A7B10001005508	29,0	92,4	177
	1200	230/460	324T	A7B10001005617	33,0	91,7	256
	900	230/460	326T	*	38,0	90,2	272
30	3600	230/460	286TS	A7B10001005611	34,0	91,0	195
	1800	230/460	286T	A7B10001005510	35,0	92,4	185
	1200	230/460	326T	A7B10001005619	39,0	91,7	272
	900	230/460	364T	*	47,0	91,0	362

