



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORA: DIANA CAROLINA BERMEO M.

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS
TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS.**

DIRECTOR: ING. OSCAR ARTEAGA

CODIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ

LATACUNGA, MAYO - 2014

CERTIFICADO

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)
ING. WILSON SÁNCHEZ (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS**”, realizado por la señorita DIANA CAROLINA BERMEO MARTÍNEZ, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de 2 documentos empastados y 2 discos compactos los cuales contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a la Srta. Diana Carolina Bermeo que lo entregue al Ing. Wilson Sánchez, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Mayo del 2014

Ing. Oscar Arteaga.
DIRECTOR

Ing. Wilson Sánchez.
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, **BERMEO MARTÍNEZ DIANA CAROLINA**

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Mayo del 2014.

Bermeo Martínez Diana Carolina

C.I: 0503344236

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **BERMEO MARTÍNEZ DIANA CAROLINA**

AUTORIZO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS”**, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo del 2014

Bermeo Martínez Diana Carolina
C.I: 0503344236

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios y a la Virgencita por darme fortaleza y sabiduría para vencer los obstáculos que se me han presentado y poder culminar uno de mis objetivos más anhelados.

Agradezco de una manera muy especial a mis padres, quienes me han apoyado de una forma incondicional en mi vida personal y académica, también agradezco a todas aquellas personas que siempre confiaron en mí y supieron darme palabras de aliento para seguir adelante.

A los Ingenieros: Oscar Arteaga, Wilson Sánchez, Washington Freire, por su orientación, enseñanzas y paciencia que tuvieron con mi persona para el desarrollo de este proyecto.

A todos ellos mi eterna consideración y gratitud.

Carolina Bermeo M.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a mis padres y a mi hermana por ser ellos el pilar fundamental en mi vida, quienes han estado siempre a mi lado brindándome su apoyo, además lo dedico a una persona muy especial en mi vida quien me apoyó de una forma incondicional y desinteresada en el presente proyecto.

Carolina Bermeo M.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN.....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xix
ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
ANTECEDENTES.....	xxiii
OBJETIVO GENERAL.....	xxiv
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	xxiv
JUSTIFICACIÓN.....	xxv

CAPÍTULO I

1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	CARACTERÍSTICAS DE GRANOS PARA ALIMENTACIÓN DE AVES.....	2
1.2.1.	MAÍZ	3
1.2.2.	TRIGO.....	4
1.2.3.	SOYA.....	5
1.3.	MOLINOS.....	6
1.3.1.	TIPOS DE MOLINOS, CARACTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO.....	7
1.4.	SELECCIÓN DEL MOLINO PARA TRITURA GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS.....	12
1.5.	MOLINOS DE MARTILLO	14
1.5.1.	DEFINICIÓN.....	14
1.5.2.	PARTES DEL MOLINO DE MARTILLOS	14
1.5.3.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	17

CAPÍTULO II

2.	DISEÑO Y SELECCIÓN	19
2.1.	CAPACIDAD DEL EQUIPO	19
2.2.	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	21
2.2.1.	CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL MOLINO.....	22
2.2.2.	FACTOR DE SEGURIDAD	22
2.2.3.	VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL MOLINO	22

2.2.4.	GEOMETRÍA DE LA HERRAMIENTA DE PERCUSIÓN	22
2.2.5.	MATERIALES DE LOS ELEMENTOS.....	22
2.2.6.	MOTOR.....	23
2.2.7.	LIMITACIONES	24
2.2.8.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	24
2.3.	DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE PERCUSIÓN – MARTILLOS.....	24
2.3.1.	CÁLCULO DEL RADIO DE GIRO.....	29
2.3.2.	ANÁLISIS DE FUERZAS PRESENTES EN EL MARTILLO.....	32
2.3.3.	CÁLCULO DEL NÚMERO DE MARTILLOS	36
2.3.4.	DISTRIBUCIÓN DE LOS MARTILLOS	38
2.4.	SELECCIÓN DE SEPARADORES DE MARTILLOS	39
2.5.	DISEÑO DEL EJE SECUNDARIO – PORTA MARTILLOS.....	40
2.6.	DISEÑO DEL DISCO PORTA EJES SECUNDARIOS	48
2.7.	CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR.....	54
2.8.	TRANSMISIÓN POR BANDAS	56
2.9.	DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL	
2.10.	DETERMINACIÓN DE CUÑAS PARA LA POLEA	70
2.11.	DISEÑO DE RODAMIENTOS	71
2.12.	SELECCIÓN DE LOS SEPARADORES DE DISCOS	73
2.13.	DISEÑO DEL ARMAZÓN DEL MOLINO	74
2.13.1.	DISEÑO DEL BASTIDOR	75
2.13.2.	DISEÑO DE LA TAPA DEL MOLINO.....	78
2.14.	DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	81

2.15.	DISEÑO DE LA TOLVA DE DESCARGA.....	86
2.16.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	87
2.17.	SELECCIÓN DE LA MALLA DE CRIBADO	90
2.18.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	92
2.19.	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	95
2.19.1.	SELECCIÓN DEL FUSIBLE	96
2.19.2.	SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO	96
2.19.3.	SELECCIÓN DEL CONTACTOR.....	98
2.19.4.	SELECCIÓN DEL RELÉ TÉRMICO	98
2.19.5.	SELECCIÓN DEL CONDUCTOR	99
2.19.6.	SELECCIÓN DE ACCESORIOS ELÉCTRICOS	100
2.19.7.	DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA	103
CAPÍTULO III		
3.	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	104
3.1.	CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO	104
3.1.1.	HERRAMIENTA DE PERCUSIÓN.....	104
3.1.2.	DISCOS	104
3.1.3.	BASTIDOR.....	106
3.1.4.	TAPA DEL MOLINO.....	107
3.1.5.	EJE PRINCIPAL.....	108
3.1.6.	TUERCAS.....	109
3.1.7.	SEPARADORES.....	110
3.1.8.	ESTRUCTURA	111
3.1.9.	TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	111

3.1.10.	TOLVA DE DESCARGA.....	111
3.2.	MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO DE MARTILLOS.....	112
3.2.1.	MONTAJE DEL ARMAZÓN.....	112
3.2.2.	MONTAJE DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN.....	113
3.2.3.	MONTAJE SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR BANDAS.....	114
3.2.4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	115
3.3.	FUNCIONAMIENTO DEL MOLINO DE MARTILLOS	116
3.3.1.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN	116
3.3.2.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	116
3.3.3.	FUNCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	117
3.3.4.	PRUEBAS DE GRANOS TRITURADOS	117
3.4.	MANUAL DE USUARIO Y PLAN DE MANTENIMIENTO.....	118
CAPÍTULO IV		
4.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	119
4.1.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	119
4.1.1.	COSTOS DIRECTOS.....	119
4.1.2.	COSTOS INDIRECTOS.....	123
4.2.	INVERSIÓN DE LA MÁQUINA	124
4.3.	ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN DEL MOLINO DE MARTILLOS APLICADO EN GRANJAS AVÍCOLAS.....	124
4.3.1.	FLUJO DE CAJA	125
4.3.2.	TASA MÍNIMA ATRACTIVA DE RENDIMIENTO (TMAR).....	127
4.3.3.	VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	127

4.3.4.	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	128
4.3.5.	PERÍODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI).....	129
4.3.6.	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C).....	131

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
5.1.	CONCLUSIONES	132
5.2.	RECOMENDACIONES	132

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Molino de Piedras	7
Figura 1.2	Molino de Discos Metálicos.....	8
Figura 1.3	Molino de Rodillos estriados.	9
Figura 1.4	Molino de Rodillos lisos.....	9
Figura 1.5	Molino de Bolas.	10
Figura 1.6	Molino de Martillos.....	11
Figura 1.7	Partes principales de un molino de martillos	14
Figura 1.8	Partes del sistema de trituración de un molino de martillos	15
Figura 1.9	Tipos de matillos – Herramienta de impacto	16
Figura 1.10	Criba del molino de martillos	16
Figura 1.11	Principio de funcionamiento del molino de martillos	17

CAPÍTULO II

Figura 2.1	Posición de la herramienta de percusión.	25
Figura 2.2	Fuerza cortante presente en la herramienta de percusión.	26
Figura 2.3	Procedimiento para el cálculo de F_c	27
Figura 2.4	Fuerza cortante presente en la herramienta de percusión.	28
Figura 2.5	Radio de Giro del Molino.....	29
Figura 2.6	Geometría de la herramienta de percusión	31
Figura 2.7	Fuerzas que actúan el martillo	32
Figura 2.8	Área sometida a tracción	33
Figura 2.9	Sección de Análisis por rotura	35

Figura 2.10	Área de desgaste del martillo.....	36
Figura 2.11	Distribución de los Ejes Secundarios en el Disco.....	38
Figura 2.12	Distribución de los martillos	39
Figura 2.13	Espaciadores de Martillos	40
Figura 2.14	Elementos presentes en el eje secundario.....	41
Figura 2.15	Fuerzas presentes en el sistema de trituración	41
Figura 2.16	Diagrama fuerzas presentes en el eje secundario.	43
Figura 2.17	Diagramas de Fuerzas cortantes del eje secundario.....	43
Figura 2.18	Diagrama de Momentos del eje Secundario.....	43
Figura 2.19	Circulo de Mohr	45
Figura 2.20	Factor de Seguridad del eje Secundario	46
Figura 2.21	Tensión de Von Mises en el eje secundario.....	47
Figura 2.22	Desplazamientos en el eje secundario.....	47
Figura 2.23	Fuerzas presentes en los discos.....	48
Figura 2.24	Diagrama de fuerzas cortantes para determinar las reacciones en el disco a 90°	49
Figura 2.25	Diagrama de fuerzas cortantes para determinar las reacciones en el disco a 270°	50
Figura 2.26	Diagrama de fuerzas cortantes para determinar las reacciones en el disco a 180°	50
Figura 2.27	Disco porta ejes secundarios.	51
Figura 2.28	Factor de Seguridad del Disco Porta-martillos	52
Figura 2.29	Tensión de Von Mises en el Disco Porta-martillos	53
Figura 2.30	Desplazamientos en el Disco Porta-martillos	53

Figura 2.31 Sistema de transmisión por bandas.	57
Figura 2.32 Fuerzas Presentes en el sistema de transmisión	62
Figura 2.33 Fuerzas del conjunto del sistema de trituración	64
Figura 2.34 Fuerzas que actúan en el eje principal.....	64
Figura 2.35 Longitud del sistema de Trituración	65
Figura 2.36 Diagrama de cuerpo libre del eje principal en el plano $y - x$..	66
Figura 2.37 Diagrama de Fuerzas cortantes del eje principal en el plano $y-x$	66
Figura 2.38 Diagrama de Momentos del eje principal en el plano $y -x$	67
Figura 2.39 Diagrama de cuerpo libre del eje principal en el plano $z - x$...	67
Figura 2.40 Diagrama de Fuerzas cortantes del eje principal en el plano $z-x$	68
Figura 2.41 Diagrama de Momentos del eje principal en el plano $z -x$	68
Figura 2.42 Separadores de discos	74
Figura 2.39 Armazón del molino de martillos	75
Figura 2.44 Bastidor del Molino de martillos	75
Figura 2.45 Fuerzas aplicadas en el bastidor.....	76
Figura 2.46 Factor de seguridad del bastidor.....	77
Figura 2.47 Tensión de Von Mises en el bastidor	77
Figura 2.48 Desplazamientos en el bastidor	78
Figura 2.49 Geometría de la tapa del molino	79
Figura 2.50 Asignación de las fuerzas en la tapa del molino.....	79
Figura 2.51 Factor de seguridad de la tapa del molino	80
Figura 2.52 Tensión de Von Mises en la tapa del molino	80

Figura 2.53	Desplazamientos en la tapa del molino	81
Figura 2.54	Ángulo de inclinación de la tolva	82
Figura 2.55	Geometría de la tolva.....	83
Figura 2.56	Área de la tolva en cm.	83
Figura 2.57	Factor de seguridad de la Tolva de alimentación	85
Figura 2.58	Tensión de Von Mises en la Tolva de alimentación.....	85
Figura 2.59	Desplazamientos en la Tolva de alimentación	86
Figura 2.60	Tolva de descarga del molino de martillos	87
Figura 2.61	Compuerta del sistema de alimentación	87
Figura 2.62	Figura Fuerzas que actúan sobre la compuerta.	88
Figura 2.63	Factor de seguridad de la puerta reguladora de flujo	89
Figura 2.64	Tensión de Von Mises en la puerta reguladora de flujo.....	89
Figura 2.65	Desplazamientos en la puerta reguladora de flujo	90
Figura 2.66	Ubicación de la malla de cribado	90
Figura 2.67	Malla de cribado	91
Figura 2.68	Fuerzas que soporta la estructura.....	92
Figura 2.69	Factor de seguridad de la estructura.....	94
Figura 2.70	Tensión de Von Mises en la estructura	94
Figura 2.71	Desplazamientos de Von Mises en la estructura.....	95
Figura 2.63	Circuito de potencia	103

CAPÍTULO III

Figura 3.1	Trazo del punto de referencia	105
Figura 3.2	Discos cortados equipo de corte por plasma.....	105
Figura 3.3	Mecanizado de los discos en el torno	106

Figura 3.4	Perforación de los agujeros en el taladro pedestal.....	106
Figura 3.5	Construcción del bastidor.....	107
Figura 3.6	Mecanizado de las caras laterales de la tapa del molino	107
Figura 3.7	Construcción de la tapa del molino	108
Figura 3.8	Eje principal	108
Figura 3.9	Mecanizado del eje principal.....	109
Figura 3.10	Mecanizado de las tuercas	110
Figura 3.11	Corte de los separadores.....	110
Figura 3.12	Construcción de la estructura	111
Figura 3.13	Montaje de la tapa del molino y el bastidor	112
Figura 3.14	Ensamble del armazón del molino	113
Figura 3.15	Ensamble del sistema de trituración.....	114
Figura 3.16	Montaje del Sistema de transmisión	115
Figura 3.17	Implementación del sistema eléctrico.....	115

CAPÍTULO IV

Figura 4.1	Cálculo del VAN en Excel	128
Figura 4.2	Cálculo del TIR en Excel.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1	Nutrientes requeridos por los pollos	2
Tabla 1.2	Composición promedio de las partes componentes del grano de maíz.....	3
Tabla 1.3	Composición química del trigo.	4
Tabla 1.4	Composición Nutricional del grano de soya.	5

CAPÍTULO II

Tabla 2.1	Consumo de alimento de pollos camperos.....	20
Tabla 2.2	Quintales de producción en diferentes escenarios de capacidad de molinos.	21
Tabla 2.3	Resultados obtenidos.....	28
Tabla 2.4	Factor f de acuerdo a la velocidad tangencial.	54
Tabla 2.5	Longitud del sistema de trituración.....	65
Tabla 2.6	Factor de material	69
Tabla 2.7	Factor de tipo de esfuerzo.....	69
Tabla 2.8	Factor de confiabilidad	70
Tabla 2.9	Parámetros de la cuña seleccionada	71
Tabla 2.10	Duración recomendada para rodamientos.	72
Tabla 2.11	Características del perfil circular de los separadores de discos	74
Tabla 2.12	Coeficiente de Fricción de algunos granos.....	82
Tabla 2.13	Peso del molino	93

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1	Costos de elementos del sistema mecánico	120
-----------	--	-----

Tabla 4.2	Costos de elementos del sistema eléctrico	121
Tabla 4.3	Costos directos de Maquinado	122
Tabla 4.4	Costo directo por Montaje del Molino	123
Tabla 4.5	Costos de materiales indirectos	123
Tabla 4.6	Inversión de la Máquina	124
Tabla 4.7	Flujo De Caja	126
Tabla 4.8	Flujos de caja acumulados	130
Tabla 4.9	Resultados del análisis financiero	131

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I

Cuadro 1.1	Modos de suministrar diversos alimentos al ganado	2
Cuadro 1.2	Métodos para el funcionamiento de un molino.	6
Cuadro 1.3	Características para la selección de un Molino.....	13

CAPÍTULO II

Cuadro 2.1	Tiempo para la comercialización de pollos.	19
Cuadro 2.2	Características del Motor.....	56
Cuadro 2.3	Características del sistema de transmisión.....	61
Cuadro 2.4	Características del Fusible	96
Cuadro 2.5	Características del Interruptor termo-magnético.....	97
Cuadro 2.6	Características del Contactor	98
Cuadro 2.7	Características del Relé Térmico.....	99
Cuadro 2.8	Características del Conductor	100

Cuadro 2.9	Características del Pulsador.....	101
Cuadro 2.10	Características de luz piloto	102
Cuadro 2.11	Características del pulsador de emergencia.....	102

CAPÍTULO III

Cuadro 3.1	Pruebas en el molino de martillos.....	118
------------	--	-----

CAPÍTULO IV

Cuadro 4.1	Criterios para el análisis financiero	124
------------	---	-----

ANEXOS

ANEXO A: Factores De Diseño Características De Materiales

ANEXO B: Planos Mecánicos

ANEXO C: Planos Eléctricos.

ANEXO D: Soldadura.

ANEXO E: Procedimiento De Operación Y Mantenimiento

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un molino de tipo martillos, que tenga una capacidad aproximada de 10 quintales por hora. El objetivo del molino es triturar granos como: maíz duro (morochillo), trigo, soya, etc. para la alimentación de pollos camperos. El molino de martillos está formado por diferentes partes como: las herramientas de percusión que son las encargadas de triturar el grano, los ejes secundarios, los discos, el eje principal, entre otros. Para el diseño de estos elementos mecánicos se determinaron las fuerzas a las que se encuentran sometidos. De acuerdo al principio de funcionamiento de molinos de martillos, la principal fuerza presente en el sistema es la fuerza centrífuga, la misma que se determinó en base a la velocidad angular y radio de giro del molino. El sistema de trituración es accionado por un motor eléctrico el mismo que, es controlado en forma manual desde el gabinete de control. Previa a la construcción del molino se realizó en un software CAE; el diseño y la comprobación del correcto funcionamiento de la máquina, mediante el análisis de elementos finitos (factor de seguridad, esfuerzos máximos de Von Mises y desplazamientos).

SUMMARY

This project involves the design and construction of a hammer mill, which has an approximate capacity of 10 pounds per hour. The aim of the mill is grinding grains like hard corn (morochillo), wheat, soy, etc., for feeding range chickens. The hammer mill is made up of different parts as percussive tools that are responsible for grinding grain, side shafts, disks, main shaft, among others. For the design of these mechanical forces to which they are subjected is determined. According to the working principle of hammer mills, the main force in this system is the centrifugal force, the same as the angular speed and radius of rotation of the mill was determined based. The crushing system is powered by an electric motor that it is controlled manually from the control cabinet. Previous to the construction of the mill was performed in a CAE software; design and verification of the correct operation of the machine, using the finite element analysis (safety factor, maximum Von Mises stresses and displacements).

ANTECEDENTES

El criadero avícola de pollos camperos, se diferencia de los criaderos industriales en que no utiliza productos químicos, es decir, las aves no son sometidos a mayores esfuerzos metabólicos en su alimentación, y para su crianza se respeta mucho más la etología y el bienestar animal, esto hace que el costo y tiempo de comercialización sea mayor comparado con la crianza de otros tipos de pollos.

Los pollos camperos consumen básicamente granos enteros o triturados. El principal efecto de la trituración del grano de maíz duro (conocido como morochillo), soya, trigo, etc. en la alimentación de aves es favorecer la ruptura de la matriz proteica, la misma que contiene los gránulos de almidón, de esta forma se mejora la digestibilidad en todo el tracto digestivo de las aves y se controla la pérdida de líquidos y deshidratación.

OBJETIVO GENERAL

DISEÑAR Y CONSTRUIR UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS COMO MAÍZ, SOYA, TRIGO PARA GRANJAS AVÍCOLAS, DE 10 QUINTALES POR HORA DE CAPACIDAD.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información sobre el principio de funcionamiento, y las diferentes partes que forman un molino de martillos.
- Diseñar las partes constitutivas de un molino de martillos.
- Seleccionar los elementos eléctricos de control y protección para el sistema de potencia.
- Realizar el modelamiento y análisis de la estructura del molino de martillos utilizando software CAE.
- Construir y comprobar el funcionamiento del molino de martillos diseñado.
- Realizar un análisis financiero de la construcción del molino de martillos para determinar la viabilidad del proyecto.

JUSTIFICACIÓN

La meta del diseño y construcción del molino de martillos, es reducir los valores de producción de las aves, para lo cual, es necesario minimizar los costos en la obtención del alimento, es decir, realizar el proceso de trituración de morochillo, soya y/o trigo en la granja avícola y no en una molienda ajena. Realizar el proceso de trituración del grano de forma manual representa tiempo y gran esfuerzo físico, siendo de esta manera inadecuado en el mantenimiento de la granja, por lo tanto se genera la necesidad de la construcción de dicho molino, lo cual implica reducción de costos de productividad y por lo tanto mayor competitividad al comercializar las aves, además evita la contaminación del alimento por el transporte y garantiza el consumo de productos naturales y no químicos para las aves.

La capacidad del molino en base a la alimentación necesaria de las aves y al tiempo disponible del usuario, debe ser aproximadamente de 10 quintales por hora, de esta manera la capacidad del molino estará de acuerdo con la necesidad y disponibilidad del usuario.

El tipo de molino es un molino de martillos que cuenta con las siguientes características:

- Apropriados para la molienda de grano seco.
- El costo de construcción comparado con un molino de rodillos es menor.
- Operaciones de mantenimiento sencillas.
- Capacidad de producción alta.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. INTRODUCCIÓN.

Las granjas de pollos camperos se basa en la cría de aves con una alimentación que está fundamentada en dietas a base de cereales (donde el maíz supone el 60% de los cereales), y exentas de cualquier tipo de aditivo como: químicos, hormonas que pueda actuar como promotor del crecimiento y/o alterar las características organolépticas de la carne, es decir, su sabor, color, olor, textura garantizando un alimento natural; pero esto conlleva a alargar los ciclos productivos y aumentar los costes de producción.

Las aves así como otros animales pueden consumir los granos de cereales enteros, aplastados, triturados, hinchados mediante calor. Lo más recomendable es que las aves se alimenten con granos triturado o aplastados, mediante estos procesos se realiza la ruptura de la matriz proteica del grano obteniendo ciertas ventajas como: ahorro de alimentos, debido a que el animal no desperdicia energía mecánica en triturar él mismo el alimento y menos energía química en la digestión, en el caso de las aves mejora su digestibilidad en todo el tracto digestivo y sirve para controlar la pérdida de líquidos y deshidratación, además que facilita la mezcla entre alimentos según la ración de alimento necesaria.

Para lograr la ruptura de la matriz proteica de los cereales existes dos procesos como son el proceso de trituración y el de molienda, es necesario diferenciarlos para su posterior aplicación.

Cuando la división de los granos de cereales consiste en un fraccionamiento en trozos más pequeños se habla de trituración, por otro

lado cuando el grano se rompe hasta conseguir partículas más pequeñas formando harina se denomina molienda.

Cuadro 1.1 Modos de suministrar diversos alimentos al ganado

	Porcino	Vacuno	Equino	Aves
Heno	Triturado	Entero, picado	Entero, picado	Triturado
Granos	Triturado	Triturado	Entero,	Entero,
Patatas	Cocidas	Crudas	aplastado	triturado
			Crudas, cocidas	Cocidas

Fuente: J. Ortiz Cañavate (2003)

Una vez diferenciados los procesos de molienda y de trituración y según la tabla 1.1, en el caso de la alimentación de los pollos ya sean camperos o de otro tipo, el proceso de trituración es el apropiado ya que es la forma adecuada de suministrar el alimento. La reducción de tamaño excesivo (proceso de molienda), puede conllevar a un desgaste innecesario de equipos mecánicos, así como mayor consumo de energía eléctrica de la máquina encargada de la ruptura del cereal, además de posibles problemas digestivos en las aves de corral.

1.2. CARACTERÍSTICAS DE GRANOS PARA ALIMENTACIÓN DE AVES.

La alimentación de los pollos debe contener nutrientes necesarios y adecuados para su producción y posterior comercialización, la tabla 1.1 presenta los porcentajes de nutrientes requeridos.

Tabla 1.1 Nutrientes requeridos por los pollos

Nutriente	Iniciador	Terminador
Proteína (mínima)	21%	18%
Humedad (máxima)	12%	12%
Fibra (máxima)	4%	4%
Grasa (máxima)	3%	3%
Calcio (mínimo)	1%	1%
Fósforo (mínimo)	0.8%	0.7%
Energía metabolizable (Kcal/ kg)	2900	3000

Fuente: Adema, M. (2013)

Los productos que se utilizan con frecuencia para cubrir con los porcentajes de nutrientes que requieren las aves son dependiendo del tipo de pollo, si es parrillero el balanceado es el producto principal, pero en el caso de los pollos camperos el maíz, el trigo, la soya en porciones adecuadas son parte del alimento diario.

1.2.1. MAÍZ

El maíz es un alimento muy completo, que aporta numerosos elementos nutritivos y materiales energéticos. Los principales componentes químicos del maíz son: almidones, proteínas y lípidos como se observa en la tabla 1.2, también contiene cantidades menores de fibra cruda, azúcares, minerales y otras sustancias orgánicas como vitaminas liposolubles.

Tabla 1.2 Composición promedio de las partes componentes del grano de maíz.

Composición del grano (%)						
Partes del grano	% en peso seco del grano entero	Almidón	Grasa	Proteína	Ceniza	Azúcar
Endospermo	82.9	87.6	0.8	8.0	0.3	0.6
Germen	11.1	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8
Pericarpio	5.3	7.3	1.0	3.7	0.8	0.34
Tapa Superior	0.8	0.8	3.8	9.1	1.6	1.6
Grano Entero	100	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9

Fuente: Earle et, al(1946): Citado por Watson y Ramstad (1987)

En la tabla 1.2 se observa que un mayor porcentaje de almidón y proteína se encuentra en el endospermo, que es la parte interna del

grano de maíz, por otro lado, el menor porcentaje de nutrientes está presente en el pericarpio, que es la parte superficial del grano. Cuando se trata de alimentación de animales y en el caso de las aves, en muchas ocasiones consumen el maíz entero, pero el aparato digestivo no siempre logra descomponer el grano, de esta manera se desaprovecha los nutrientes que el cereal ofrece.

La dureza de los granos de maíz fue definida por Bennet (1950), como la fuerza necesaria para su rompimiento. Los métodos para medir la dureza del maíz incluyen: compresión, rompimiento, resistencia a la molienda y energía.

1.2.2. TRIGO

El trigo es un cereal que representa una gran fuente de alimento, para personas y para animales como se ve en la tabla 1.3. El trigo es uno de los cereales más usados en la elaboración de alimentos.

Tabla 1.3 Composición química del trigo.

Componentes Químicos	Porcentaje %
Agua	10 - 13
Almidón	63 - 71
Proteínas	10 - 15
Celulosa	2 - 3
Azúcares	2 - 3
Grasas	1 - 2
Sus. Minerales	1 - 2

Fuente: Osvaldo Soldano (1985)

La dureza y blandura son características de molinería, y están relacionadas con la manera de fragmentarse el endospermo, en los trigos duros la fractura tiende a producirse siguiendo las líneas que limitan las células, mientras que el endospermo de los trigos blandos se fragmenta de forma imprevista, al azar. Este fenómeno sugiere áreas de resistencias y debilidades mecánicas en el trigo duro, y debilidad bastante uniforme en el

trigo blando. Un punto de vista es que la dureza está relacionada con el grado de adhesión entre el almidón y la proteína.

1.2.3. SOYA

Es una semilla leguminosa similar al aspecto de los frijoles, actualmente la soya está considerada como la fuente proteica de mejor elección para la alimentación de personas, cerdos y aves en etapa de crecimiento y finalización por su alto contenido proteico, alta digestibilidad, buen balance de aminoácidos, calidad consistente y bajos costos comparada con otras fuentes proteicas como se observa en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Composición Nutricional del grano de soya.

Componentes	% de Grano de soya	
	Crudo	Procesado
Grasa	17.5	17.5
Proteína	37.5	37.5
Energía (Kcal)	416	884
Metionina	0.52	0.52
Lisina	2.42	2.42
Triptófano	0.54	0.54
Ácido linoleíco	8.5	8.5
Fibra	5.5	5.5
Calcio	0.26	0.26
Fósforo	0.61	0.61
Inhibidor tripsina	75 -80	< 0.10

Fuente: Buitrago, Portela, Eusse. 1992

La principal desventaja para la utilización del grano de soya en su estado natural en la alimentación de animales y personas es la presencia de

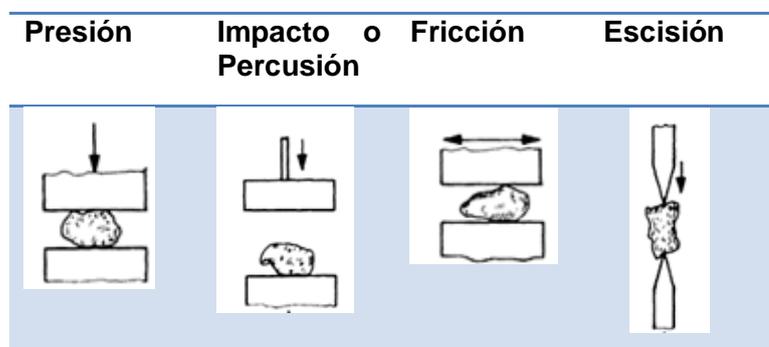
factores anti nutricionales como: la antitripsina, lipoxigenasa, ureasa, hemaglutinina y factor antitiroideo.

La antitripsina y la lipoxigenasa tienen gran interés por ser elementos que afectan negativamente la utilización de la proteína, la grasa y los carbohidratos a nivel intestinal y se manifiestan en una pobre digestibilidad, traduciéndose en disminución del crecimiento y pérdida de peso tanto en aves como en cerdos, por eso la necesidad de someter al grano a un proceso térmico (previa la trituración del grano) el cual destruya los factores anti nutricionales y permita aprovechar al máximo su potencial de energía y proteína [1].

1.3. MOLINOS [2]

Los molinos son equipos mecánicos diseñados para la reducción de sólidos que requieren un determinado tamaño, forma, área superficial, uniformidad y cantidad, ya sea de alimentos o materiales, además que al reducirse el tamaño se facilita su manipulación y almacenamiento. Los molinos se utilizan en diferentes campos como en la minería, agricultura entre otros. Los molinos utilizan diferentes métodos para su funcionamiento, como se indica en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.2 Métodos para el funcionamiento de un molino. [3]



El método o la clase de trituración se utiliza de acuerdo a las características del material o producto a procesar, como:

- Material duro: Presión, impacto.

- Material frágil: Fractura.
- Material tenaz: Escisión, corte.

1.3.1. TIPOS DE MOLINOS, CARACTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO [3]

Existen diferentes tipos de molinos, entre los principales se encuentran: molino de muelas o piedras, de discos metálicos, de rodillos, de bolas y de martillos.

a. Molinos de piedras

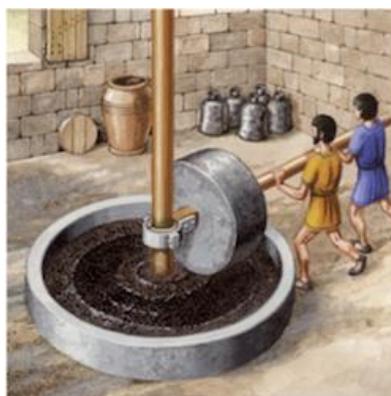


Figura 1.1 Molino de Piedras

Fueron los primeros empleados en la agricultura desde tiempos remotos, como se observa en la figura 1.1, pero en la actualidad no se utilizan en países desarrollados. Pueden ser de eje horizontal o de eje vertical siendo estos últimos de mayor rendimiento.

FUNCIONAMIENTO

Su efecto es producir una presión aplastante tan intensa entre las dos superficies de las muelas o piedras, de tal manera que las envueltas de los granos revienten destruyéndose su estructura interna. De las dos muelas, una se encuentra fija, y la otra es móvil. Los granos penetran axialmente por el llamado ojo del molino y el producto final sale por la fuerza centrífuga, en sentido radial. El diámetro de las piedras oscila entre 20 y 50 cm, y la velocidad de giro entre 250 y 1000 rpm.

b. Molinos de discos metálicos



Fuente: <http://www.acemo.com>.

Figura 1.2 Molino de Discos Metálicos

Son similares a los de piedras, pudiendo ser así mismo de eje horizontal o de eje vertical. Están formados por unos discos estriados o provistos de dientes como se ve en la figura 1.2, cuyo diámetro varía de 20 a 25 cm, y su velocidad de giro de 500 a 800 rpm. Como en el caso de los molinos de piedras, uno de los discos está fijo y el otro gira, pudiendo regularse la distancia entre los mismos. Su capacidad varía entre 10 y 200 kg/h.

Las principales ventajas del molino de discos son:

- Bajo costo inicial
- Uniformidad del material molido
- Requerimiento de potencias bajas

Desventajas:

- Corta vida de los discos
- Posibilidad de que el equipo se dañe debido a la introducción accidental de objetos extraños
- Para molienda fina potencia relativamente alta
- Daño que sufren los platos cuando funciona vacíos.

c. Molinos de rodillos

Existen dos tipos de molinos de rodillos que son:

c.1. Molinos de cilindros o rodillos estriados

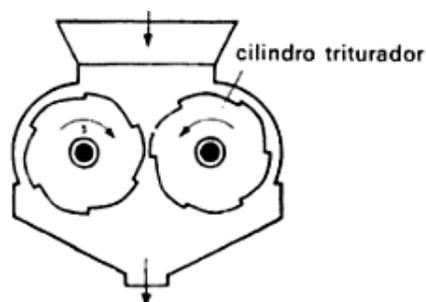


Figura 1.3 Molino de rodillos estriados.

Están formados por dos cilindros rugosos como se ve en la figura 1.3, el diámetro de los cilindros es de 15 a 25 cm y el ancho de 20 a 35 cm, según el rendimiento de molienda que se desee.

FUNCIONAMIENTO

Los granos son retenidos por las acanaladuras en el cilindro que gira más lentamente, mientras que las acanaladuras del más rápido se encargan de cortarlo, como si fuese una tijera. Se utilizan especialmente para triturar granos húmedos.

c.2. Molinos de rodillos lisos

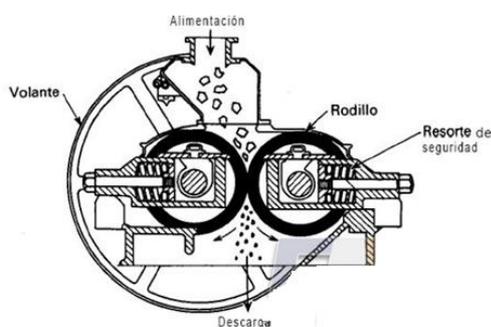
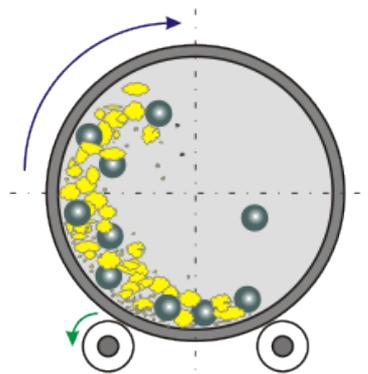


Figura 1.4 Molino de rodillos lisos.

Como su nombre lo indica están formados por dos cilindros lisos como se ve en la figura 1.4 y se utilizan para aplastar avena. El funcionamiento se basa en que uno de los rodillos es accionado y el otro gira libremente, haciendo que ambos cilindros marchen a la misma velocidad, la avena aplastada evita el rozamiento de los cilindros, el diámetro de los cilindros es de 15 a 40 cm. Son molinos cada vez menos utilizados porque se limita a aplastar avena y su rendimiento es bajo, del orden de 300 a 500 kg/h.

d. Molino de bolas



Fuente: Álvarez G. (s.f)

Figura 1.5 Molino de Bolas.

El molino de bolas es una carcasa cilíndrica que gira sobre su propio eje, esta envoltura se encuentra llena aproximadamente hasta la mitad de bolas de acero, las bolas de acero son el medio de molienda. Este equipo es ampliamente utilizado en los siguientes campos: cemento, productos de silicato, materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizante, metal negro y de color, cerámica y vidrio. Puede usarse para triturar de forma seca o húmeda diversas clases de minas y otros materiales que se puedan moler. [4]

e. Molinos de martillos

Son los más polivalentes y muy utilizados, el material o producto se desmenuza por percusión, es decir, la ruptura del grano se consigue al chocar los martillos contra los granos que producen en primer lugar la deformación plástica del grano seguida la ruptura por estallido, la trituración

continúa hasta que las partículas son capaces de atravesar los orificios de una rejilla.

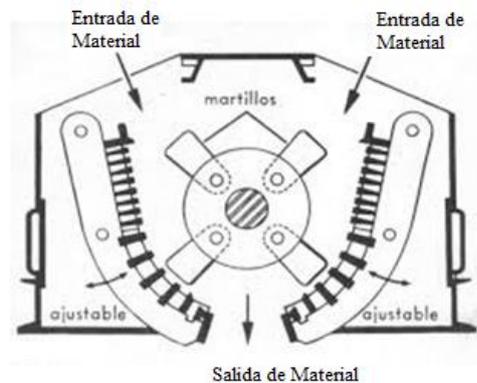


Figura 1.6 Molino de Martillos.

Las principales ventajas del molino de martillos son:

- Construcción simple
- Bajo costo de los repuestos
- Disponibilidad de una amplia gama de tamaños
- Larga duración de los martillos
- Su eficiencia no se reduce mientras se encuentra en funcionamiento
- Bajo riesgo de que se produzca daños, debido a la introducción de objetos extraños duros
- Fácil mantenimiento
- Operan en un sistema cerrado reduciendo el riesgo de explosión y contaminación cruzada.

Desventajas

- No produce una molienda uniforme
- Elevadas temperaturas en la cámara de molienda.

1.4. SELECCIÓN DEL MOLINO PARA TRITURAR GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS.

Para la elección adecuada de un molino para triturar granos es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- **Aplicación del molino:** Se puede tener diferentes aplicaciones al triturar grano como: alimentación de animales, producción de harina, entre otras. En este caso la aplicación del molino es triturar cereales como maíz, trigo, etc. para la alimentación de aves.
- **El proceso que se va realizar molienda o trituración:** Como se describió anteriormente el proceso de trituración es el que se va a utilizar para conseguir grano partido para la alimentación de los pollos, este proceso típicamente es realizado por molinos de rodillos o martillos, esta característica es importante para la selección del molino.
- **Grosor de las partículas finales que se desea alcanzar:** En el caso de la alimentación de los pollos, el grosor de las partículas que se desea obtener en el proceso de trituración es una característica importante, ya que en las primeras semanas de las aves se necesita grano partido más fino que en las semanas posteriores, por lo tanto es importante la selección de un molino que permita obtener diferente grosor del producto final.
- **Homogeneidad de las partículas finales:** La alimentación de aves no requiere de una estricta homogeneidad de las partículas.

Para granjas avícolas de acuerdo a las características de los diferentes molinos que existen en el mercado, los molinos de martillos y de rodillos son los más adecuados para la trituración de morochillo, trigo, etc.

En el cuadro 1.3 se describen algunas características que permiten determinar que el molino de martillos es el más adecuado para el proceso de trituración de granos aplicado en granjas avícolas.

Cuadro 1.3 Características para la selección de un Molino

Tipo de Molino	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Molino de Piedra 	Desactualizados
<ul style="list-style-type: none"> • Molino de Discos 	<p>Corta vida de elementos de trituración (discos).</p> <p>Capacidad en kg/h limitada.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Molino de Rodillos 	Adecuado para proceso de trituración y molienda, eficiente, pero necesita de dos o más etapas de rodillos lo que incrementa su costo inicial.
<ul style="list-style-type: none"> • Molino de Bolas 	Por su robustez exclusivo para minería.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Molino de Martillos 	Adecuado para proceso de trituración y molienda de granos, fácil mantenimiento, larga vida de los elementos de trituración (martillos), gran variedad de grosor del producto final y menor costo inicial que los molinos de rodillos son las características del molino de martillos.

1.5. MOLINOS DE MARTILLO

1.5.1. DEFINICIÓN

El molino de martillos es una máquina destinada para procesos como trituración y molienda, es un tipo de molino de impacto o percusión, tienen la ventaja de ser capaz de procesar muchos tipos de materiales, así como la producción de partículas de diversos tamaños, simplemente cambiando la pantalla de salida.

1.5.2. PARTES DEL MOLINO DE MARTILLOS

Un molino de martillos cuenta con elementos como: la cubierta, la cámara de desintegración, la boca de entrada del producto en la parte superior y la boca de descarga cerrada por una rejilla o criba como se observa en la figura 1.7.

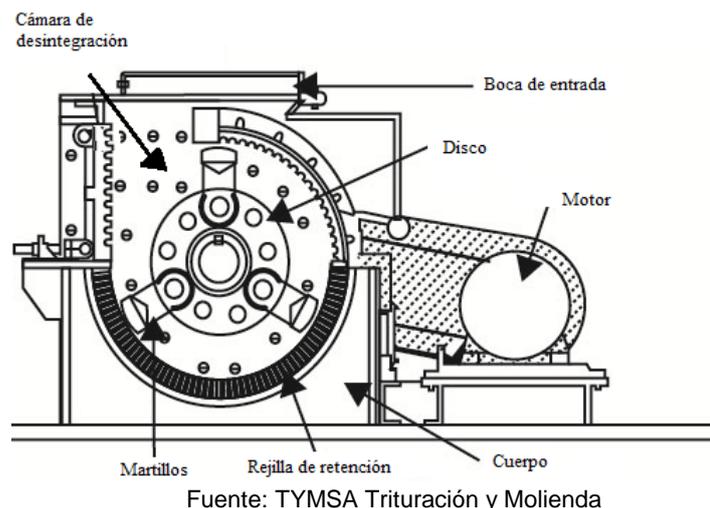


Figura 1.7 Partes principales de un molino de martillos

CÁMARA DE TRITURACIÓN O DESINTEGRACIÓN

La cámara de trituración es el alma del molino, en la figura 1.8 se presentan las partes del sistema de trituración.

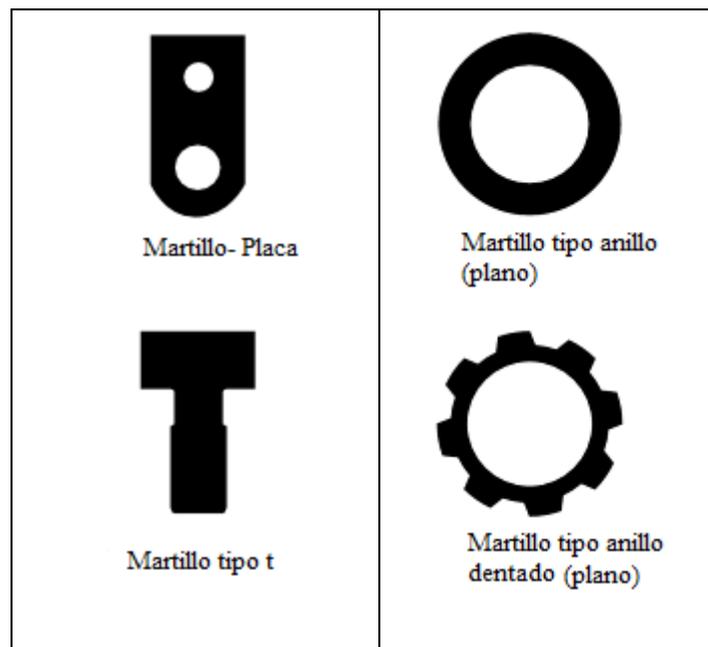


Fuente: Mecalux - Logismarket

Figura 1.8 Partes del sistema de trituración de un molino de martillos

La cámara de trituración está formado por elementos como: discos portamartillos, ejes secundarios, herramientas de percusión, eje principal y la criba, a continuación se detallan los elementos.

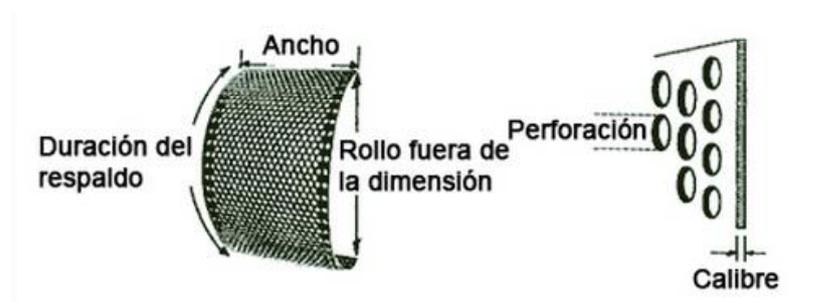
- **Eje Principal:** Es el eje de rotación en que se encuentran acoplados los discos, y soporta el del sistema de trituración (ejes secundarios, martillos). Ambos extremos de los ejes son roscados para fijarlos al sistema de trituración por medio de discos de separación.
- **Ejes Secundarios:** También denominados ejes porta martillos contiene a los martillos de trituración.
- **Discos:** Son discos de separación que sujetan a los ejes secundarios
- **Herramienta de percusión:** También llamada herramienta de impacto o martillos 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 moler, cada martillo es distribuido de tal manera que no se golpeen entre ellos, esto se logra por medio de separadores. Existen diferentes tipos de herramientas de impacto como se indica en la figura 1.9.



Fuente: Swain ,Mechanical Operations, 1Ed

Figura 1.9 Tipos de martillos – Herramienta de impacto

- **Criba:** La criba o rejilla se encuentra en el interior del molino de martillos, y su función es definir el tamaño final de la partícula, todo depende del diámetro de perforación de la plancha, como se ve en la figura 1.10. La malla de cribado debe cubrir un ángulo de 60° desde el centro en los dos sentidos es decir un ángulo de 120° .

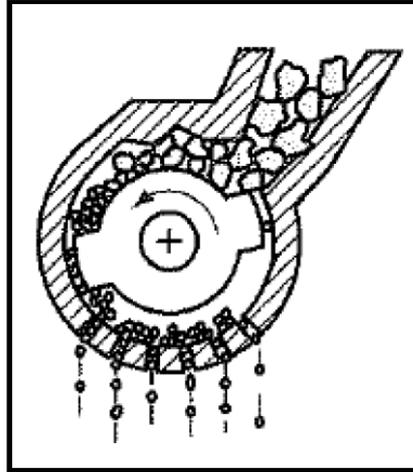


Fuente: Muyang Machinery shops.com

Figura 1.10 Criba del molino de martillos

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

1.5.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



Fuente: <http://www.chancadoras.org>

Figura 1.11 Principio de funcionamiento del molino de martillos

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 1.11.

En el caso de los granos de cereal, el grano tiene en un momento poco o nada energía cinética, mientras que la punta del martillo se mueve a altísima velocidad alcanzado gran energía cinética. La transferencia de energía que resulta de esta colisión provoca fracturas del grano en muchas partes. [5]

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

final más fino. Es recomendable que la velocidad de rotación del molino de martillos se encuentra entre 2500 a 3500 rpm, la velocidad en las puntas de los martillos puede variar entre 70 y 100 m/s, mientras que la separación de los martillos se encuentra de 1,5 a 7,5 cm dependiendo del producto a triturar [6].

Existen diferentes tipos de molinos de martillos, en lo que difieren es en detalles de construcción como: de eje simple o doble y en la forma de la herramienta de percusión o martillos, pero el principio de funcionamiento de todos los molinos de este tipo es esencialmente el mismo.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y SELECCIÓN

El molino seleccionado en el capítulo 1 es el molino de martillos, el mismo que realizará el proceso de trituración de granos para granjas avícolas, una vez conocido sus partes principales se procederá al diseño y selección de materiales para su construcción.

2.1. CAPACIDAD DEL EQUIPO

Para el diseño de un molino de martillos, es necesario iniciar por la determinación de la capacidad del mismo, para lo cual es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Tiempo de comercialización del ave.**

El tiempo de comercialización del ave depende del tipo de pollo, como se ve en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Tiempo para la comercialización de pollos.

TIPO DE POLLO			
Aspecto	Parrillero	Orgánico	Campero
Origen genético	Rápido crecimiento		Lento crecimiento
Edad de faena	50 días	50 - 70 días	75 - 85 días

Fuente: <http://www.cuencarural.com/granja/avicultura/82737-pollo-campero-inta/>

- **Cantidad de alimento triturado que demanda la granja avícola de pollos camperos.**

Según la tabla 2.1 hasta el día 84 que es el tiempo adecuado para la comercialización de los pollos camperos como se indica en el

cuadro 2.1, por cada pollo campero se necesita aproximadamente 13,160 Kg de alimento.

Tabla 2.1 Consumo de alimento de pollos camperos

Día	Ganancia peso , gr.	Consumo diario , gr.
7	167	
14	429	63
21	820	102
28	1318	135
35	1882	166
42	2474	190
49	3052	204
56	3579	204
63	4038	204
70	-	204
77	-	204
84	-	204

Fuente: www.laboratoriollaguano.com.(2009)

Otra fuente señala que se necesita un promedio de 150 gr de alimento por pollo campero y por día, es decir, 12,6 Kg en 84 días.

Se selecciona para el caso más crítico, 13,160 kg de alimento:

$$\text{Consumo de un pollo campero} = 13160 \text{ gr} * \frac{1 \text{ lb}}{453,6 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ quintal}}{100 \text{ lb}}$$

$$\text{Consumo de un pollo campero} = 0,29 \frac{\text{quintales}}{84 \text{ días}}$$

Para una granja avícola de 500 pollos camperos se necesitan aproximadamente 145 quintales de alimento cada 84 días (6577,2 kg).

- **Disponibilidad de tiempo del usuario de la granja avícola.**

Una vez establecida la cantidad de alimento que se necesita, es importante tomar en cuenta el tiempo que el usuario destina para la trituración del alimento, para casos en los que no existe un tiempo fijo se puede establecer horas y días considerables de trabajo, como se indica en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Quintales de producción en diferentes escenarios de capacidad de molinos.

CAPACIDAD qq/h	# Horas al día.	Días de trabajo al mes.	Quintales / 3 meses
5	5	5	375
10	5	5	750
15	5	5	1125
5	5	3	225
10	5	3	450
15	5	3	675
5	5	1	75
10	5	1	150
15	5	1	225

Fuente: Autor

Tomando en cuenta el peor escenario y un posible crecimiento de la granja avícola se establece la capacidad del molino de 10 quintales por hora.

2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

El molino triturador de grano debe cumplir con los siguientes parámetros de diseño:

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL MOLINO

La capacidad del molino de martillos es 10 quintales por hora ($453,6 \frac{kg}{h}$), el molino estará en funcionamiento alrededor de 5 horas al día y trabajo intermitente.

2.2.2. FACTOR DE SEGURIDAD [7]

El factor de seguridad empleado en estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente es 2.5 a 4, en el diseño se trabajará con un factor de seguridad mínimo de 3.

2.2.3. VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL MOLINO

Como se revisó en el capítulo anterior, la velocidad recomendada para molinos de martillos es de 2500- 3500 rpm, por lo tanto se establece una velocidad angular del molino de 3000 rpm.

2.2.4. GEOMETRÍA DE LA HERRAMIENTA DE PERCUSIÓN

En el capítulo anterior se mencionó que existen diferentes formas geométricas para los martillos, por facilidad de maquinado se diseñarán martillos rectangulares.

2.2.5. MATERIALES DE LOS ELEMENTOS

- Se recomienda que la composición química del material con el que se construyen los martillos es: C = 1,0 – 1,4 %, Si = 0,4 – 1,0 %, Mn = 1,2 – 1,40 %, P = 0,06 % [8].

El material más utilizado para la construcción de la herramienta de percusión es el acero AISI 01 – ASSAB DF2 [9], que es un acero grado herramienta de alto carbono con adecuada resistencia al desgaste, y su

composición química se encuentra dentro del rango establecido anteriormente como se observa en el anexo A-1.

Propiedades Mecánicas [10]:

$$S_y: 437 \text{ MPa}$$

$$S_u: 764 \text{ MPa}$$

- Los ejes principal y secundario estará construidos con acero de transmisión AISI 1018 estirado en frío, por sus propiedades y aplicaciones que se indican en el anexo A- 2.

Propiedades Mecánicas:

$$S_y: 370 \text{ MPa}$$

$$S_u: 440 \text{ MPa}$$

- Para elementos como los discos, bastidor, tolvas de carga y descarga se utilizará acero ASTM A36 que es un acero que se encuentra con facilidad en el mercado y sus propiedades se pueden observar en el anexo A- 3.

Propiedades Mecánicas:

$$S_y: 250 \text{ MPa}$$

$$S_u: 400 \text{ MPa}$$

2.2.6. MOTOR

Las características del motor que se utilizará para el accionamiento del molino son: un motor eléctrico, velocidad de rotación 1750 RPM y de 220V monofásica, debido a que una granja avícola está ubicada comúnmente en zonas rurales en donde las redes eléctricas comunes son monofásica 127 y 220 V.

2.2.7. LIMITACIONES

- La alimentación del grano será manual por medio de una tolva que está conectada directamente a la cámara de trituración.
- La máquina no debe sobrepasar la altura promedio de una persona, para que el operador alcance fácilmente la tolva de alimentación.
- La máquina se diseñara para triturar granos como: diferentes tipos de maíz, trigo, soya y otros productos con similares características.

2.2.8. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión de potencia se lo realizará por medio de bandas de transmisión, este sistema será de elevación de velocidad, en donde la velocidad del motor es 1750 rpm y la velocidad del molino 3000 rpm como se estableció anteriormente.

2.3. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE PERCUSIÓN – MARTILLOS

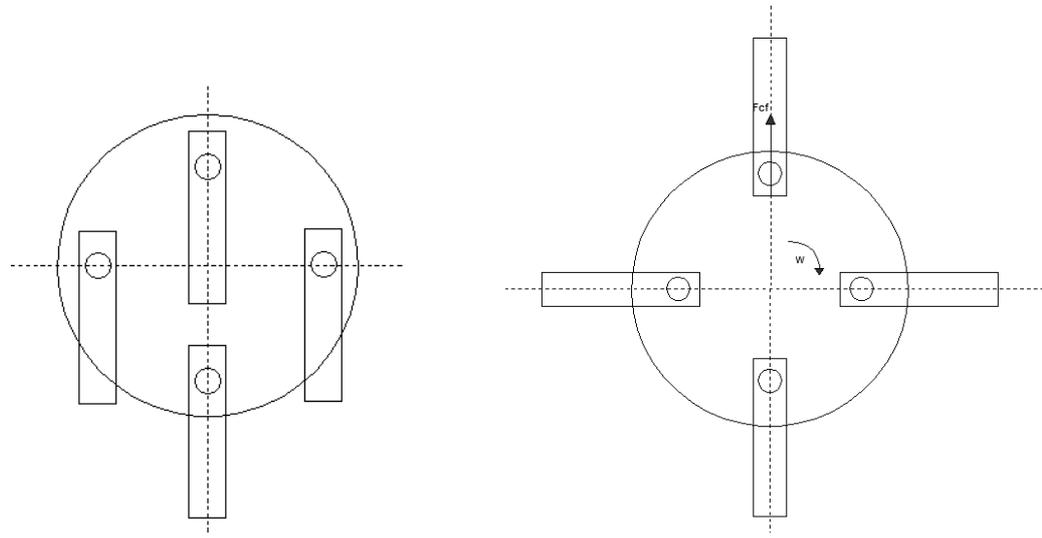
Los martillos son el alma de la máquina, de ellos depende el tamaño final de las partículas del producto en proceso.

El diseño de los martillos está en función de algunos factores como: velocidad del rotor, el tipo de producto a triturar. En este caso tomando en cuenta que el maíz (morochillo) representa el 60% del alimento que se triturará, y que la fuerza necesaria para romper este grano es mayor que la del trigo, se trabajará con referencia a las características del morochillo.

Para el diseño del martillo es importante tomar en cuenta que la herramienta tiene 2 posiciones:

- **Posición Inicial:** Es la posición en la que se encuentran los martillos antes del encendido del molino como se ve en la figura 2.1 a.
- **Posición de trabajo:** Es la posición que adquieren los martillos una vez encendido el molino.

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 como se ve en la figura 2.1



Fuente: Autor

a. Posición inicial

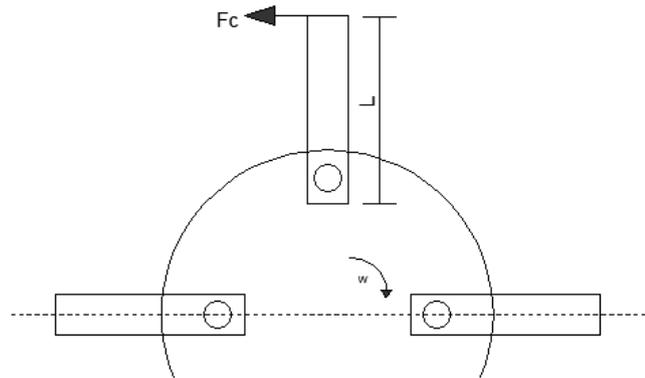
b. Posición de trabajo

Figura 2.1 Posición de la herramienta de percusión.

Nota: El análisis mecánico para el diseño se realizará en la posición de trabajo.

El martillo se encuentra girando a la velocidad angular del rotor (ω) con respecto al centro de giro, al chocar con los granos de morochillo este genera un momento (M) debido a la fuerza con la que choca el martillo con el grano [11], como se ve en la figura 2.2, el momento generado está dado por la siguiente ecuación:

$$M = Fc * L \quad (2.1)$$



Fuente: Autor.

Figura 2.2 Fuerza cortante presente en la herramienta de percusión.

El momento de inercia del martillo está dado por:

$$M = I * \alpha \quad (2.2)$$

La inercia del martillo (I) que gira con respecto a su extremo está representada por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{3} * m_m * L^2 \quad (2.3)$$

Igualando las ecuaciones 2.1 y 2.2 se obtienen:

$$F_c = \frac{I * \alpha}{L} \quad (2.4)$$

Reemplazando la Ec.2.3 en Ec.2.4

$$m_m = \frac{F_c * 3}{\alpha * L} \quad (2.5)$$

En donde:

F_c : Fuerza necesaria para provocar la ruptura del grano.

m_m : Masa del martillo.

L : Longitud del martillo

α : Aceleración angular del martillo.

Para el cálculo de la aceleración angular se tiene:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha * (\theta - \theta_0) \quad (2.6)$$

Sí: ω_0^2 y $\theta_0 = 0$

$$\alpha = \frac{314,159^2 \text{ rad}^2 / \text{s}^2}{2 * 6,28 \text{ rad}}$$

$$\alpha = 7853,96 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

La fuerza de corte (F_c) del morochillo se obtuvo a partir de un procedimiento como se ve en la figura 2.3, el grano de morochillo es colocado en un playo, y se aplica una fuerza (P), hasta provocar la ruptura del grano, la fuerza aplicada a la herramienta es medida en un dinamómetro, este procedimiento se repite con 8 granos diferentes.

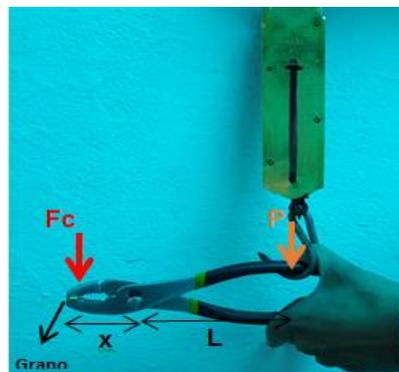


Figura 2.3 Procedimiento para el cálculo de F_c .

La fuerza aplicada en la herramienta no es la fuerza de ruptura del grano, la fuerza necesaria para provocar la ruptura del grano se calcula en

base al análisis de palancas de primer grado, el diagrama de cuerpo libre se indica en la figura 2.4.

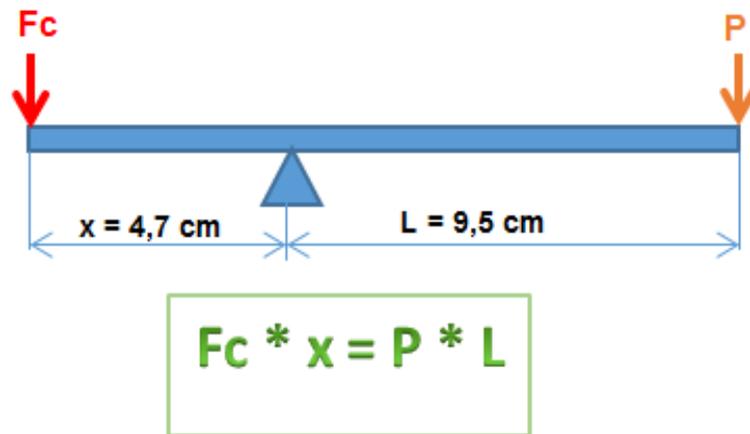


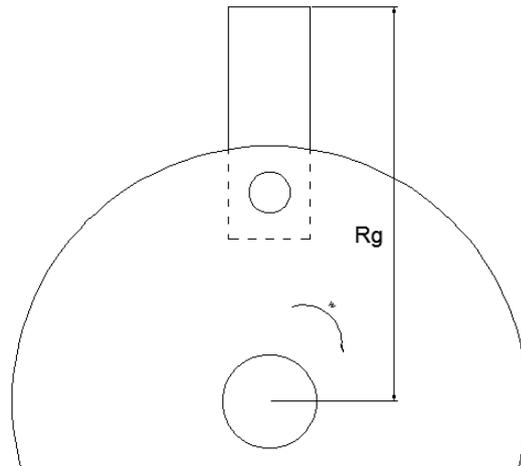
Figura 2.4 Fuerza cortante presente en la herramienta de percusión.

De la tabla 2,3 se eliminan el dato 1 y 8, mientras que con los datos 2 – 7 se obtiene el promedio de la fuerza cortante. El promedio de $F_c = 35,87 \approx 36$ N.

Tabla 2.3 Resultados obtenidos

#	Fuerza aplicada (P) N	Fuerza de Corte (Fc) N
1	20	40,425
2	18,5	37,39
3	18,5	37,39
4	18	36,38
5	17,5	35,37
6	17	34,36
7	17	34,36
8	14	28,29

2.3.1. CÁLCULO DEL RADIO DE GIRO



Fuente: Autor

Figura 2.5 Radio de Giro del Molino.

La energía necesaria para romper un grano de morochillo ($E_{ruptura}$), es un dato que se ha obtenido experimentalmente basándose en la ley Charpy. Se dejó caer un objeto con masa (m_{prueba}) desde una altura conocida (h).

Utilizando una masa 0,45 kg a partir de una altura de 15 cm, el grano de morochillo de masa aproximada de 0,38 gr (grano de prueba) se fragmenta.

La energía necesaria para que el grano de morochillo pueda fragmentarse, es la energía potencial que adquiere la masa de prueba y se calcula con la ecuación 2.7.

$$E_{ruptura} = m_{prueba} * g * h \quad (2.7)$$

En el borde del martillo se presenta una velocidad tangencial (v_t) que es transmitida al grano de morochillo, para encontrar esta velocidad se tiene:

$$E_{ruptura} = \frac{1}{2} m_{grano} * v_t^2 \quad (2.8)$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 * 450gr * 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,15 m}{0.38 gr}}$$

$$v_t = 59 \frac{m}{s}$$

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

$$v_t = \frac{w_{RPM} * 2\pi * Rg}{60} \quad (2.9)$$

$$Rg = \frac{59 \frac{m}{s} * 60}{3000 \frac{rev}{min} * 2\pi}$$

$$Rg = 0,18 m = 18cm$$

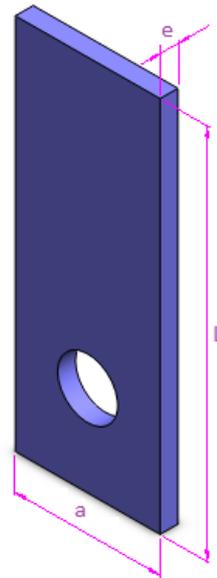
En base al radio de giro calculado y longitudes recomendadas por fabricantes, se establece una longitud del martillo $L = 10$ cm.

Una vez conocidos los datos se determinará la masa necesaria que debe tener el martillo para provocar la fractura del grano aplicando la ecuación 2.5:

$$m_m = \frac{36 N * 3}{7853,96 \frac{rad}{s^2} * 0,1m}$$

$$m_m = 0,137 kg$$

A partir de la masa calculada y la geometría establecida del martillo, se determinarán sus medidas. (Ver figura 2.6)



Fuente: Autor

Figura 2.6 Geometría de la herramienta de percusión

$$m_m = \rho * V$$

$$m_m = \rho * L * a * e \quad (2.10)$$

En donde:

ρ : Densidad del material del martillo

V : Volumen del martillo

a : Ancho del martillo

e : Espesor del martillo

El espesor del martillo es el que va a golpear a los granos de maíz, los mismos que tienen un ancho promedio de 4 mm, por lo tanto se puede establecer el espesor en base al ancho del grano.

Para la construcción de los martillos, por la geometría antes seleccionada lo más conveniente es utilizar platina, por lo tanto es necesario adecuar las medidas a las existentes en el mercado, tomando en cuenta esta consideración y según el anexo A-4 el espesor que se establece es de $\frac{3}{16}$ in es decir 4,7 mm.

La densidad del acero DF2 es $7850 \frac{kg}{m^3}$.

Con estos datos despejando el ancho del martillo de la ecuación 2.10 se obtiene:

$$a = \frac{0,137 \text{ kg}}{7850 \frac{kg}{m^3} * 0,0047m * 0,1m}$$

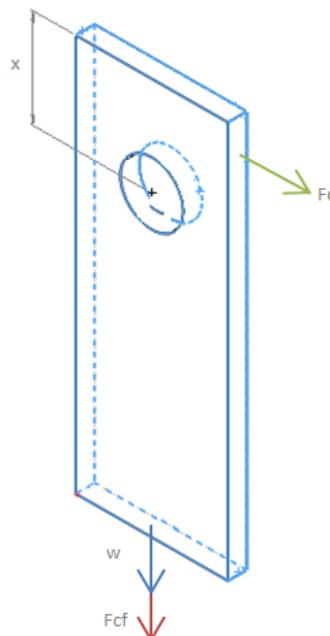
$$a = 0,037 \text{ m} = 3,7 \text{ cm}$$

Para estandarizar las medidas de los martillos de acuerdo a las existentes en el mercado de material AISI 01 se utiliza el anexo A-4:

$$\frac{3}{16} \times 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

Una vez que se tiene las dimensiones y masa del martillo, se procede a analizar los esfuerzos a los que a los que estará sometida la herramienta.

2.3.2. ANÁLISIS DE FUERZAS PRESENTES EN EL MARTILLO



Fuente: Autor

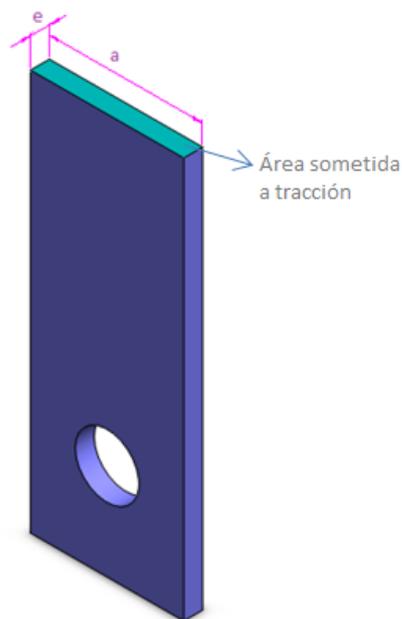
Figura 2.7 Fuerzas que actúan el martillo

El martillo está sometido a un esfuerzo normal por tracción, por presencia de la fuerza centrífuga y el peso del martillo como se ve en la figura 2.7, éste esfuerzo está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F_y}{A} \quad (2.11)$$

σ : Esfuerzo normal

A: Es el área que se encuentra sometida a tracción por la fuerza centrífuga, como se ve en la figura 2.8.



Fuente: Autor

Figura 2.8 Área sometida a tracción

Fuerza Centrífuga

$$F_{cf} = \omega^2 * m_m * (L - x) \quad (2.12)$$

$$F_{cf} = 314,159^2 \frac{rad^2}{s^2} * 0,137 \text{ kg} * (0,1 - 0,024)m$$

$$F_{cf} = 1027,62 \text{ N}$$

La fuerza centrífuga es mucho mayor que la fuerza tangencial o de corte, esto garantiza que el martillo se mantenga en la posición de trabajo.

$$F_y = F_{cf} + W_m$$

$$F_y = 1027,62 \text{ N} + 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,137 \text{ kg}$$

$$F_y = 1028,96 \text{ N}$$

Reemplazando en la Ec.2.11:

$$\sigma = \frac{1028,96 \text{ N}}{0,0381 * 0,0047 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 5,74 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad, se encuentra en función del tipo de material que está construido el martillo y el esfuerzo al que está sometido.

AISI 01: $S_y = 437 \text{ MPa}$.

$$N = \frac{S_y}{\sigma} \tag{2.13}$$

$$N = \frac{437 \text{ MPa}}{5,74 \text{ MPa}}$$

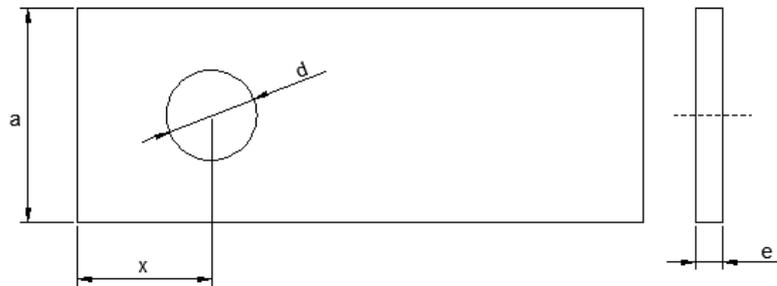
$$N = 76,13$$

Si el martillo se encontrara fijo la fuerza de corte (F_c), que representa la fuerza de impacto del grano, generaría un esfuerzo por flexión, pero como el martillo es pivotante este esfuerzo se anula. El martillo tiene un perforación para el eje secundario por lo tanto es necesario analizar la falla por rotura en esta zona.

Falla Por Rotura En El Martillo

Para analizar la falla por rotura debido a la presencia del orificio del eje secundario, se establece un diámetro de 1,6 cm.

La figura 2.9 indica las distancias para el calcular el área de desgarre.



Fuente: Autor

Figura 2.9 Sección de Análisis por rotura

Área de rotura: A_d

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

$$\tau_c = \frac{F_y}{A_d} \quad (2.14)$$

$$\tau_c = \frac{1028,96 \text{ N}}{(0,037 - 0,016) * 0,0047 \text{ m}^2}$$

$$\tau_c = 10,42 \text{ MPa}$$

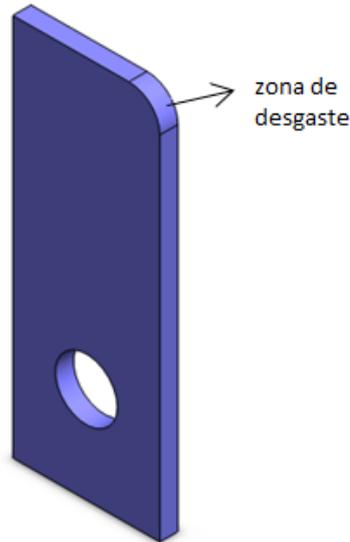
De la ecuación 2.13

$$N = \frac{437 \text{ MPa}}{10,42 * 2 \text{ MPa}}$$

$$N = 20,9$$

Con el factor de seguridad de 20 se garantiza que no existirá falla por rotura.

Como se observa el factor de seguridad de la herramienta de percusión es muy alta por lo que se concluye que no existirá fallas por la presencia de fuerzas dinámicas, solo existirá desgaste por la trituración del grano.



Fuente: Autor

Figura 2.10 Área de desgaste del martillo

Con el trabajo de trituración del martillo, este tiende a sufrir desgaste como se indica en la figura 2.10, este desgaste disminuye la eficiencia del proceso, por lo tanto es necesario realizar un tratamiento térmico a la herramienta de percusión en la zona más propensa a desgaste, es decir, la parte superior del martillo. El tratamiento térmico que se realizará en la parte antes mencionada es de templado, con éste tratamiento se mejorará las propiedades mecánicas del martillo como resistencia al desgaste.

2.3.3. CÁLCULO DEL NÚMERO DE MARTILLOS [12]

El número de martillos está directamente relacionado con las revoluciones por minuto del molino, la capacidad y el grado de desmenuzamiento.

Es necesario conocer la cantidad de granos que se va a triturar de acuerdo a la capacidad antes establecida, para lo cual se experimentó contando el número de granos por libra.

Nota: Los granos de morochillo son de diferente grosor, por lo tanto el número de granos por libra varía, según pruebas con diferentes granos de morochillo se tiene:

Número de granos por libra: 1700 – 2000.

$$10 \frac{qq}{h} \times \frac{100lb}{1qq} \times \frac{2000 \text{ granos}}{1lb} \times \frac{1h}{60min} = 33333.33 \frac{\text{granos}}{min}$$

$$\frac{33333.33 \text{ granos}/min}{3000 \text{ rev}/min} = 11 \frac{\text{granos}}{rev}$$

Como se mencionó anteriormente el grado de desmenuzamiento es un factor muy importante para determinar el número de martillos, y se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{D}{d} \quad (2.15)$$

i: Grado de desmenuzamiento

D: Diámetro promedio del producto de entrada (9 mm).

d: Diámetro promedio del producto de salida (3mm)

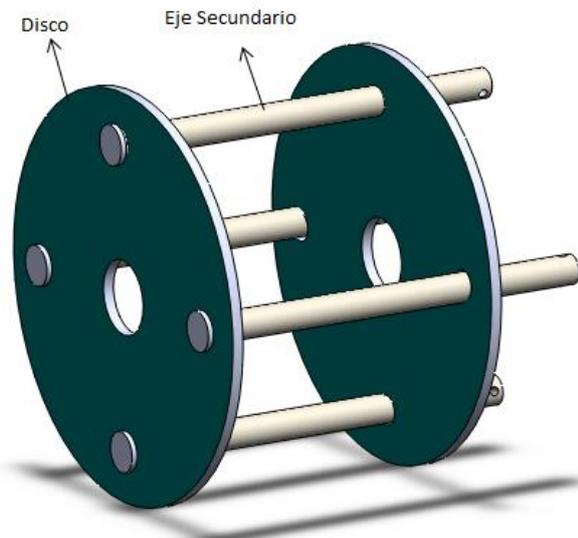
$$i = \frac{9 \text{ mm}}{3 \text{ mm}} = 3$$

$$\# \text{ martillos} = 11 * 3 = 33 \text{ martillos}$$

Para una mejor distribución de los martillos, el sistema de trituración se construirá con 36 martillos.

2.3.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS MARTILLOS

Los ejes secundarios estarán dispuestos en el disco cada 90° , (más adelante su justificación) como lo indica la figura 2.13.



Fuente: Autor

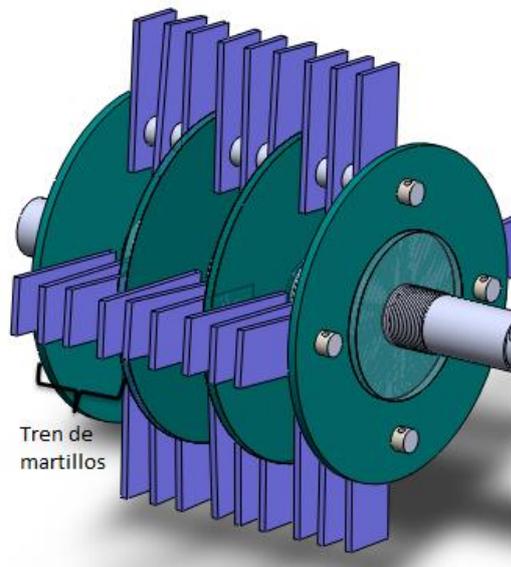
Figura 2.11 Distribución de los Ejes Secundarios en el Disco

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 los 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 mayor número de martillos implica mayor diámetro del eje, y para menor número de martillos se necesitará más discos. En molinos de martillo 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 a las consideraciones

mencionadas cada tren de martillos estará formado por 3 herramientas. La distribución de los martillos se indica en la figura 2.12.



Fuente: Autor

Figura 2.12 Distribución de los martillos

2.4. 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 ser de un material liviano que no represente un peso significativo para el eje secundario.

Según fabricantes de molinos de martillos los separadores deben tener una distancia (k) mayor a 3 veces el espesor del martillo, puesto que el espesor está en función del producto a triturar.

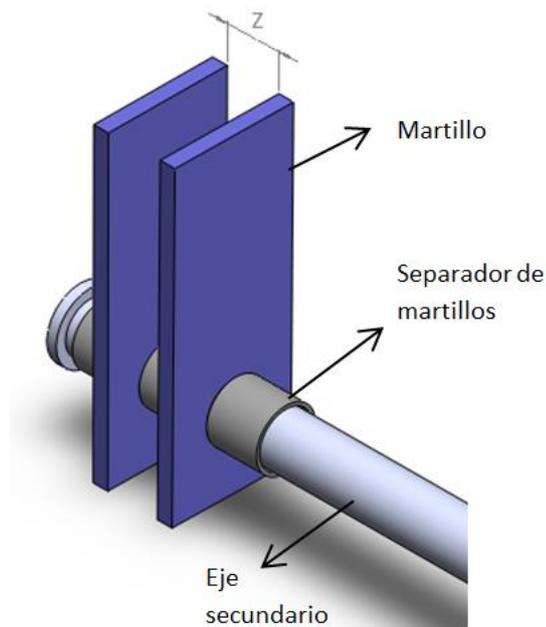
$$k > 3 * 4,7 \text{ mm} > 14,1 \text{ mm}$$

Con esta consideración y la teoría estudiada en el capítulo 1, la misma que 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 morochillo, se concluye el uso de separadores de tubería acero de 16 mm de longitud, el diámetro se establece de acuerdo al diseño del eje secundario.

$$z = 16 \text{ mm}$$

Los espaciadores se deben colocar en forma alterna como se ve en la figura 2.13.

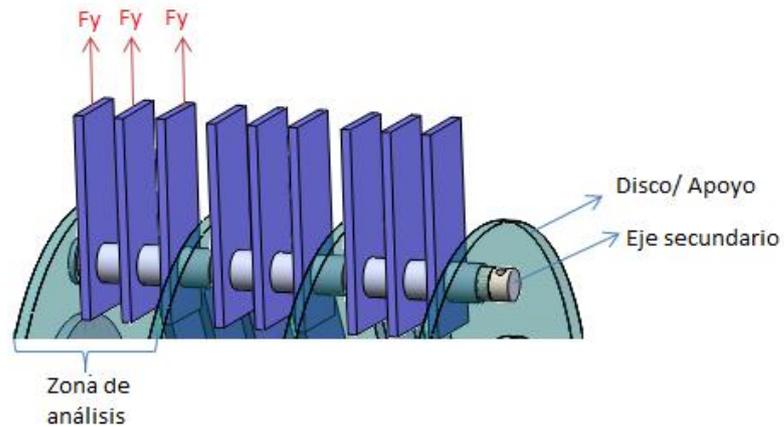


Fuente: Autor

Figura 2.13 Espaciadores de Martillos

2.5. DISEÑO DEL EJE SECUNDARIO – PORTA MARTILLOS

El eje secundario está sometido a esfuerzos por flexión y corte, no está sometido a torsión por que se encuentra fijo y no gira. Para el análisis es necesario encontrar la fuerza y momento máximo presentes en el eje, para lo cual se utilizará el programa MDSolids.

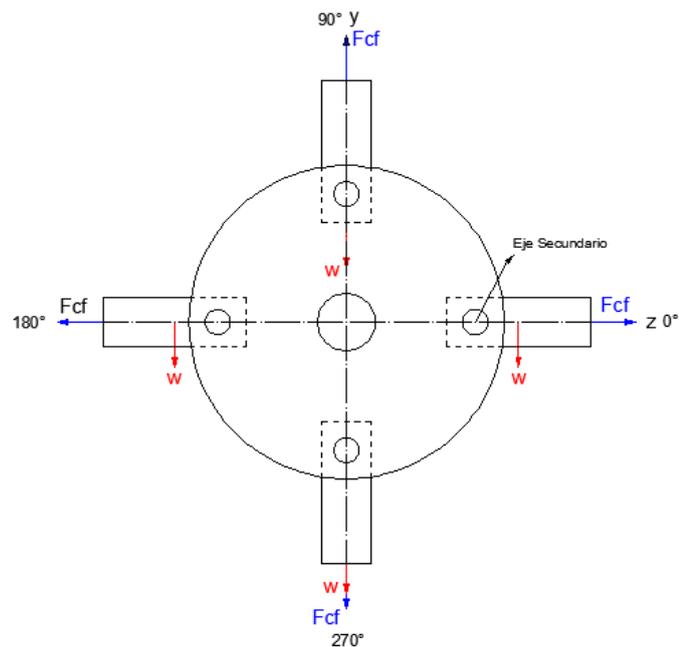


Fuente: Autor

Figura 2.14 Elementos presentes en el eje secundario.

Cada eje secundario soporta 9 martillos, y se encuentra apoyado en 4 discos como se ve en la figura 2.14.

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



Fuente: Autor

Figura 2.15 Fuerzas presentes en el sistema de trituración

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, como se indica en la figura 2.15, mientras que los discos que soportan los ejes representan los apoyos.

Plano Y

$$F_{y\ 90^\circ} = F_{cf} - w_m$$

$$F_{y\ 90^\circ} = 1027,62 - 1,3428$$

$$F_{y\ 90^\circ} = 1026,27N$$

$$F_{y\ 270^\circ} = F_{cf} + w_m$$

$$F_{y\ 270^\circ} = 1027,62 + 1,3428$$

$$F_{y\ 270^\circ} = 1028,96 N$$

Plano Z

$$F_{z\ 0^\circ} = F_{z\ 180^\circ} = F_{cf}$$

$$F_{z\ 0^\circ} = F_{z\ 180^\circ} = 1027,62N$$

Como se puede observar en la figura 2.15, el caso más crítico es cuando el eje secundario se encuentra a 270° con respecto al eje de referencia, por lo tanto se analizará para este caso.

En el programa MDSolids se realiza el análisis de fuerzas de la sección del eje secundario, en la figura 2.16 se puede observar el diagrama de cuerpo libre.

$$F_{y\ 270^\circ} = 1028,96 N$$

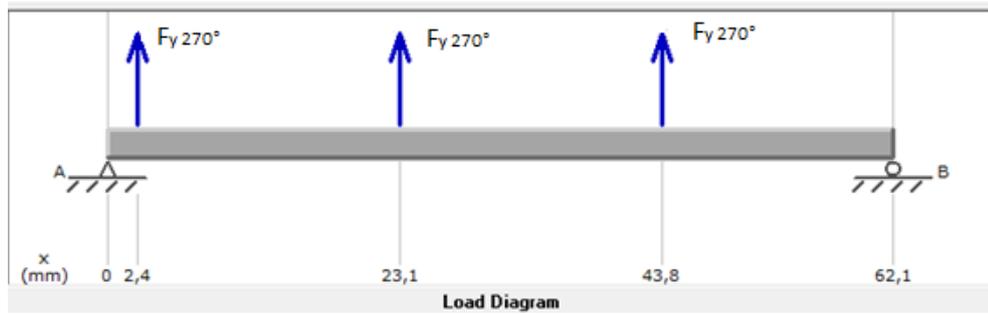


Figura 2.16 Diagrama fuerzas presentes en el eje secundario.

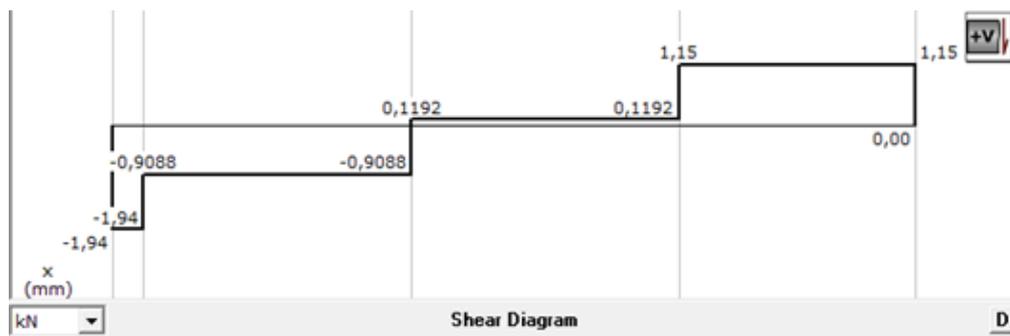


Figura 2.17 Diagramas de Fuerzas cortantes del eje secundario

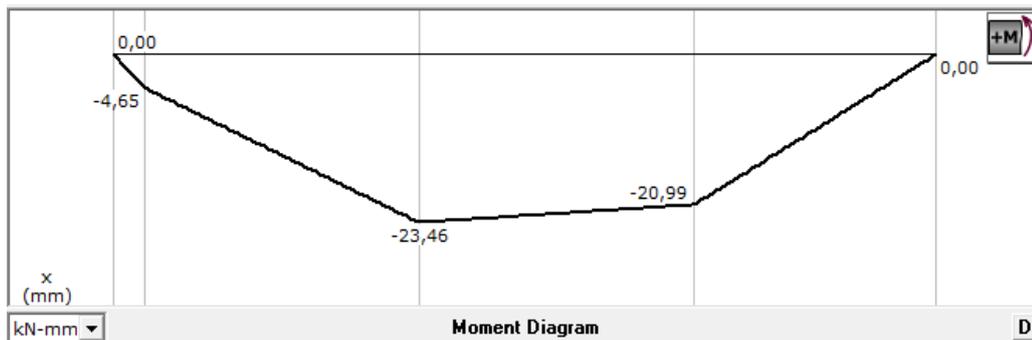


Figura 2.18 Diagrama de Momentos del eje Secundario.

En el eje secundario está presente esfuerzos flexionantes y cortantes, para su cálculo se tienen las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo por flexión:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} \quad (2.16)$$

S : M3dulo de secci3n

$$S = \frac{32}{\pi * d^3} \quad (2.17)$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{V}{A} \quad (2.18)$$

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{V}{\pi * d^2} \quad (2.19)$$

El momento m3ximo seg3n la figura 2,18 es $M_{m\acute{a}x} = 23,46 \text{ Nm}$, mientras que la fuerza cortante en este punto seg3n la figura 2,19 es $V = 908,8 \text{ N}$

Seg3n el anexo A-5, se establece un eje de di3metro $d = \frac{5}{8} \text{ in} = 1,58$, reemplazando d en las ecuaciones 2.17 y 2.19 se tiene:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{23,46 \text{ Nm} * 32}{\pi * (0,0158 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 60,58 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{908,8 \text{ N}}{\pi * (0,0158 \text{ m})^2}$$

$$\tau = 6,18 \text{ MPa}$$

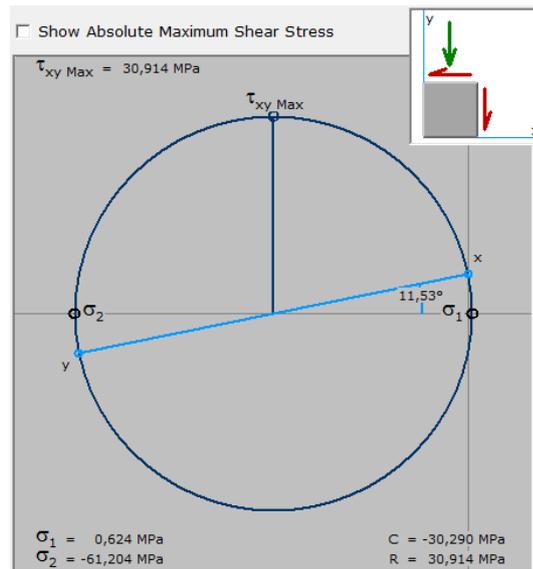


Figura 2.19 Circulo de Mohr

Como se tienen esfuerzos combinados se utilizará el método del círculo de Mohr, el mismo que se obtiene en el programa Md Solid y se presenta en la figura 219.

Utilizando el método de energía de distorsión, y según los valores obtenidos en la figura 2.19 se tiene:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} \quad (2.20)$$

$$\sigma = \sqrt{0,624^2 + (-61,204)^2 - (0,624 * (-61,204))} \text{ MPa}$$

$$\sigma = 60,89 \text{ MPa}$$

De la ecuación 2.13:

$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N = \frac{370 \text{ MPa}}{60,89 \text{ MPa}}$$

$$N = 6$$

El factor de seguridad es el adecuado, por lo tanto se utilizará un eje secundario de diámetro $d = \frac{5}{8} in$.

Análisis De Elementos Finitos De El Eje Secundario

Para el análisis de elementos finitos de este componente se aplica la fuerza máxima a la que va a estar sometido el eje secundario, dicha fuerza fue calculada anteriormente. El análisis se realiza mediante el software SolidWorks.

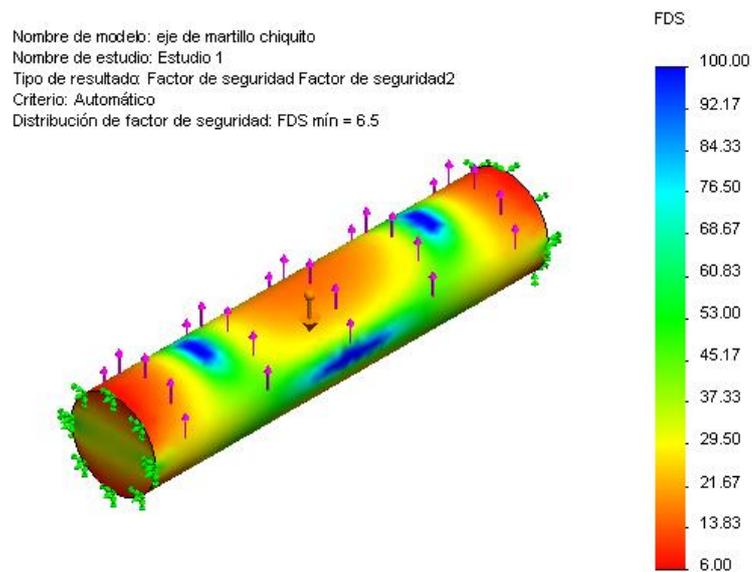


Figura 2.20 Factor de Seguridad del eje Secundario

La figura 2.20 indica que, el factor de seguridad mínimo del eje secundario es de 6.5, este factor de seguridad es aceptable de acuerdo a las condiciones preestablecidas, de esta manera se ratifica el diseño del eje secundario cuyo diámetro es de $\frac{5}{8} in$.

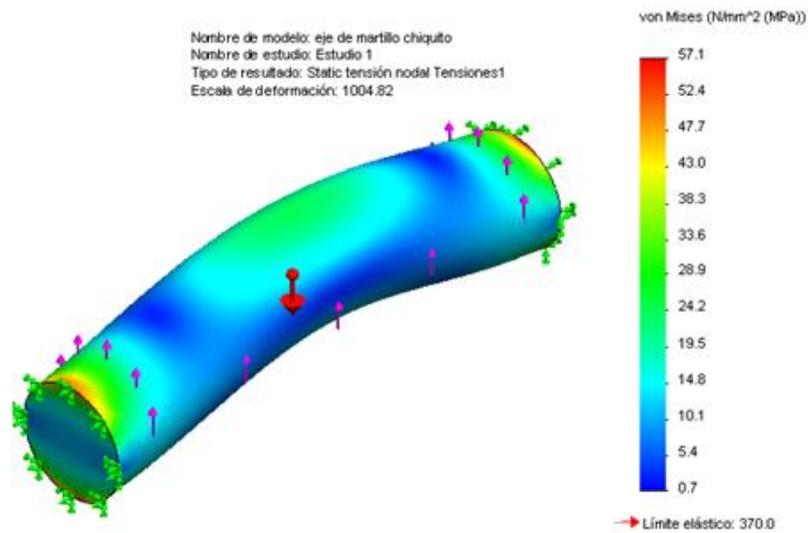


Figura 2.21 Tensión de Von Mises en el eje secundario

En la figura 2.21 se observa que el mayor esfuerzo de Von Mises que soporta el eje secundario es de 57 MPa, siendo éste inferior al límite elástico del material que es 370 MPa; además que el área más afectada del eje debido a las fuerzas aplicadas es en la zona central.

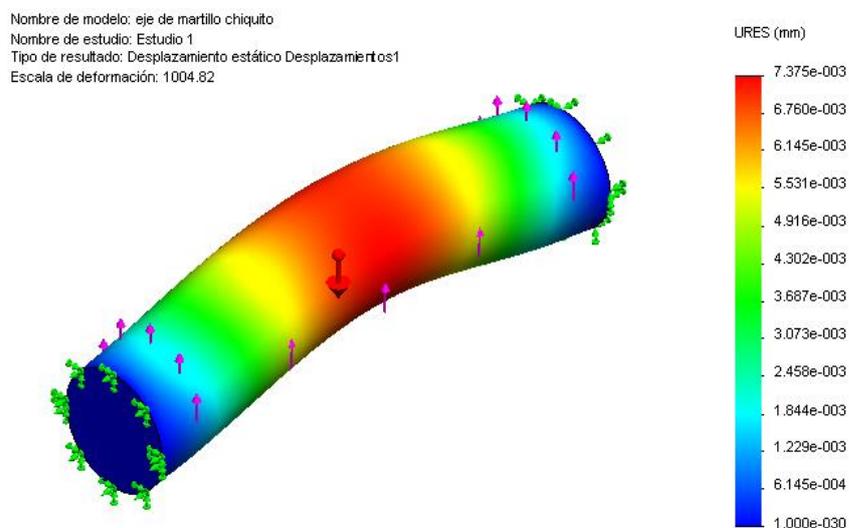


Figura 2.22 Desplazamientos en el eje secundario

El análisis de desplazamientos en el eje secundario se indica en la figura 2.22, el máximo desplazamiento que se presenta por acción de las fuerzas aplicadas, es de $7,37 \times 10^{-3} \text{ mm}$ y se localiza en la zona central del eje secundario.

2.6. DISEÑO DEL DISCO PORTA EJES SECUNDARIOS

La configuración circular permite que en todo momento la fuerza centrífuga sea radial posicionando 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 se utilizará es de 90° .

De acuerdo al radio de giro calculado y longitud de la herramienta de percusión se utilizaran discos de diámetro de 22 cm.

FUERZAS PRESENTES EN LOS DISCOS

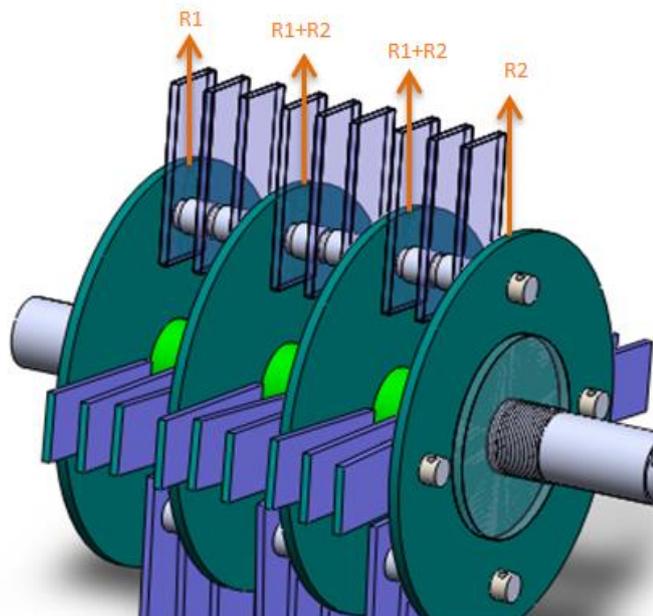


Figura 2.23 Fuerzas presentes en los discos

Las fuerzas que actúan en los discos son: las reacciones de las fuerzas presentes en el eje secundario, puesto que los apoyos para los ejes son los discos como se ve en la figura 2.23, para lo cual se obtendrá el diagrama de fuerzas cortantes de los ejes secundarios en las 4 posiciones, a continuación se indican las reacciones presentes en los discos.

$$F_{y\ 90^\circ} = 1026,27\text{N}$$

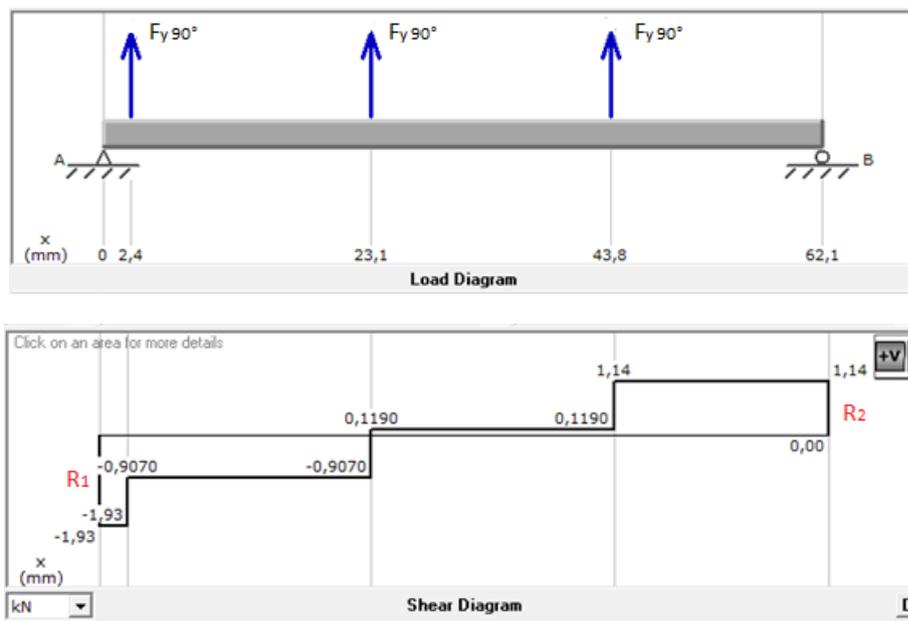
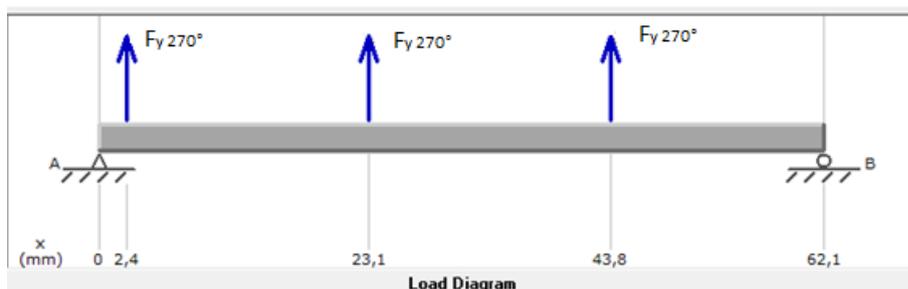


Figura 2.24 Diagrama de fuerzas cortantes para determinar las reacciones en el disco a 90°

$$F_{y\ 270^\circ} = 1028,96\text{N}$$



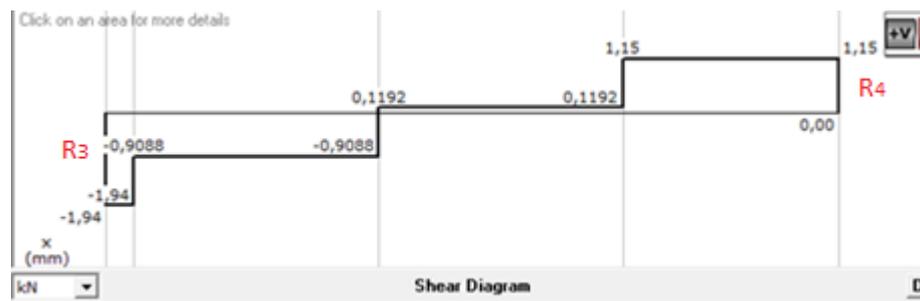


Figura 2.25 Diagrama de fuerzas cortantes para determinar las reacciones en el disco a 270°

$$F_{z\ 0^\circ} = F_{z\ 180^\circ} = 1027,62N$$

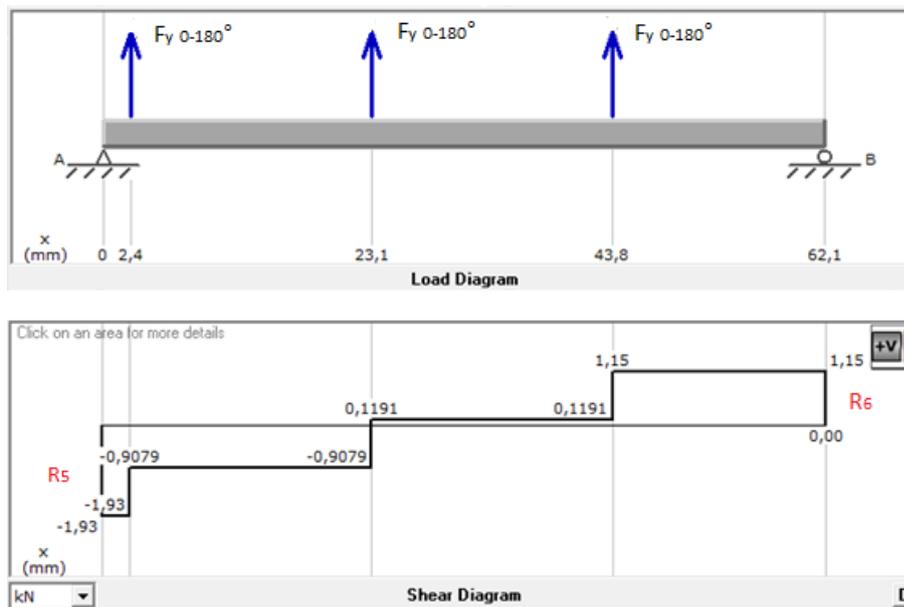


Figura 2.26 Diagrama de fuerzas cortantes para determinar las reacciones en el disco a 180°

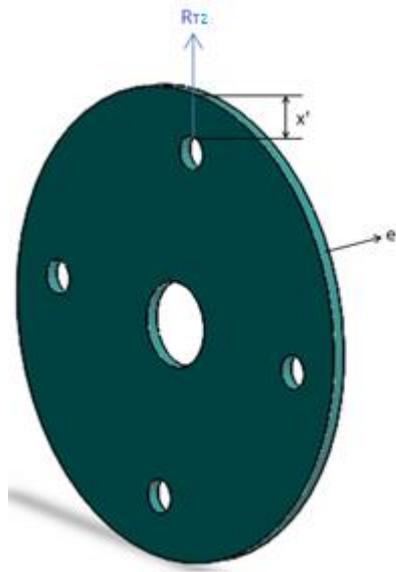
Se analizará la falla por rotura, por la presencia de los orificios para el eje secundario en el disco (ver figura 2.27).

Los 2 discos centrales son el caso más crítico ya que soportan la suma de las reacciones como se indica en la figura 2.23.

$$R_{T1} = R_1 + R_2 = 3,07\ KN$$

$$R_{T2} = R_3 + R_4 = 3.09 \text{ KN}$$

$$R_{T3} = R_5 + R_6 = 3.08 \text{ KN}$$



Fuente: Autor

Figura 2.27 Disco porta ejes secundarios.

$$Afalla = e' * x'$$

Igualando la ecuación 2.13 y 2.14 se tiene:

$$\frac{R_T}{e' * x'} = \frac{S_y}{2N}$$

$$N = \frac{S_y * x' * e'}{R_T * 2}$$

Como se estableció anteriormente, la construcción del disco se realizará de planchas de acero ASTM A36, y se propone un espesor de 4 mm.

$$N = \frac{250 * 10^6 \text{ N} * 0,02 \text{ m} * 0,004 \text{ m}}{3090 \text{ N} * 2}$$

$$N = 3,23$$

El factor de seguridad calculado es el adecuado por lo tanto no existirá falla por rotura por la presencia de los orificios.

Análisis De Elementos Finitos del Disco

Para establecer si el disco de 22 cm de diámetro y espesor de 4 mm soportará las fuerzas máximas a las que se encuentra sometido, se realizará el análisis de elementos finitos. Mediante el software SolidWorks se determinará la tensión de Von Mises y el factor de seguridad. Las cargas aplicadas en el disco son: R_{T1} , R_{T2} , R_{T3} .

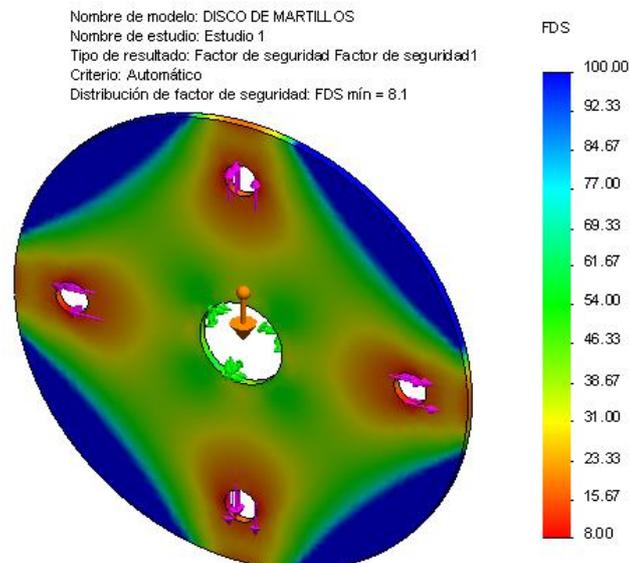


Figura 2.28 Factor de Seguridad del Disco Porta-martillos

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de elementos finitos del disco que se presenta en las figuras 2.28 y 2.29, se ratifica las dimensiones preestablecidas del disco, ya que el factor de seguridad mínimo es adecuado, mientras que la máxima tensión de Von Mises es inferior al límite elástico del material.

En la figura 2.29 se observa que las zonas más afectadas es en los orificios, debido que en esta sección se localiza el eje secundario y por medio de él se transmite las fuerzas al disco.

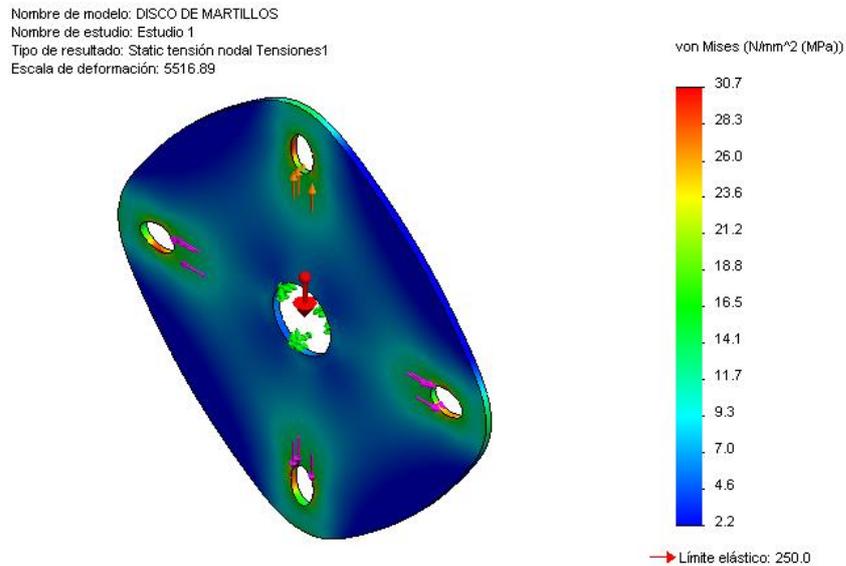


Figura 2.29 Tensión de Von Mises en el Disco Porta-martillos

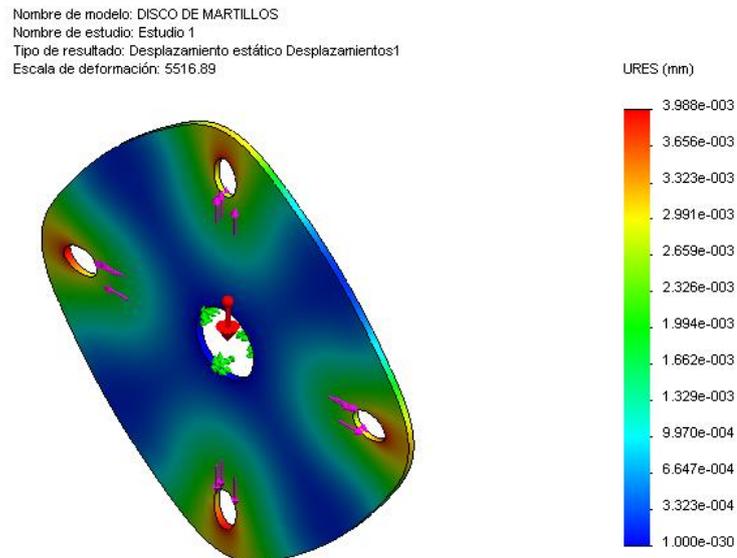


Figura 2.30 Desplazamientos en el Disco Porta-martillos

Según la figura 2.30, por la presencia de las fuerzas aplicadas en el disco se genera cierto desplazamiento en el elemento en estudio, el máximo desplazamiento es de $3,98 \times 10^{-3} \text{ mm}$ y se encuentra en la zona de color rojo, este desplazamiento es prácticamente despreciable.

2.7. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR [8]

Para calcular la potencia del motor se tiene:

$$P = \frac{W * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * \eta * \eta_m} \quad (2.21)$$

En donde:

P: potencia del motor, en HP

W: peso de un martillo, en Kg

R: diámetro del disco, en m.

e: número de martillos

n: vueltas por minuto del rotor

f: factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos cuyos valores se presentan en la tabla 2.4.

η : Rendimiento mecánico por transmisión. (El sistema de transmisión es de elevación de velocidad $\therefore \eta < 1$)

η_m : Rendimiento del motor.

Tabla 2.4 Factor f de acuerdo a la velocidad tangencial.

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

Fuente: Duda H. W.

Para valores de velocidades mayores a los tabulados, se utiliza $f = 0,00042$.

La velocidad tangencial del martillo se calculó anteriormente $v = 59 \frac{m}{s}$.

En la ecuación 2.21:

$$P = \frac{0,137 * 0,21^2 * 3000^3 * 36 * 0,00042}{8 * 100000 * 0,85 * 0,8}$$

$$P = 4,53 \text{ Hp}$$

P es la potencia en vacío, para encontrar la potencia total es necesario calcular la potencia necesaria para la trituración, para lo cual se utiliza la Ley de Von Rittinger [9], que se expresa en la siguiente ecuación:

$$E = k * f * \left[\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right] \quad (2.22)$$

En donde:

E: Energía necesaria para llevar a cabo el proceso de trituración

k: Constante Rittinger que depende del producto a ser triturado para cereales $0,25 \frac{\text{Hp} * h * \text{cm}}{\text{ton.}}$.

f : Factor que depende del tipo de molienda, seca o húmeda. Para molienda seca factor $f = 1,3$.

d_1, d_2 : Diámetro del producto de entrada y de salida respectivamente.

$$E = 0,25 \frac{\text{Hp} * h * \text{cm}}{\text{ton.}} * 1,3 * \left[\frac{1}{0,3 \text{ cm}} - \frac{1}{0,9 \text{ cm}} \right]$$

$$E = 0,72 \frac{Hp * h}{ton.}$$

Potencia de carga necesaria:

$$P_{carga} = Capacidad * E$$

$$P_{carga} = 0,5 \frac{ton}{h} * 0,72 \frac{Hp * h}{ton.} = 0,36 Hp$$

$$P_{motor} = (4,53 + 0,36) Hp = 4,89 Hp$$

De acuerdo a la potencia 4,89 Hp, la velocidad 1750 rpm y factores como costo y disponibilidad en el mercado se selecciona el motor, las características del motor se presentan en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Características del Motor

Motor WEG	
Potencia	5 hp – 3,7 Kw
Voltaje	220 V
Corriente nominal	22,2 A
Factor de potencia	0,95
Eficiencia Ip/In	0,8
Otras característica:	
Motor monofásico de corriente alterna, frecuencia 60 Hz, carcaza blindada.	

2.8. TRANSMISIÓN POR BANDAS [13]

La potencia que desarrolla el motor es el punto de partida para la selección del tipo de banda, pero este valor debe ser afectado por un

coeficiente de corrección (k) para obtener la potencia de diseño, sobre la que se diseñará la correa.

El coeficiente de corrección se selecciona de acuerdo a diferentes factores como: tipo de motor, tipo de máquina conducida, horas de servicio por día. De esta manera la potencia de diseño (P_d) es la que se utilizara en el diseño y está dada por la siguiente expresión:

$$P_d = P_{motor} * K \quad (2.23)$$

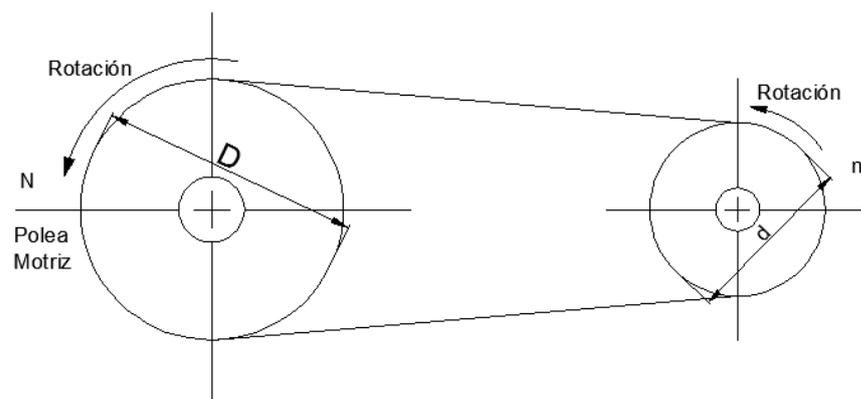
Según el anexo A-6 para molinos de martillos servicio intermedio $k= 1, 2$.

$$P_d = 5 * 1,2 \text{ Hp}$$

$$P_d = 6 \text{ Hp}$$

En el anexo A-7 se selecciona el tipo de banda en función de la potencia de diseño y la velocidad (rpm) de la polea menor. Para una potencia de diseño de 6 Hp y 3000 rpm de la polea más rápida, la banda adecuada es de tipo A. Detalles de la banda tipo A se presenta en el anexo A-8.

Relación de Transmisión



Fuente: Autor

Figura 2.31 Sistema de transmisión por bandas.

En la figura 2.31 se representa el sistema de transmisión por bandas, la relación de transmisión se calcula con la siguiente relación:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{D}{d} \quad (2.24)$$

i : Relación de transmisión

N : Revoluciones por minuto de la polea menor

n : Revoluciones por minuto de la polea mayor

D : Diámetro de la polea mayor

d : Diámetro de la polea menor

$$i = \frac{3000 \text{ rpm}}{1750 \text{ rpm}}$$

$$i = 1,71$$

Diámetros de las poleas

La elección del diámetro correcto de las poleas es importante, dado que un diámetro excesivamente pequeño para una sección de correa determinada significaría una flexión excesiva de ésta, lo que terminaría reduciendo su vida útil. Como norma general, al aumentar el diámetro de la polea aumentará la vida útil de la correa.

El diámetro de la polea motriz que se utilizará es de 6 in, tomando en cuenta que el diámetro establecido sea mayor al mínimo de la polea motriz según el anexo A-9.

De la Ec.2.24:

$$\frac{3000}{1750} = \frac{6 \text{ in}}{d}$$

$$d = \frac{7}{2} \text{ in} = 3 \frac{1}{2} \text{ in}$$

Distancia entre centros:

Se establece los límites de la distancia entre centros (C), a partir del siguiente intervalo:

$$D < C < 3 * (D + d) \quad (2.25)$$

$$6 \text{ in} < C < 3 * (6 + 3 \frac{1}{2}) \text{ in}$$

$$6 \text{ in} < C < 28,5 \text{ in}$$

$$15,24 \text{ cm} < C < 72,39 \text{ cm}$$

Para determinar la longitud primitiva de la banda se establece un diámetro de centros tentativo de 40cm que se encuentra dentro del intervalo:

$$L = 2 * C + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 * C} \quad (2.26)$$

Se calculará la longitud en milímetros para utilizar el anexo A-10.

$$L = 2 * 400 \text{ mm} + 1,57(152,4 + 88,9) \text{ mm} + \frac{(152,4 - 88,9)^2}{4 * 400}$$

$$L = 1181 \text{ mm}$$

Según el anexo A-10 se elige la longitud primitiva nominal de la correa más próxima al valor calculado $L = 1186 \text{ mm}$ que corresponde a la correa A N° 45.

Ángulo de contacto

El ángulo de contacto sobre la polea menor se determina con la siguiente ecuación:

$$\alpha = 180^\circ - 57 \frac{(D - d)}{C} \quad (2.27)$$

$$\alpha = 180^\circ - 57 \frac{(152,4 - 88,9)mm}{400mm}$$

$$\alpha = 171^\circ \approx 175^\circ$$

Número de Bandas

$$N_{Bandas} = \frac{P_d}{P_{efectiva}} \quad (2.28)$$

$$P_{efectiva} = P_{bk} * F_{cl} * F_c \quad (2.29)$$

P_{bk} : Potencia corregida de la banda

F_{cl} : Factor de corrección de la longitud de la banda

F_c : Factor de corrección del arco de contacto

El anexo A-11 presenta F_{cl} para diferentes longitudes de banda tipo A, para $L = 45 \text{ in}$ no se indica por lo tanto; hay que interpolar:

$$F_{cl \ 45 \text{ in}} = 0,9 + \frac{0,92 - 0,9}{46 - 42} * (46 - 45)$$

$$F_{cl \ 45 \text{ in}} = 0,905$$

Según el anexo A-12 para $\alpha = 175^\circ$ se tiene $F_c = 0,99$

$$P_{bk} = P_b + P_a \quad \text{Ec. 2.30}$$

P_b : Potencia de la banda

P_a : Potencia adicional por relación de transmisión

Según el anexo A-13, la potencia de la banda tipo A es 3,28 Hp, mientras que la potencia adicional por relación de transmisión según el anexo A-14 es 0,45 Hp.

En la ecuación 2.30:

$$P_{bk} = 3,28 + 0,45 Hp$$

$$P_{bk} = 3,73 Hp$$

Reemplazando en Ec.2.29:

$$P_{efectiva} = 3,73 Hp * 0,905 * 0,99$$

$$P_{efectiva} = 3,34 Hp$$

Reemplazando en Ec.2.28:

$$N_{Bandas} = \frac{6 Hp}{3,34 Hp}$$

$$N_{Bandas} = 1,79 \approx 2$$

Las características del sistema de transmisión se resumen en el cuadro 2.3:

Cuadro 2.3 Características del sistema de transmisión.

	Tipo	A
Banda	Longitud primitiva	L = 45 in
	Numero de bandas	2
Polea	Diámetro Primitivo	D = 6 in
Motriz	Diámetro Primitivo	D = 3 $\frac{1}{2}$ in
Conducida	Velocidad de entrada	n = 1750 rpm
	Velocidad de salida	N = 3000 rpm
Sistema de transmisión	relación de transmisión	i = 1,71

Fuente: Autor

En el anexo A-15 se detallan las características de las poleas.

2.9. DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL [7]

Las cargas que actúan sobre el eje:

- Fuerzas producidas por las tensiones que se presentan en las poleas.
- El peso del conjunto de discos, martillos.
- Reacciones que producen los cojinetes.

Cálculo de las fuerzas en las poleas:

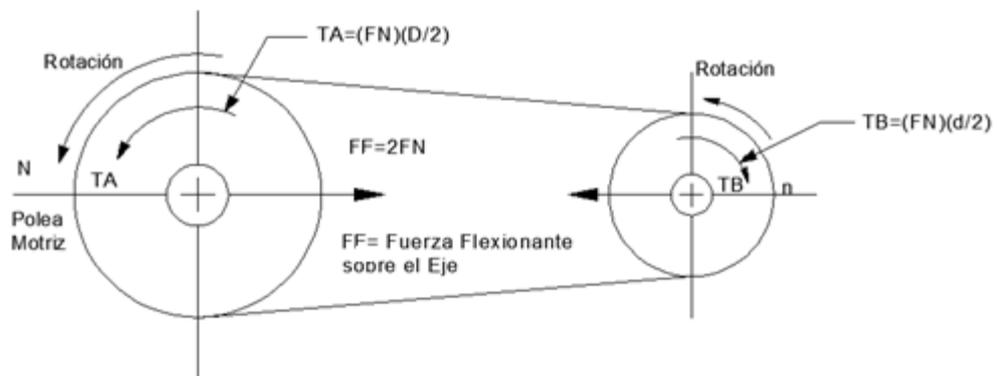


Figura 2.32 Fuerzas Presentes en el sistema de transmisión

Para el análisis de las fuerzas en las poleas, es necesario tomar en cuenta que los dos lados de la banda se encuentran en tensión, como se ve en la figura 2.32, estas fuerzas dan lugar a la fuerza impulsora neta (F_N) sobre las poleas, F_N está dada por la siguiente ecuación:

$$F_N = \frac{T}{D/2} \quad (2.31)$$

El torque presente en la polea B:

$$T_B = \frac{P_{motor}}{\omega_B} \quad (2.32)$$

$$T_B = \frac{3730 \frac{Nm}{s}}{314,15 \frac{rad}{s}}$$

$$T_B = 11,87 \text{ Nm}$$

En la ecuación 2.31:

$$F_N = \frac{T_B}{d/2}$$

$$F_N = \frac{11,87 \text{ Nm}}{\frac{0,088}{2} \text{ m}}$$

$$F_N = 267,04 \text{ N}$$

Se necesita hallar la fuerza flexionante (F_F) que ejercen las poleas sobre el eje.

$$F_F = 1,5 * F_N \quad (2.33)$$

$$F_F = 1,5 * 267,04 \text{ N}$$

$$F_F = 400,56 \text{ N}$$

Las componentes de la fuerza flexionante dependen del ángulo al que se coloque la banda con respecto al eje. Se establece un ángulo de 45° .

$$F_{Fz} = \cos(45) * 400,56 \text{ N}$$

$$F_{Fy} = \text{sen}(45) * 400,56 \text{ N}$$

$$F_{Fz} = F_{Fy} = 283,23 \text{ N}$$

Para determinar el diámetro requerido del eje principal, se requiere realizar un análisis de las fuerzas presentes en el conjunto del sistema de trituración como se observa en la figura 2.33.

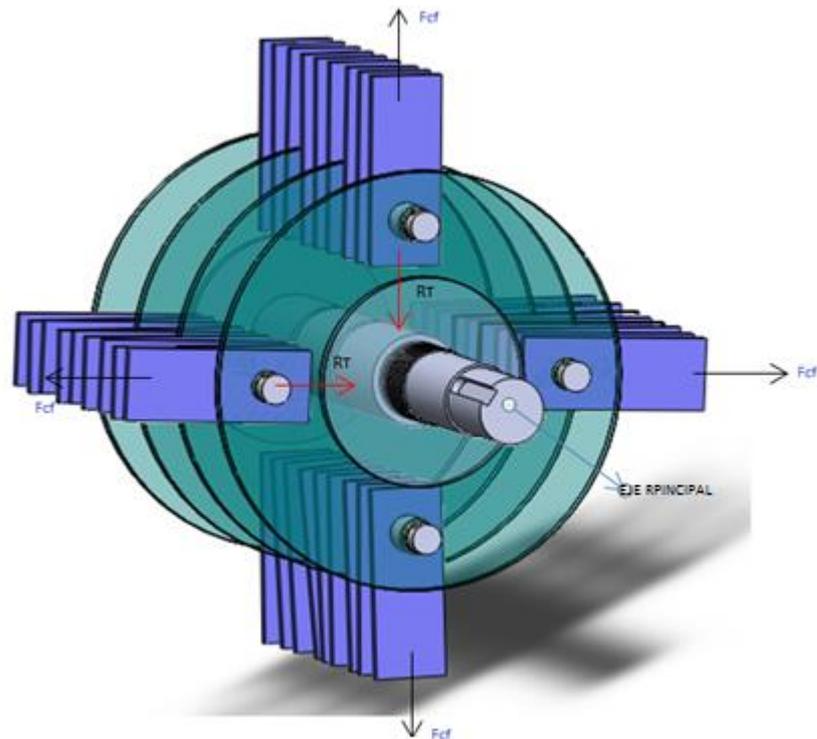


Figura 2.33 Fuerzas del conjunto del sistema de trituración

El eje está sometido a fuerzas en el eje y , y en el eje z como se indica en la figura 2.34, por lo tanto, se realiza el análisis en el plano $y-x$, $z-x$ de forma independiente.

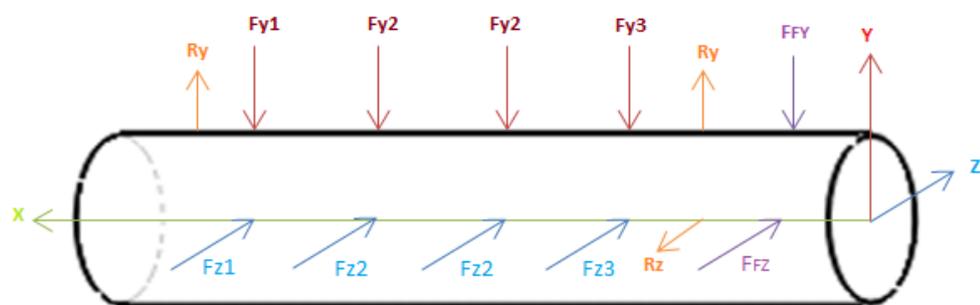


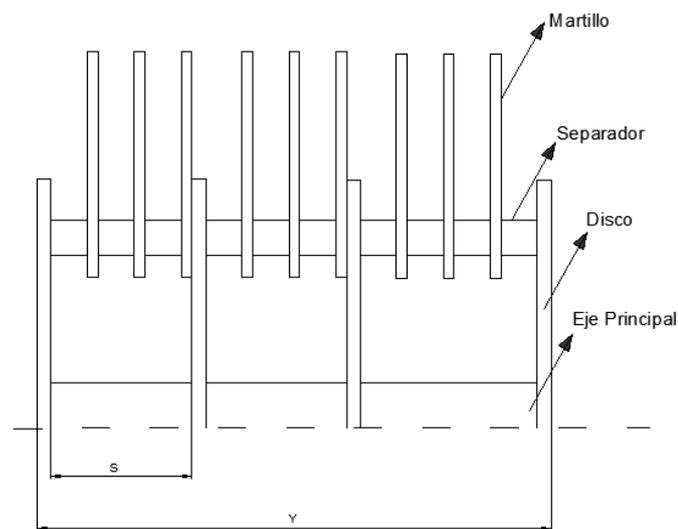
Figura 2.34 Fuerzas que actúan en el eje principal

Las fuerzas que actúan sobre el eje comprenden: las reacciones presentes en los discos debido a la fuerza centrífuga y el peso de los martillos. Para conocer la longitud del eje principal es necesario conocer la

longitud del sistema de trituración que se presenta en la tabla 2.5 y la figura 2.35.

Tabla 2.5 Longitud del sistema de trituración

Elemento	#	Ancho (mm)	Total (mm)
Disco	4	6	24
Martillo	9	4,7	42,3
Separadores	9	16	144
Longitud (Y)	-	-	210,3
Longitud (s)	-	-	62,1



Fuente: Autor

Figura 2.35 Longitud del sistema de Trituración

Análisis de las fuerzas en el plano Y-X

Las fuerzas aplicadas en el eje principal plano $y - x$ son: F_{Fy} que es la fuerza presente por el sistema de transmisión, y las fuerzas correspondientes al sistema de trituración F_{Y1}, F_{Y2}, F_{Y3} . (Ver figura 2.36).

$$F_{Y1} = R_3 + W_{disco}$$

$$F_{Y1} = (1940 + 17,54) N = 1957,54 N$$

$$F_{Y2} = R_3 + R_4 + W_{disco}$$

$$F_{Y2} = (1940 + 1150 + 17,54) N = 3107,54 N$$

$$F_{Y3} = R_4 + W_{disco}$$

$$F_{Y3} = (1150 + 17,54) N = 1167,54 N$$

Mediante el software MdSolid 2.6 se obtienen los diagramas de fuerzas cortantes y momentos. Los resultados se presentan en las figuras 2.37 y 2.38.

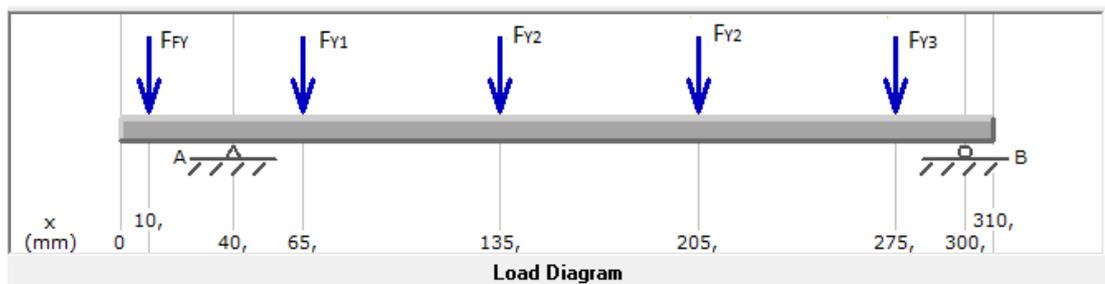


Figura 2.36 Diagrama de cuerpo libre del eje principal en el plano $y - x$.

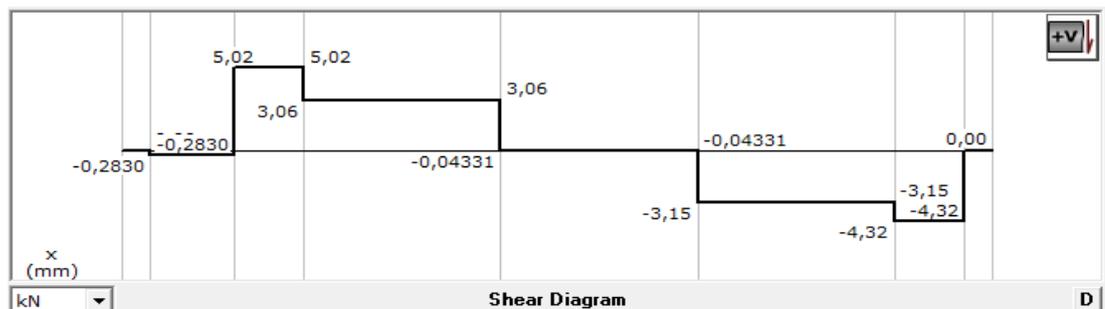


Figura 2.37 Diagrama de Fuerzas cortantes del eje principal en el plano $y-x$.

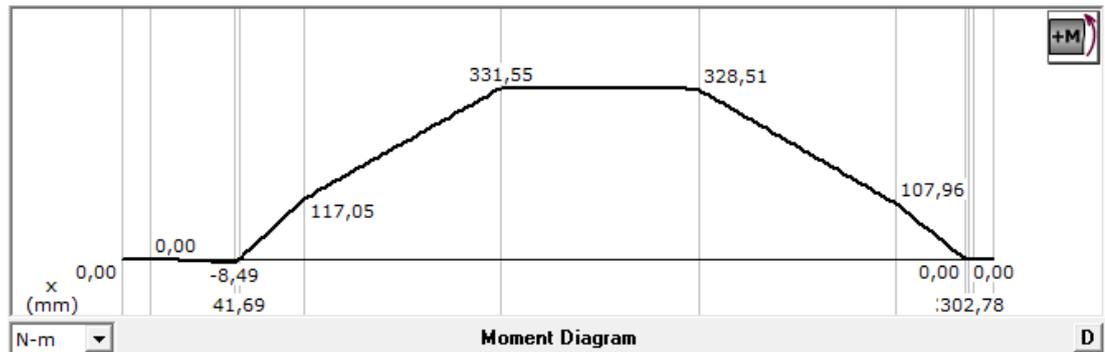


Figura 2.38 Diagrama de Momentos del eje principal en el plano y $-x$.

Análisis de las fuerzas en el plano Z-X

Las fuerzas aplicadas en el eje principal plano $z - x$ son: F_{Fz} que es la fuerza por el sistema de transmisión, y las fuerzas correspondientes al sistema de trituración como se ve en la figura 2.39.

$$F_{Z1} = R_5 = 1930 \text{ N}$$

$$F_{Z2} = R_5 + R_6$$

$$F_{Z2} = (1930 + 1150) \text{ N} = 3080 \text{ N}$$

$$F_{Z3} = R_6 = 1150 \text{ N}$$

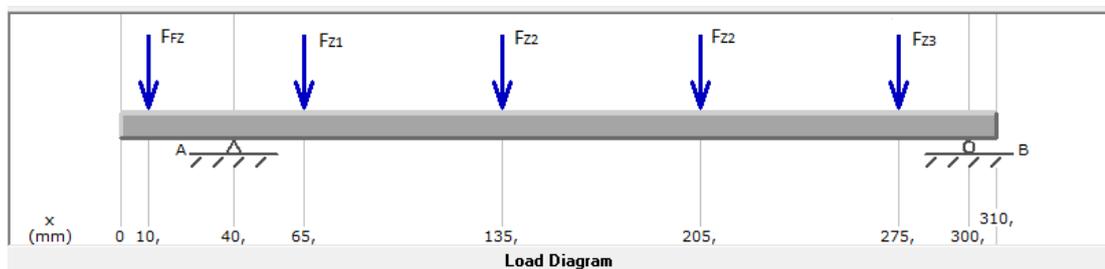


Figura 2.39 Diagrama de cuerpo libre del eje principal en el plano $z - x$

Utilizando el software MdSolid 2.6 se obtienen los diagramas de fuerzas cortantes y momentos como se ve en las figuras 2.40 y 2.41.

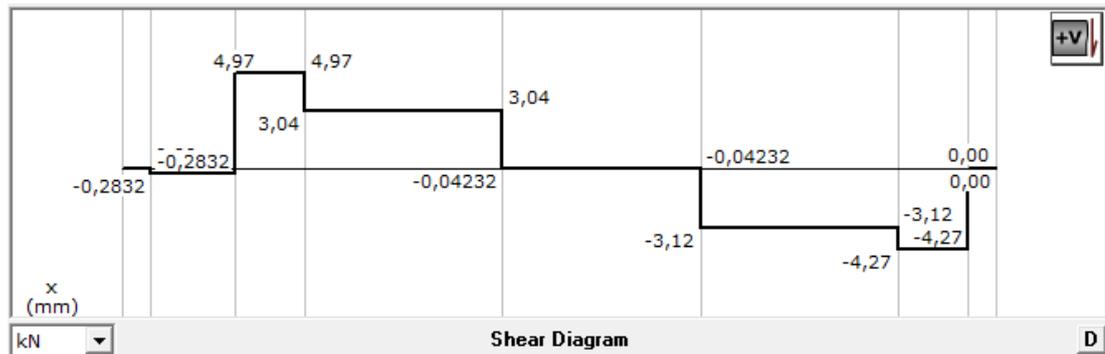


Figura 2.40 Diagrama de Fuerzas cortantes del eje principal en el plano z-x.

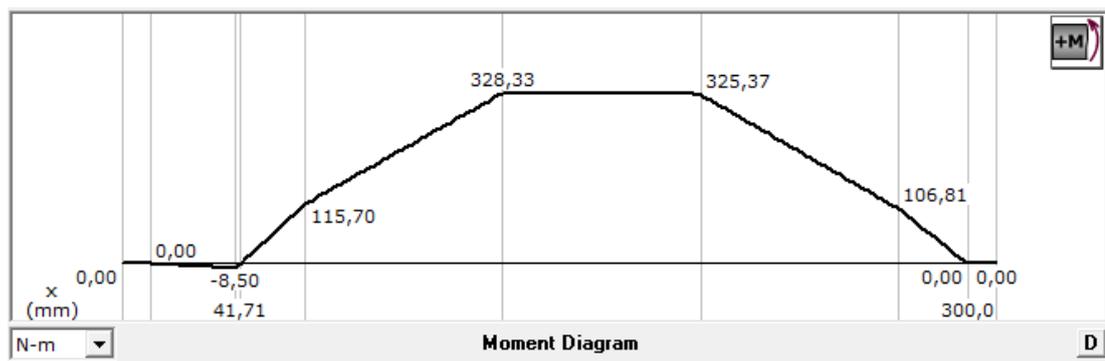


Figura 2.41 Diagrama de Momentos del eje principal en el plano z -x.

El momento máximo en los dos planos, según las figuras 2.41 y 2.38 son:

$$M_{y-x} = 331,5 \text{ Nm}$$

$$M_{z-x} = 328,3 \text{ Nm}$$

El momento total se calcula según la ecuación 2.34.

$$M_T = \sqrt{M_{y-x}^2 + M_{z-x}^2} \quad (2.34)$$

$$M_T = 465,98 \text{ Nm}$$

Para calcular el diámetro del eje se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{s'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.35)$$

$$s'_n = s_n * C_m * C_{st} * C_R * C_S \quad (2.36)$$

En donde:

s'_n : Resistencia a la fatiga real estimada.

s_n : Resistencia a la fatiga modificada. Según el anexo A-16, para $s_u = 440$ Mpa y acero estirado en frío $s_n = 250$ Mpa

C_m : Factor de material. Según la tabla 2.6 $C_m = 1$

Tabla 2.6 Factor de material

Acero	C_m	Hierro Colado	C_m
Forjado	1	Maleable	0,8
Colado	0,8	Gris	0,7
Pulverizado	0,76	Dúctil	0,66

Fuente: Mott. R.L

C_{st} : Factor de tipo de esfuerzo. $C_{st} = 1$

Tabla 2.7 Factor de tipo de esfuerzo

Tipo de esfuerzo	C_{st}
Esfuerzo flexionante	1
Tensión axial	0,8

Fuente: Mott. R.L

C_R : Factor de confiabilidad. Para 0,9 de confiabilidad deseada según la tabla 2.8 $C_R = 0,9$.

Tabla 2.8 Factor de confiabilidad

Confiabilidad deseada	C_R
0,5	1
0,9	0,9
0,99	0,81
0,999	0,75

Fuente: Mott. R.L

C_s : Factor de tamaño. El factor de tamaño depende del diámetro del eje, pero esto es una incógnita por lo tanto se estima que $C_s = 0,85$ según el anexo A-16.

$$s'_n = 250 \text{ MPa} * 1 * 1 * 0,9 * 0,85$$

$$s'_n = 191,25 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la Ec.2.35:

$$D = \left[\frac{32 * 3}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{1 * 465,98 \text{ Nm}}{191,25 * 10^6 \text{ N/m}^2} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{11,87 \text{ Nm}}{370 * 10^6 \text{ N/m}^2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

El diámetro del eje en el sistema de trituración es 40 mm, mientras que la sección del eje donde se colocará las chumaceras es de $1\frac{1}{2} \text{ in} = 3,81 \text{ cm}$ por ser éste un diámetro comercial, para lo que se mecanizará al eje en estas secciones.

2.10. DETERMINACIÓN DE CUÑAS

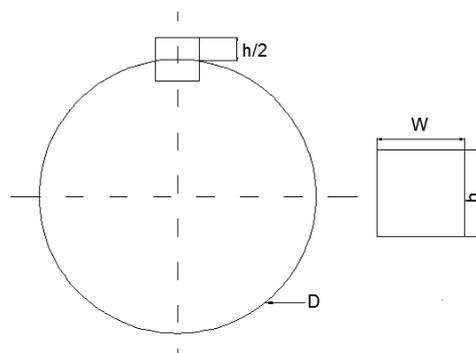
La cuña es un dispositivo empleado para transmitir el par de torsión entre el eje y el elemento acoplado, en este caso se utilizará para acoplar la polea del sistema de transmisión y el eje.

Generalmente el acero indicado para la fabricación de las cuñas es un acero al bajo carbón, con resistencia a la cizalladura; por lo que se utilizará acero AISI 1020 que es muy utilizado para esta aplicación.

La selección de la cuña se realiza en función del diámetro del eje. Para ejes hasta $6\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro se recomienda la selección de cuñas cuadradas, mientras que la cuña rectangular se recomienda para ejes mayores; tomando en cuenta esta consideración, para un diámetro de eje de $1\frac{1}{2}$ pulgada (polea conductora) y de 35 mm (polea conducida) se selecciona una cuña cuadrada [7].

Los parámetros de la cuña según el Anexo 17 se indican en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Parámetros de la cuña seleccionada



Diámetro del eje para la polea:		Cuña		Cuñero
		W (in)	H (in)	h/2 (in)
Conductora	38,1mm	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
Conducida	35 mm	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$

Fuente: <http://www.slideshare.net/adrianperezdi/capitulo-10-14824174>

2.11. DISEÑO DE RODAMIENTOS [14]

La selección de rodamientos depende del diámetro del eje y la capacidad de carga dinámica. Para calcular la capacidad de carga dinámica se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = P * \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.37)$$

En donde:

C : Capacidad de carga dinámica

P : Carga a la que está sometido el rodamiento. Determinada en el diseño del eje, $P = 5,02$ KN.

k : Factor que depende del tipo de rodamiento. Para rodamientos de bolas $k = 3$.

L_d : Duración de diseño en revoluciones.

Tabla 2.10 Duración recomendada para rodamientos.

Aplicación	Duración en horas (L)
Electrodomésticos, Máquinas Agrícolas, Instrumentos, aparatos para uso médico.	300 – 3000
Máquinas utilizadas en periodos cortos: Elevadores para talleres, máquinas para la construcción, máquinas herramientas.	3000 – 8000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento en períodos intermitentes como: ascensores.	8000 – 12000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario: Máquina- herramienta, grúas para material a granel, ventiladores, cintas transportadoras	20000 – 30000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: Máquina textil, cajas de engranajes, compresores, bombas.	40000 – 50000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas.	1000000

Fuente: ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-idactico/rodamientos.pdf

Para el cálculo de L_d = se tiene:

$$L_d = L * rpm * 60 \frac{min}{h} \quad (2.38)$$

L : Horas de duración recomendada para rodamientos. Según la tabla 2.10 para máquina agrícola y tomando en cuenta que el molino será utilizado para trabajo intermitente $L= 1650$ horas

En la ecuación 2.38:

$$L_d = 1650 h * 3000 \frac{rev}{min} * 60 \frac{min}{h}$$

$$L_d = 297 * 10^6$$

Reemplazando en la ecuación 2.37:

$$C = 5,021 KN * \left(\frac{297 * 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 33,35 KN$$

Una vez determinada la capacidad de carga se selecciona el tipo de rodamiento, según el anexo A-18 para un eje de 38,1mm el tipo de rodamiento seleccionado es UC208-24 que soporta una carga dinámica $C = 3500 KN$.

2.12. SELECCIÓN DE LOS SEPARADORES DE DISCOS

Los separadores son elementos muy importantes, tienen la función de mantener la distancia entre los discos y permitir que estos se encuentren correctamente centrados para evitar posibles vibraciones.

Los separadores de discos son tubos cilíndricos, se colocan en el eje principal entre dos discos como se ve en la figura 2.42.

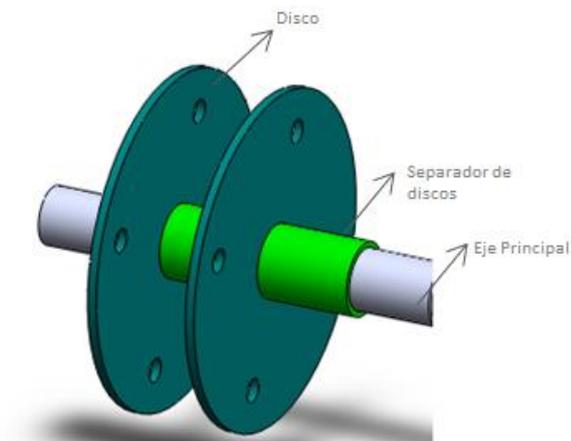
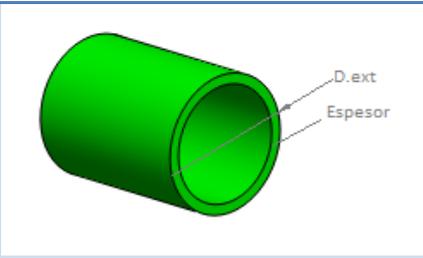


Figura 2.42 Separadores de discos

Para los separadores de discos se utilizará tubo de acero ASTM A-36, en el anexo 19 se selecciona el perfil circular que se utilizará en base al diámetro del eje principal.

Las características del perfil circular seleccionado se presentan en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Características del perfil circular de los separadores de discos

SEPARADOR DE DISCOS			
			
Diámetro			Espesor
Nominal (in)	Exterior (cm)	Interior (cm)	Pared.(mm)
1 ½	4,826	4,089	3,683

Fuente: www.coval.com

2.13 DISEÑO DEL ARMAZÓN DEL MOLINO

El armazón del molino está formado por el bastidor y la tapa del molino como se ve en la figura 2.39.

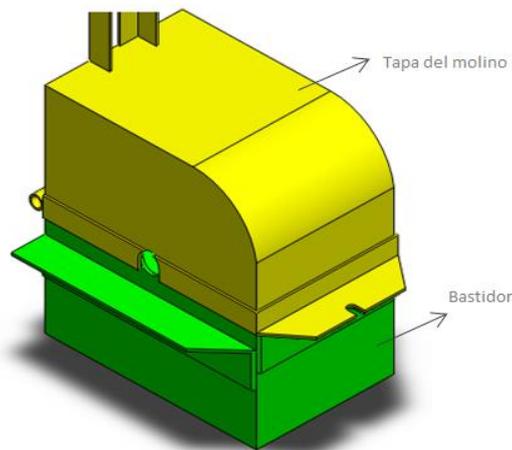


Figura 2.43 Armazón del molino de martillos

2.13.1. DISEÑO DEL BASTIDOR

El bastidor aloja elementos como el sistema de trituración, las chumaceras, entre otros, por lo tanto soporta las reacciones de la dinámica del sistema. En el bastidor se encuentran las guías que sirven como soporte para la criba y la base para las chumaceras como se ve en la figura 2.44.

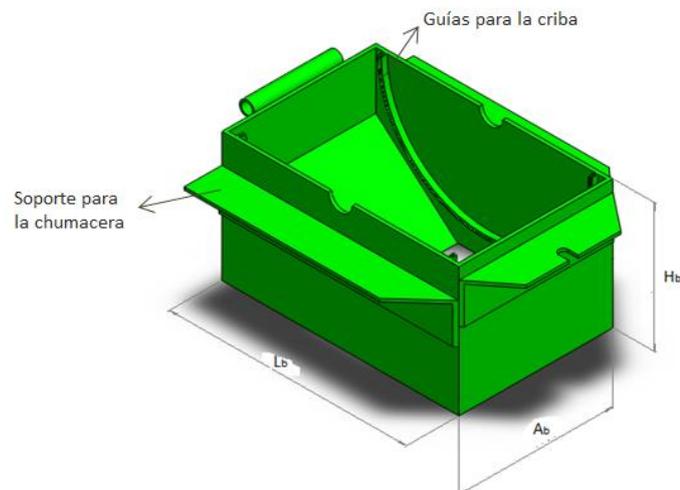


Figura 2.44 Bastidor del Molino de martillos

Las dimensiones del bastidor del molino se encuentran en función de las dimensiones del sistema de trituración, se establece un espesor de 4 mm.

L_b : Longitud del bastidor (40 cm).

A_b : Ancho del bastidor (26 cm).

H_b : Altura del bastidor (22 cm).

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DEL BASTIDOR

El bastidor es un elemento muy importante en el diseño del molino por lo que requiere de un análisis mecánico, este análisis se realizará en el software SolidWorks.

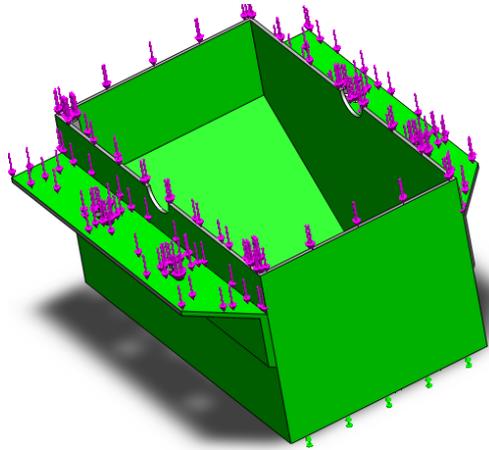


Figura 2.45 Fuerzas aplicadas en el bastidor

Las fuerzas que se aplican en el bastidor son las fuerzas presentes en los rodamientos, puesto que estos se localizan sobre el elemento en análisis como se ve en la figura 2.45. Fuerza presente en los rodamientos es $P = 5.21 \text{ KN}$.

En la figura 2.46 se observa que el factor de seguridad mínimo es 4.4, siendo este un factor de seguridad aceptable en el diseño del molino, por lo tanto el bastidor con las medidas establecidas soportará las cargas dinámicas presentes por el sistema de trituración.

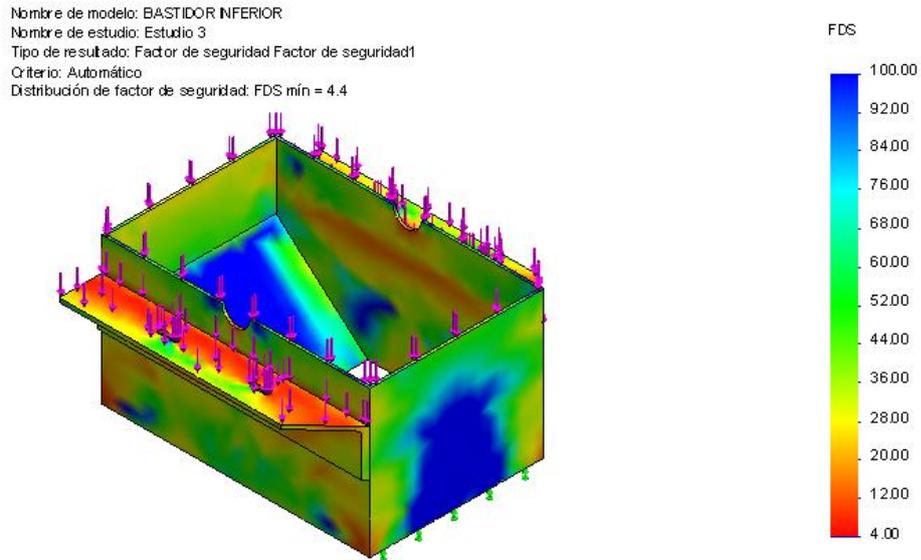


Figura 2.46 Factor de seguridad del bastidor

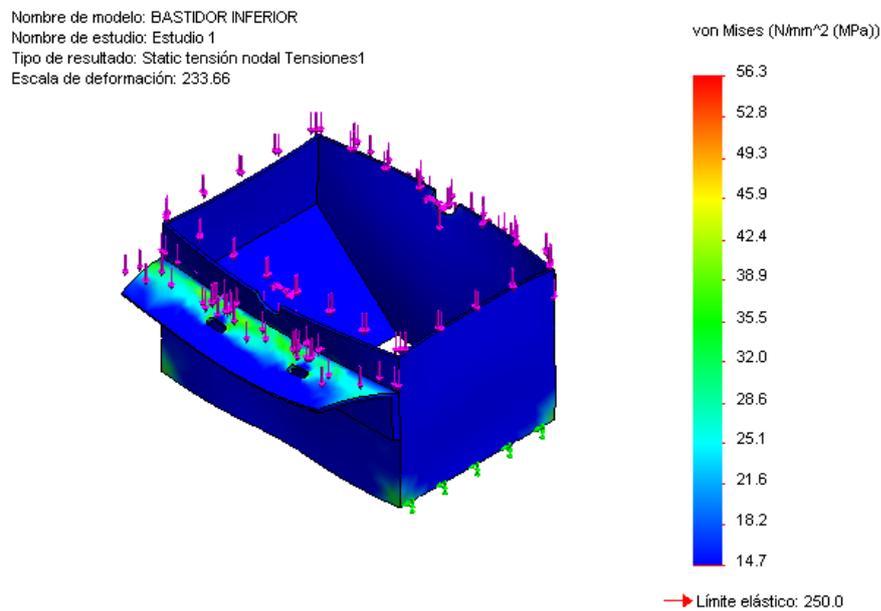


Figura 2.47 Tensión de Von Mises en el bastidor

Las zonas que sufrirán mayor deformación según la figura 2.47, son en las bases para las chumaceras y en las caras laterales del bastidor. La máxima tensión de Von Mises presente en el bastidor es 56.3 Mpa, siendo esta inferior al límite elástico del material.

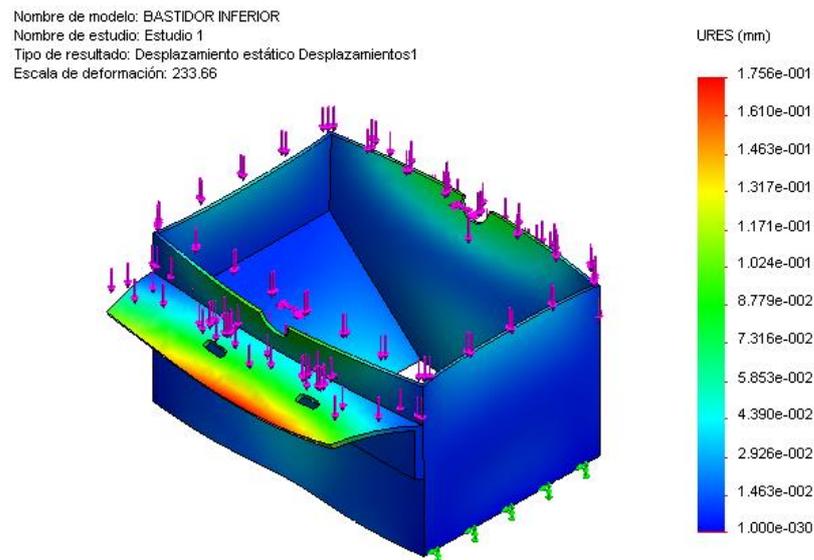


Figura 2.48 Desplazamientos en el bastidor

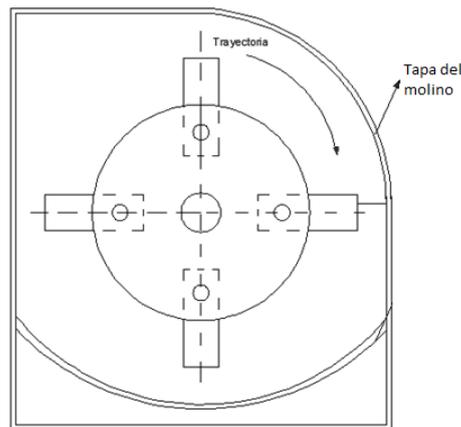
Según la figura 2.48 que presenta el análisis de desplazamientos en el bastidor, no existe desplazamientos considerables por la presencia de las cargas a las que se encuentra sometido el elemento en estudio, ya que el máximo desplazamiento presente es de $0,17 \text{ mm}$.

2.13.2. DISEÑO DE LA TAPA DEL MOLINO

La tapa del molino debe cumplir con diferentes características propias de molinos de martillos como son:

Geometría de la tapa del molino: es una característica importante en los molinos de martillos, la geometría es aquella que toma la forma de la trayectoria del producto que se tritura, es decir, periférica a los martillos como se ve en la figura 2.49.

Tipo de material: El material del cual va a ser construida la carcasa, debe garantizar que resista los impactos del grano contra sus paredes, es decir, debe tener buena rigidez y deformarse al mínimo bajo las cargas generadas en el funcionamiento. El material a ser utilizado en este tipo de aplicación es un acero ASTM A36 con un espesor de 4mm.



Fuente: Autor

Figura 2.49 Geometría de la tapa del molino

Dimisiones: Las medidas de la tapa del molino se encuentran en función de las dimensiones del bastidor.

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE L BASTIDOR DEL MOLINO

La carga actuante en la tapa del bastidor, será igual a la fuerza con la que se tritura el maíz (36 N), como 9 martillos actúan a la vez se asume que 18 granos golpearán la parte superior de la carcasa con una fuerza total de 648 N. Es necesario tomar en cuenta que la carcasa debe resistir el impacto de agentes ajenos a los granos.

La asignación de cargas será en la cara superior de la tapa como se mencionó anteriormente y como se ve en figura 2.50, puesto que el maíz sigue esta trayectoria.

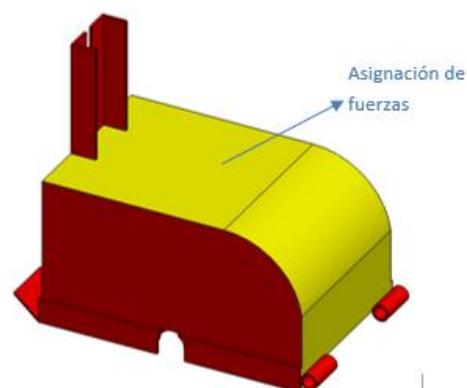


Figura 2.50 Asignación de las fuerzas en la tapa del molino.

El factor de seguridad de la tapa del molino es de 12 el mismo que es adecuado en el diseño, 4 es el factor de seguridad que está presente en las zonas de color rojo del elemento como se observa en la figura 2.51. Por lo tanto la tapa del molino soportará el impacto de los granos de morochillo sin provocar fallas.

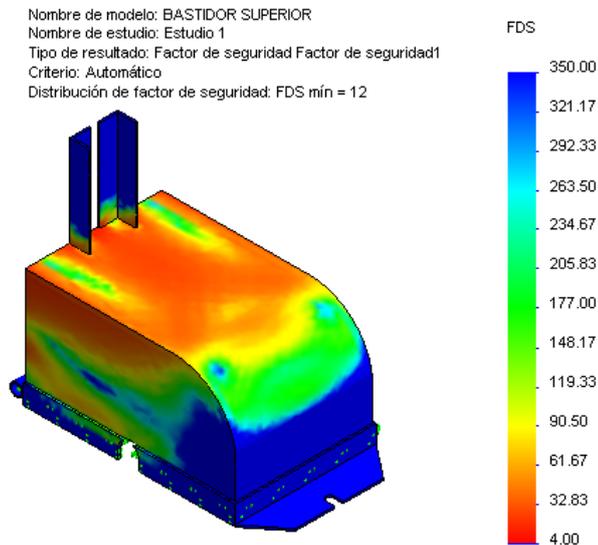


Figura 2.51 Factor de seguridad de la tapa del molino

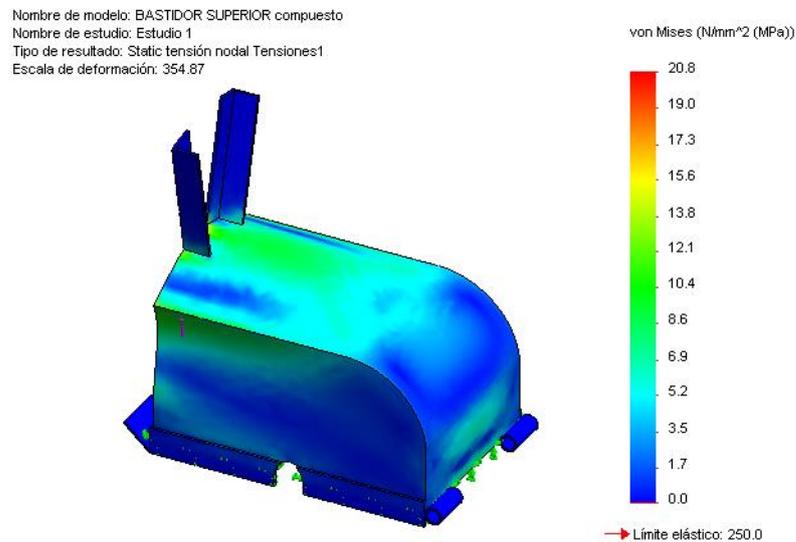


Figura 2.52 Tensión de Von Mises en la tapa del molino

En la figura 2.52, se puede observar que la zona más afectada de la tapa del molino es la cara superior, en donde impactan los granos que se trituran. El mayor esfuerzo de Von Mises presente en el elemento en estudio es de 20.8 MPa.

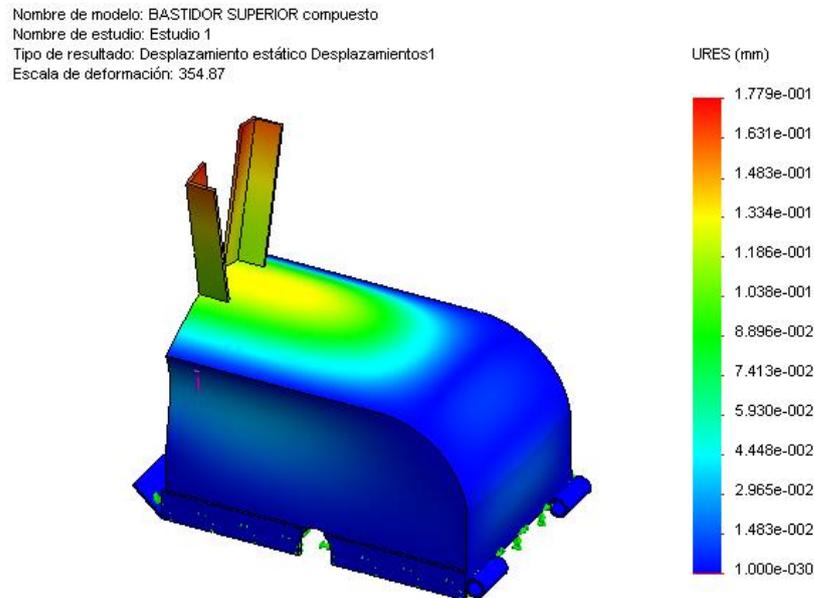


Figura 2.53 Desplazamientos en la tapa del molino

El máximo desplazamiento presente en la tapa del molino es de 0,17 mm, este desplazamiento es mínimo y se encuentra en la zona roja de la figura 2.53.

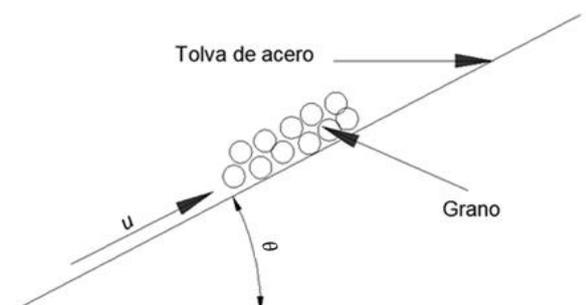
2.14. DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La tolva de alimentación tiene como función, acumular el grano a ser triturado y controlar el flujo volumétrico mediante una compuerta corrediza que se analizará posteriormente.

La principal característica a tomar en cuenta en la tolva es el ángulo de inclinación como se ve en la figura 2.54, el mismo que depende del coeficiente de fricción (μ), en este caso entre el grano y el acero.

$$\theta = \tan^{-1}(\mu) \quad (2.39)$$

θ : Ángulo mínimo de inclinación de la tolva para que se pueda deslizar correctamente el grano.



Fuente: Autor

Figura 2.54 Ángulo de inclinación de la tolva

Según la tabla 2.12, $\mu = 0,34$.

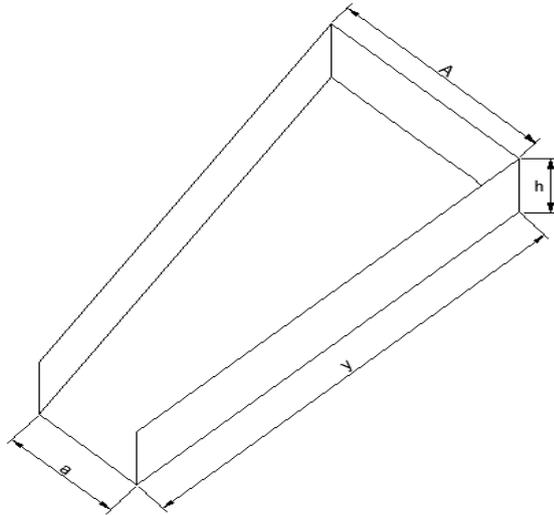
Tabla 2.12 Coeficiente de Fricción de algunos granos

PRODUCTO	HUMEDAD (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (μ)		
		Acero	Concreto	Madera
Cebada	7,9			0,4
	10,7	0,27	0,56	0,4
	12,3	0,28	0,55	
	13,3			0,4
	14,3	0,3	0,57	
	16,2	0,37	0,62	0,4
Frijol	10,4	0,33	0,4	0,38
	13,4	0,34	0,44	0,4
	16,5	0,36	0,51	0,48
Lenteja	13,5	0,16	0,33	0,27
Maíz	9,9	0,24	0,59	0,31
	12,2	0,25	0,6	0,33
	13,9	0,34	0,64	0,37

Fuente : Ospina M.J. Características Físico Mecánicas Y Análisis De Calidad De Granos

$$\theta = \tan^{-1}(0,34) = 18,7^{\circ}$$

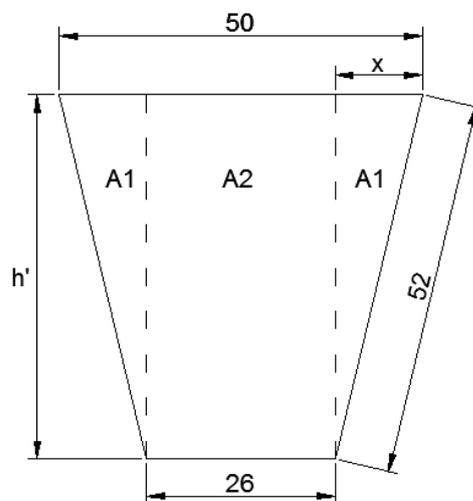
La geometría de la tolva se puede observar en la figura 2.55. Las medidas se encuentran en función de las medidas de la carcasa, su capacidad se determina a continuación.



Fuente: Autor

Figura 2.55 Geometría de la tolva

El ancho de la carcasa del molino es de 26 cm, por lo tanto el ancho (a) de la tolva es 26 cm, mientras que A , y , h , se establecen tomando en cuenta el tamaño del molino. (Se toma como referencia tolvas existentes para aplicaciones de similar característica).



Fuente: Autor

Figura 2.56 Área de la tolva en cm.

$$x = \frac{(50 - 26)mm}{2} = 12cm$$

$$h' = \sqrt{y^2 - x^2}$$

$$h' = \sqrt{(52^2 - 12^2)cm^2}$$

$$h' = 50,6 cm$$

$$A_T = 2 * A_1 + A_2$$

$$A_T = 2 * \left(\frac{x * h'}{2} \right) + (h' * a)$$

$$A_T = [(12 * 50,6) + (50,6 * 26)]cm^2$$

$$A_T = 1922,8 cm^2$$

$$V_{tolva} = A_T * h$$

$$V_{tolva} = 1922,8 cm^2 * 14 cm$$

$$V_{tolva} = 26919,2 cm^3$$

Capacidad de la tolva en kg:

$$M = \frac{1 grano}{9 * 10 * 5 mm^3} * 26919200 mm^3 * \frac{0,302 gr}{1 grano} * \frac{1 kg}{1000 gr}$$

$$M = 18 kg$$

$$W = M * g$$

W: Peso que soporta la tolva

$$W = 18 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 176,4 N$$

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

Para el análisis de la tolva de alimentación de 2mm de espesor se aplica la fuerza a la que se encuentra sometida (W).

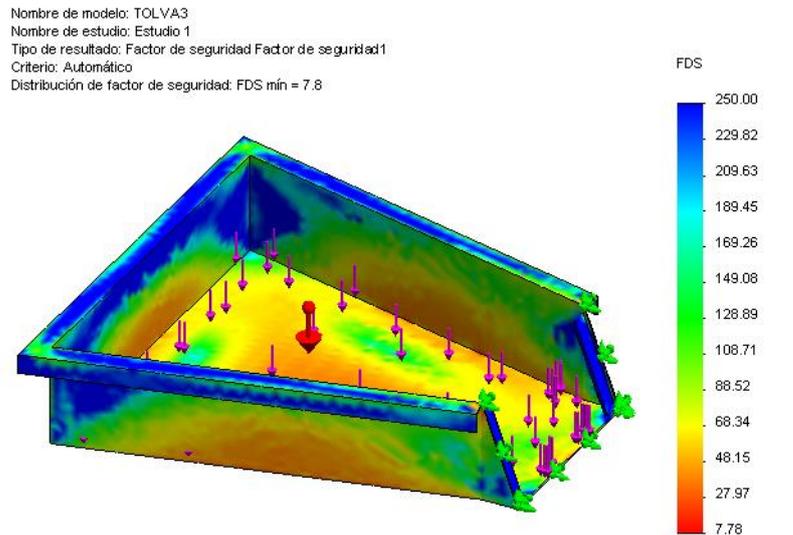


Figura 2.57 Factor de seguridad de la Tolva de alimentación

En la figura 2.57 se indica el resultado del análisis del factor de seguridad presente en la tolva. El Factor de seguridad mínimo de la tolva es de 7.8, este factor de seguridad es adecuado para las condiciones de diseño establecidas con anterioridad.

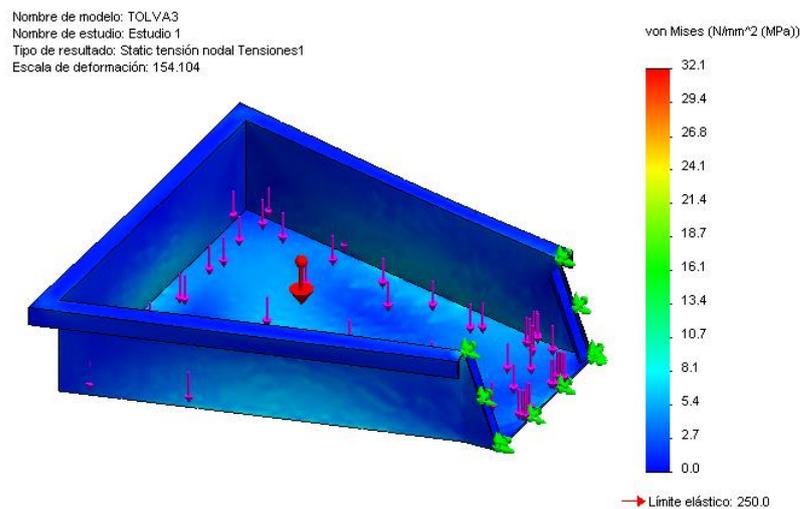


Figura 2.58 Tensión de Von Mises en la Tolva de alimentación

La figura 2.58 presenta el análisis de Von Mises, la mayor tensión presente es de 32.1 Mpa, esta tensión es inferior al límite elástico del material, por lo tanto no existirán deformaciones en la tolva.

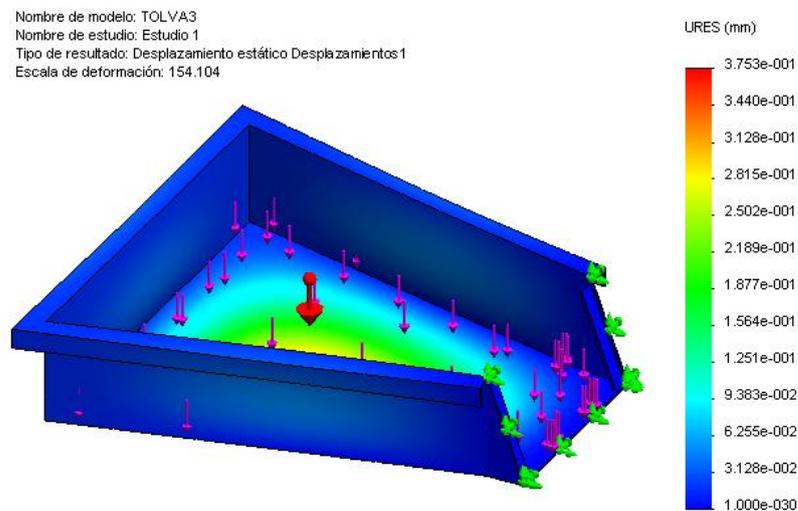


Figura 2.59 Desplazamientos en la Tolva de alimentación

El análisis de desplazamientos de la tolva de alimentación, se indica en la figura 2.59, el máximo desplazamiento que se presenta por acción de las fuerzas aplicadas es de 0,37 mm y se localiza en la zona central de la base de la tolva.

2.15. DISEÑO DE LA TOLVA DE DESCARGA

La tolva de descarga es el conducto de salida del grano triturado, por lo tanto, debe tener un ángulo de inclinación que permita el desplazamiento correcto del producto de salida. El ángulo mínimo de inclinación se calculó en el análisis de la tolva de alimentación.

La descarga del grano triturado será por gravedad es decir la tolva de descarga estará ubicada en la parte inferior del molino. La boca de salida del producto es de sección cuadrada de lados A_T y longitud L_T , la geometría de la tolva de descarga se indica en la figura 2.60.

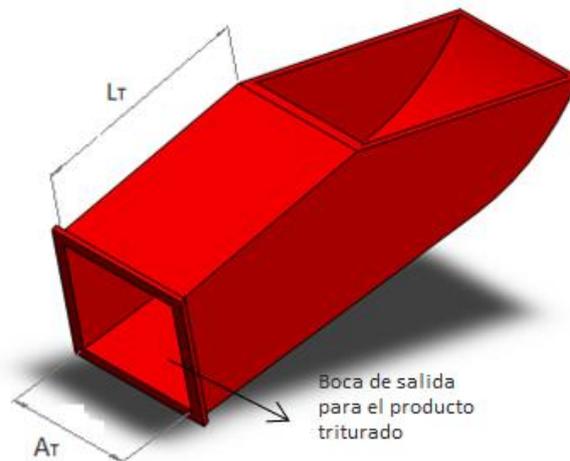


Figura 2.60 Tolva de descarga del molino de martillos

Las paredes de la tolva de descarga no están sometidas a cargas considerables, el material seleccionado para su fabricación es el mismo utilizado en la carcasa y tolva de alimentación.

2.16. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación tiene la función de regular el ingreso del flujo de grano a la cámara de molienda. Básicamente el sistema de alimentación es una compuerta corrediza que permite ajustar la apertura de ingreso dependiendo el tipo de grano.

La geometría de la compuerta se ve en la figura 2.61 y sus dimensiones dependen de carcasa del molino, el espesor de la plancha de acero con la que está construida la puerta es de 2 mm.

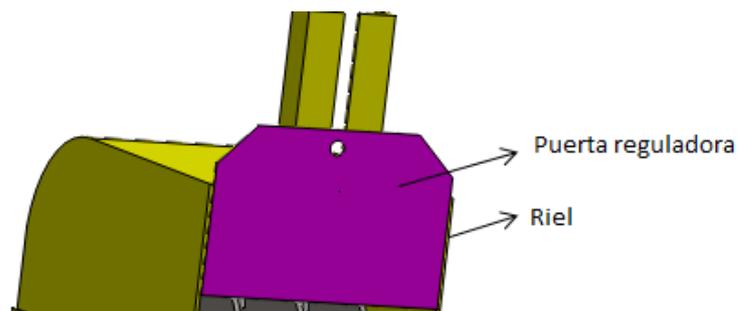


Figura 2.61 Compuerta del sistema de alimentación

Como se ve en la figura 2.62, las fuerzas que actúan sobre la compuerta dependen del peso del grano que se encuentra en la tolva.

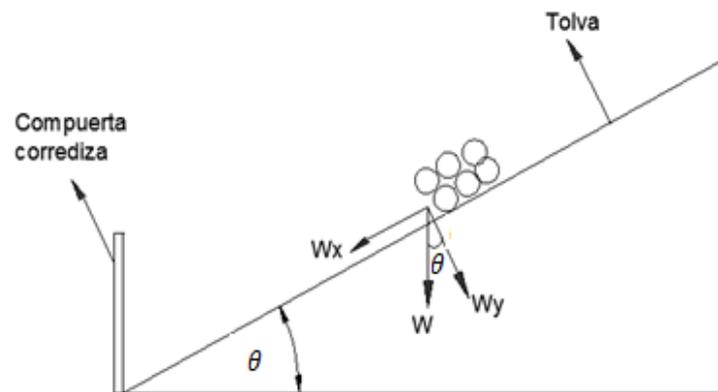


Figura 2.62 Fuerzas que actúan sobre la compuerta.

$$W_x = W * \sin \theta$$

$$W_x = 176,4 \text{ N} * \sin(20^\circ)$$

$$W_x = 60,28 \text{ N}$$

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE LA PUERTA

Para el análisis de elementos finitos de la puerta reguladora de flujo, que comprende el análisis de factor de seguridad, tensiones de Von Mises y desplazamientos, se aplica la fuerza calculada $W_x = 60,28 \text{ N}$ en su cara lateral. La puerta reguladora de flujo soporta la fuerza W_x en el momento en el que se encuentra cerrada.

Los resultados del análisis de elementos finitos se presentan en las figuras 2.63, 2.64 y 2.65, las mismas que presentan el estudio de factor de seguridad, tensiones de Von Mises y desplazamientos respectivamente.

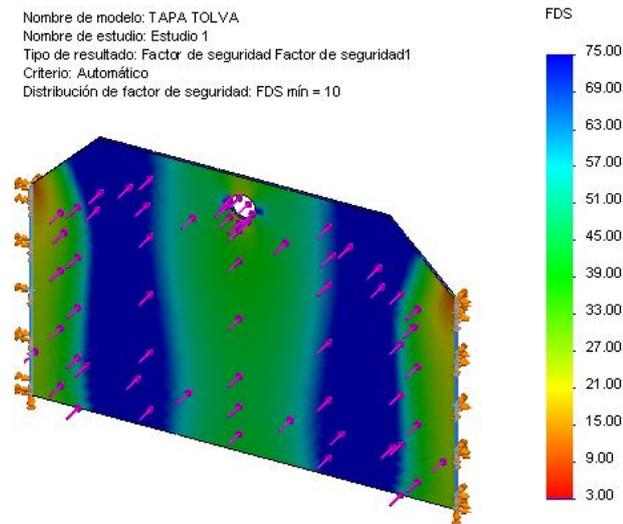


Figura 2.63 Factor de seguridad de la puerta reguladora de flujo

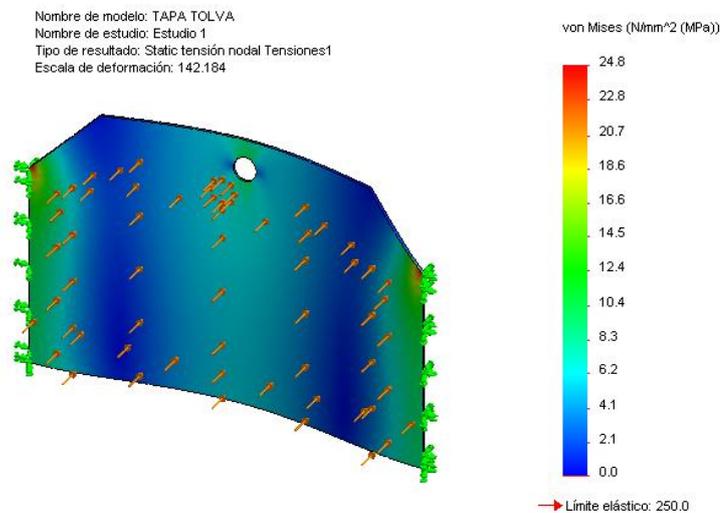


Figura 2.64 Tensión de Von Mises en la puerta reguladora de flujo

El factor de seguridad mínimo obtenido en el estudio es de 10, siendo este un factor aceptable en el diseño, mientras que la zona más afectada dentro de los límites permitidos es en el centro de la puerta, en cuanto al desplazamiento máximo que se presenta en la puerta reguladora, es de 0,17 mm, siendo éste desplazamiento casi despreciable.

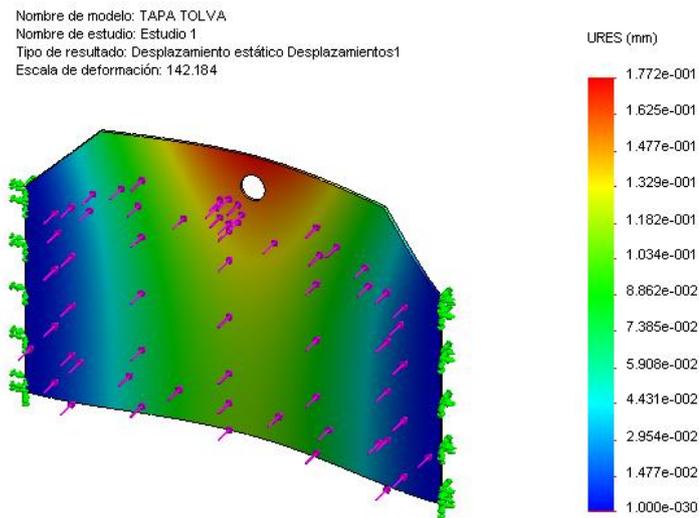


Figura 2.65 Desplazamientos en la puerta reguladora de flujo

2.17. SELECCIÓN DE LA MALLA DE CRIBADO

La malla de cribado o criba es un elemento que se coloca en el interior del bastidor en la parte inferior como se ve en la figura 2.66.

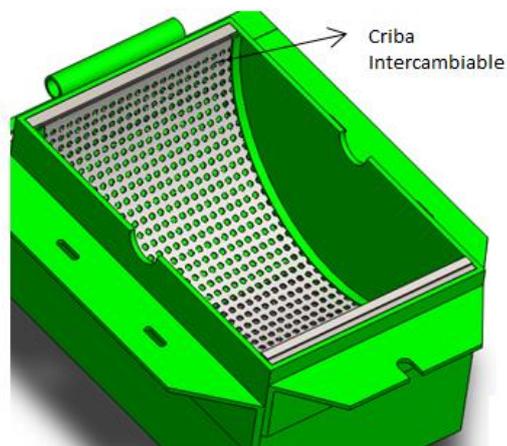
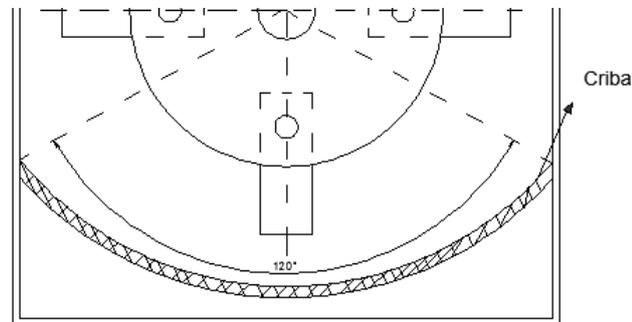


Figura 2.66 Ubicación de la malla de cribado

Características:

- La malla de cribado debe cubrir un ángulo de 60° desde el centro en ambos sentidos es decir un ángulo total de 120° como se ve en la figura 2.67.



Fuente: Autor

Figura 2.67 Malla de cribado

- La separación entre la punta de los martillos y la malla de cribado es muy importante, ya que una distancia no adecuada disminuye la eficiencia del proceso. Según recomendaciones de diseño debe tener una separación de 3 – 15 mm.
- La crianza de pollos tiene varias etapas, desde que nace el ave hasta su comercialización, en estas etapas se necesita distintos tamaños de grano triturado dependiendo de la edad de los pollos. La malla de cribado es la que determina el tamaño del producto final triturado, por lo tanto se necesitaran al menos 2 mallas con diferente tamaño de perforación.

Usuarios de molinos recomiendan que para un triturado fino se utilice una criba con perforaciones de $\frac{3}{16}$ in, para triturado medio $\frac{1}{4}$ in, y para un triturado grueso $\frac{3}{8}$ in.

En el caso de alimentación de pollos se requiere de triturado medio para las primeras semanas, y de triturado grueso para las siguientes semanas.

2.18. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La estructura actuará como base y soporte de la cámara de trituración, la carcasa, el motor y el resto de accesorios que conforman el sistema del molino.

Características de la estructura: La estructura deberá impedir la vibración de los componentes del sistema, pues la vibración altera el funcionamiento correcto de la máquina y puede ocasionar la ruptura de la misma estructura o de los componentes del sistema [15].

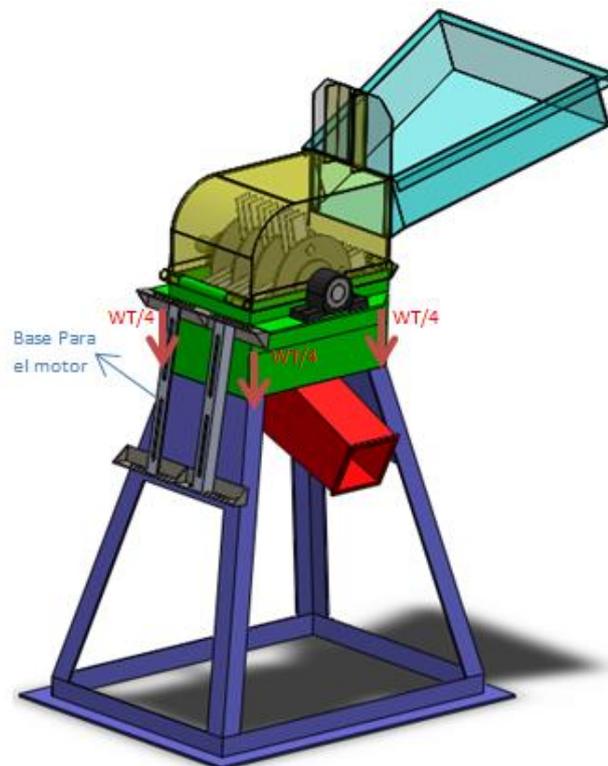


Figura 2.68 Fuerzas que soporta la estructura

La estructura está comprendida por perfiles tipo L de 2x2 in arista y 1/4 in de espesor seleccionado en el anexo A- 20, y soporta el peso de todos los componentes (W_T) como se ve en la figura 2.68, adicional al peso de los componentes del molino, un lado de la estructura soporta el peso del motor.

Tabla 2.13 Peso del molino

Elemento	Masa Kg	# de Elementos	Peso total (N)
Martillos	0.137	36	48.33
Discos	1.694	4	66.41
Ejes Secundarios	0.347	4	13.63
Eje Principal	4.054	1	39.72
Separadores de disco	0.251	3	7.379
Tapa del molino	12.431	1	121.83
Bastidor	21.680	1	212.46
Tolva de alimentación	7.790	1	76.41
Tolva de descarga	8.683	1	85.09
Chumacera	2.5	2	49
Peso total (W_T)	-	-	720 N

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA

Las fuerzas que soporta la estructura es el peso total del sistema que fue calculado según la tabla 2,13, $W_T=720N$, mientras que el peso del motor que es 440 N; pero la estructura soporta la mitad de su peso es decir 220 N.

Los resultados del análisis de elementos finitos realizados en el programa SolidWorks como factor de seguridad, tensión de Von Mises y desplazamientos, se presentan en las figuras 2.69, 2.70 y 2.71 respectivamente.

El factor de seguridad de la estructura es de 3.5, este factor de seguridad garantiza que la estructura soporte sin problemas el peso de los componentes del molino.

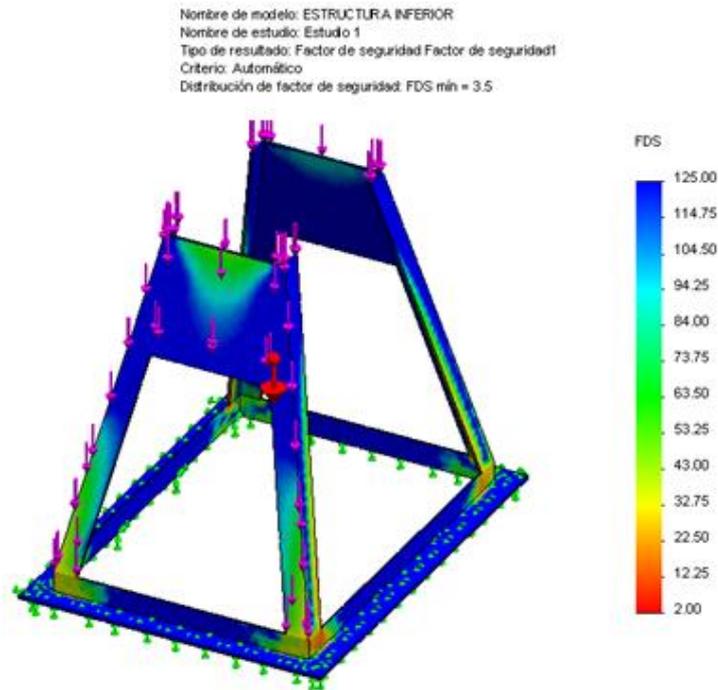


Figura 2.69 Factor de seguridad de la estructura

En cuanto al análisis de la tensión de Von Mises la estructura no presentará deformaciones por la presencia de las cargas que soporta, ya que estas tensiones son inferiores al límite elástico del material.

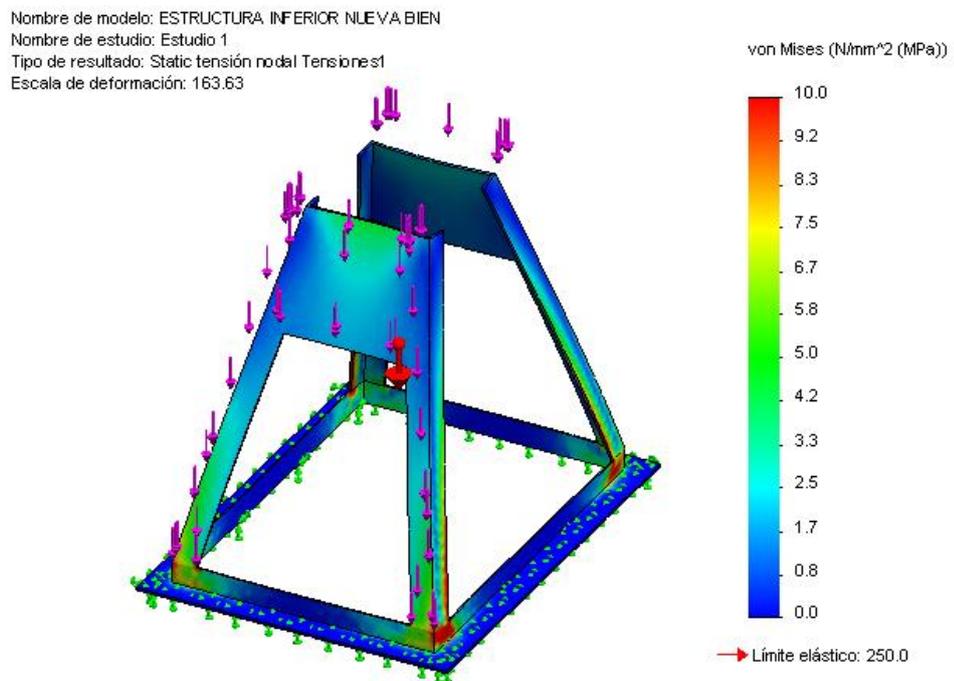


Figura 2.70 Tensión de Von Mises en la estructura

Por su parte, en el análisis de desplazamientos se concluye que la estructura no presenta desplazamientos considerables, como indica la figura 2,71 el desplazamiento máximo es de 0,5 mm, y se localiza en la zona roja de la estructura.

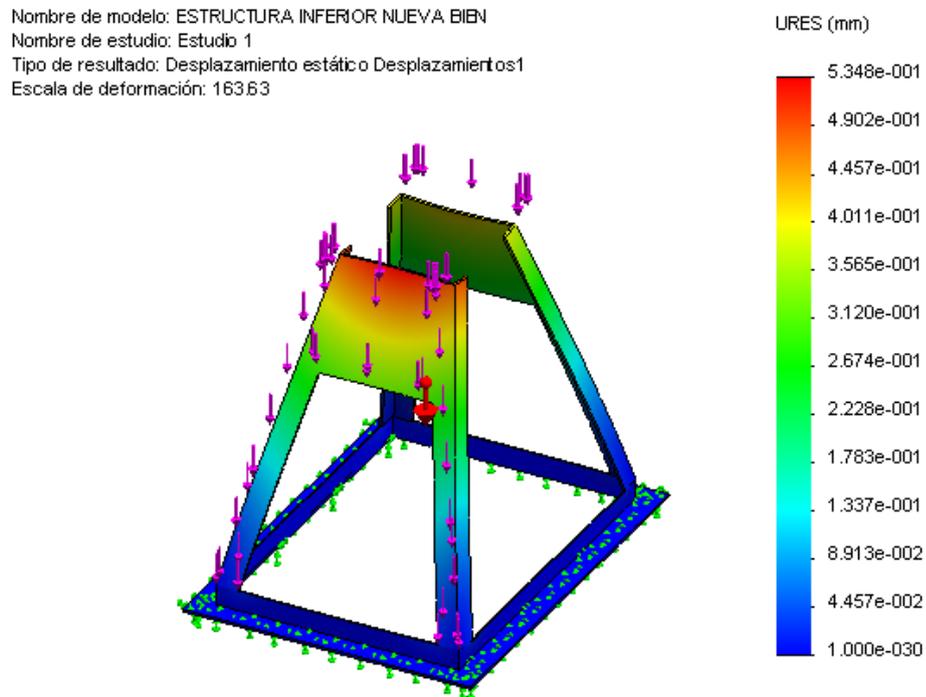


Figura 2.71 Desplazamientos de Von Mises en la estructura

2.19. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico comprende básicamente el accionamiento del motor mediante un control ON- Off manual.

Para la selección de protecciones eléctricas es necesario tomar en cuenta las características del motor (datos de placa) como:

- Tipo de Corriente: Corriente Alterna
- Fases: Monofásico
- Frecuencia: 60 Hz
- Potencia nominal de la carga: 5 Hp
- Voltaje de alimentación de la bobina: 220 V

- Corriente nominal : 22,2 A

2.19.1. SELECCIÓN DEL FUSIBLE

El fusible se utilizará para la protección del sistema de potencia, por lo tanto se selecciona en función de la corriente nominal del motor.

Para un motor monofásico de potencia 5Hp, voltaje 220 V, corriente nominal $I_n = 22 A$ se tiene:

$$I_{fusible} = 1,8 * I_n$$

$$I_{fusible} = 1,8 * 22,2A$$

$$I_{fusible} = 39,9 A \approx 40 A$$

Del anexo A-21 se selecciona el fusible en base a la corriente calculada. Las características del fusible seleccionado se presentan en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Características del Fusible

Fusible



Marca: Camsco Corriente nominal: 40A Tipo: AM (especial para motores) Voltaje: 400 V Capacidad interruptiva: 100000 A

2.19.2. SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO

Para la selección del interruptor termo-magnético, el mismo que funciona como dispositivo de protección contra corrientes de sobrecarga y cortocircuitos debe cumplir las siguientes condiciones [16] :

$$I_n \leq I_{T-M} \leq I_{m\acute{a}x}$$

I_{T-M} : Corriente nominal del interruptor termo-magnético

I_n : Corriente nominal del motor

$I_{m\acute{a}x}$: Máxima corriente admisible

$$I_{m\acute{a}x} = 1,5 * I_n = I_{m\acute{a}x} = 1,5 * 22,2 A$$

$$I_{m\acute{a}x} = 33,3 A$$

$$22 A \leq I_{T-M} \leq 33,3 A$$

De acuerdo a la disponibilidad en el mercado y a la condición preestablecida, se selecciona un interruptor termo-magnético de $I_{T-M} = 32 A$. Las características del interruptor termo-magnético seleccionado se presentan en el cuadro 2.5.

Cuadro 2.5 Características del Interruptor termo-magnético

INTERRUPTOR TERMO- MAGNÉTICO



Marca: SCHNEIDER
 Corriente: 32 A
 Voltaje: 220 V 1Ø
 Número de polos: 2
 Tipo: Montaje en riel DIN

2.19.3. SELECCIÓN DEL CONTACTOR

La selección de contactores se realiza tomando en cuenta las características del motor y tipo de trabajo (para determinar la clase del contactor), alimentación de la bobina.

Según el anexo A-22 para un motor monofásico de 5Hp, 220V es recomendable utilizar un contactor de 32 A. Mediante el anexo A-23 se seleccionó el contactor que se utilizará, sus principales características se presentan en el cuadro 2.7.

Cuadro 2.6 Características del Contactor

Contactor



Marca: LG
Corriente: 32 A
Voltaje: 220 V 1Ø
Bobina: 220 V
Tipo: GMC 32
Clase: AC3

2.19.4. SELECCIÓN DEL RELÉ TÉRMICO

La selección del relé térmico se realiza en base a las características del motor, este relé es un dispositivo sensible a la temperatura y actúa ante cuando la corriente del motor excede a un límite preestablecido.

Según el anexo A-22 para un motor de 5HP, monofásico y 220 V, el relé térmico debe tener un rango de regulación de corriente aproximado de 23 – 32 A.

En el mercado existen diferentes marcas de relés térmicos, las características tomadas en cuenta para su selección fueron: precio, disponibilidad y factores eléctricos. Del anexo A-24 se seleccionó el relé térmico en base al rango de regulación de corriente antes mencionado y tomando en cuenta el tipo de contactor seleccionado para un montaje directo.

Las principales características del relé térmico seleccionado se presentan en el cuadro 2.7.

Cuadro 2.7 Características del Relé Térmico

Relé Térmico



Marca : LG
 Corriente:40 A
 Rango de regulación : 24-36 A
 Tipo: GTK (I diferencial, fallo de fase).
 Montaje directo con contactares GM 32.

2.19.5. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

La transmisión de energía eléctrica en forma segura y eficiente depende de una correcta selección del calibre del conductor.

Conductor sistema de Potencia

En base a la corriente nominal se selecciona el calibre del conductor, además se toma en cuenta un porcentaje de corriente adicional por posible presencia de corrientes armónicas.

$$I_{trabajo} = I_n + 30 \% * I_n = 22 A + 0,3 * 22,2A$$

$$I_{trabajo} = 28,6 A$$

Otro parámetro para la sección del conductor es la temperatura de trabajo, en este caso se selecciona a una temperatura promedio de 75°C. Por lo tanto con la corriente de trabajo 28,6 A, temperatura de operación de 75°C se selecciona el calibre de conductor en el anexo A-25. Las características del conductor seleccionado se presentan en el cuadro 2.8.

Cuadro 2.8 Características del Conductor

Conductor



Material : Cobre
 Calibre : AWG # 10
 Corriente permisible (75°C) : 35 A
 TIPO : THW
 Voltaje máx. : 600 V

2.19.6. SELECCIÓN DE ACCESORIOS ELÉCTRICOS

a. Pulsadores

Los pulsadores son elementos que permiten el paso o interrupción de la corriente mientras son accionados. Cuando ya no se actúa sobre ellos, generalmente se vuelve a su posición de reposo.

Mediante pulsadores se controlará la puesta en marcha y parada del molino de martillos. En base al código de colores para componentes de comando (ver anexo A-26), los pulsadores para encendido son de color verde y el contacto normalmente abierto en reposo, mientras que para el apagado de color rojo y contacto normalmente cerrado [17].

Los tipos de pulsadores que se seleccionó (anexo A-27) de acuerdo a características como disponibilidad y precio se presentan en el cuadro 2.9.

Cuadro 2.9 Características del Pulsador

PULSADOR RASANTE	
Rojo	Verde
	
Marca: CAMSCO Modelo: KXB2-BA42 Contacto: 1 NC Tamaño: 22mm	Marca: CAMSCO Modelo: KXB2-BA31 Contacto: 1 NA Tamaño: 22mm

b. Luz piloto Led

La luz piloto led o lámparas piloto se utilizan como elementos auxiliares de señalización para indicar posición de activación o desactivación de un sistema, para lo cual hay que basarse en el código de colores de luces (anexo A-26), por ejemplo, si se activa la luz verde da a conocer que la máquina se encuentra en correcto funcionamiento.

Los tipos de luces pilotos led se seleccionó de acuerdo a características como disponibilidad y precio se presentan en el cuadro 2.10.

Cuadro 2.10 Características de luz piloto

LUZ PILOTO	
Rojo	Verde
	
Marca: CAMSCO Modelo: XB2EV163 Tamaño: 22mm Voltaje de operación: 220V	Marca: CAMSCO Modelo: 23702 Tamaño: 22mm Voltaje de operación:220V

c. Pulsador Emergente

Es un dispositivo que se utiliza como paro de emergencia y se consideran como un equipo de protección complementaria, cuando se oprima el botón los contactos deben cambiar de estado a la vez que el botón se enclava en la posición de oprimido. El paro de emergencia es de color rojo y debe estar colocado en un lugar de fácil acceso para el operador.

El pulsador emergente se seleccionó de acuerdo a características como disponibilidad y precio, sus principales características se presenta en el cuadro 2.11.

Cuadro 2.11 Características del pulsador de emergencia

PULSADOR DE EMERGENCIA

Marca: CAMSCO Modelo: KXB4-BG42 Tamaño: 40mm Contacto: 1 NC

2.19.7. DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia está constituido básicamente por el motor monofásico jaula de ardilla, los fusibles de protección, el interruptor termomagnético y el contactor.

En La figura 2.62 se representa el circuito de potencia y en el anexo C se presenta el plano eléctrico.

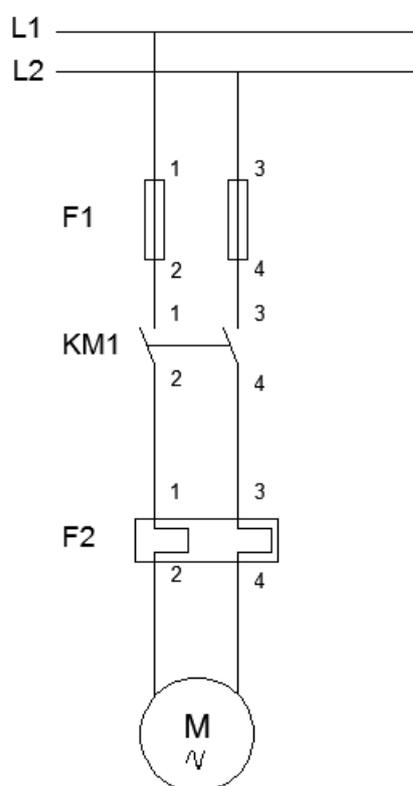


Figura 2.72 Circuito de potencia

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

En este capítulo se detallan los diferentes procedimientos y máquinas que se utilizaron para la construcción y montaje del molino de martillos, el mismo que fue diseñado en el capítulo anterior.

3.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO

La construcción de los elementos se realiza en base a medidas, geometría y materiales especificados en el capítulo II. Los detalles para la construcción se los realizó de acuerdo al molino que se simuló en el software SolidWorks.

3.1.1. Herramienta de Percusión

A partir de la platina de acero DF2 se construyen los martillos o herramientas de percusión. Se obtienen rectángulos de 10 cm de longitud de la platina, se necesita realizar esta operación hasta obtener 36 martillos. El orificio para el ingreso del eje secundario se realiza en un taladro pedestal utilizando una broca de 5/8 in.

3.1.2. Discos

Para la construcción de los discos se necesita: un equipo de corte por plasma, un torno, y un taladro pedestal.

En la plancha de acero ASTM A36 de 4 mm de espesor es importante realizar una correcta distribución de los discos para evitar desperdicio de material. Es importante tomar en cuenta que debe existir una tolerancia de corte, en este caso los discos son de 22 cm de diámetro y la tolerancia para corte es +3mm.

Para el corte de los discos se utiliza el equipo de corte por plasma, como es una sección circular la que se desea cortar se necesita un accesorio adicional como es el pantógrafo o compás. Para iniciar el corte de los discos

se traza un punto centro o de referencia como se ve en la figura 3.1, este punto será el centro de giro del pantógrafo.



Figura 3.1 Trazo del punto de referencia

Una vez que se marcó el punto de referencia se inicia el proceso de corte por plasma, este procedimiento se realiza para el corte de los 4 discos (ver figura3.2).



Figura 3.2 Discos cortados equipo de corte por plasma.

Posterior al corte de los discos se realiza el proceso de torneado, este proceso se realiza tanto para mecanizar el agujero del eje principal como para quitar residuos y dejar una superficie lisa en la zona de corte de los discos como se ve en la figura 3.3.



Figura 3.3 Mecanizado de los discos en el torno

El mecanizado de los agujeros de los ejes secundarios se realiza en un taladro pedestal utilizando una broca de 5/8 in, es importante trazar marcas de referencia sobre los discos para garantizar que los agujeros se encuentren a 90° entre sí, y que el centro de los agujeros se encuentre a la misma distancia en todos los discos. Los 4 discos se perforan juntos como se ve en la figura 3.4.



Figura 3.4 Perforación de los agujeros en el taladro pedestal

3.1.3. Bastidor

La construcción del bastidor se realiza utilizando la plancha de acero ASTM A36 de 4 mm de espesor la misma plancha que se utilizó para la construcción de los discos.

Se cortan las 4 caras que comprenden el bastidor utilizando el equipo de corte por plasma. Las paredes del molino están unidas mediante cordones de soldaduras.



Figura 3.5 Construcción del bastidor

En el bastidor se colocan las guías de la criba y otros detalles como las placas inclinadas que se conectan a la tolva de descarga, estos elementos van soldados en el bastidor (ver figura 3.5).

3.1.4. Tapa del molino

Para la construcción del bastidor se utiliza la plancha de acero ASTM A36 de 4 mm de espesor, se cortan las paredes laterales y superior de la tapa utilizando el equipo de corte por plasma de acuerdo a las medidas establecidas anteriormente. Las caras laterales del molino tienen una sección semicircular como se ve en la figura 3.6, esta sección se corta en base a una referencia.



Figura 3.6 Mecanizado de las caras laterales de la tapa del molino

La unión de las partes que forman parte de la tapa del molino se lo hace mediante el proceso de soldadura, pero este elemento se construye tomando como base o referencial al bastidor del molino, para lo cual se sueldan temporalmente guías entre en el bastidor y una de las caras de la tapa como muestra la figura 3.7.



Figura 3.7 Construcción de la tapa del molino

3.1.5. Eje Principal

En el eje principal de 47 cm de longitud y diámetro de 40 mm se mecaniza varias secciones que se detallan a continuación y se observan en la figura 3.8.



Figura 3.8 Eje principal

El eje se coloca en el torno en el que se mecaniza la rosca de forma automática, la longitud de las roscas es de 3 cm. Las roscas que se mecanizan son necesarias para el montaje del sistema de trituración que

más adelante se detalla. El tipo de rosca que se mecaniza es una rosca métrica de paso fino $M40 \times 2$. Posterior al roscado se desbasta las secciones del eje en donde van localizado los rodamientos (fig. 3.9), estas secciones son de 6,5 cm de longitud, el desbaste se realiza hasta que las zonas mecanizadas alcancen un diámetro de $1\frac{1}{2}$ in.



Figura 3.9 Mecanizado del eje principal

En uno de los extremos del eje a partir de la sección de $1\frac{1}{2}$ in mecanizada anteriormente se desbasta hasta que la sección alcance un diámetro de 35 mm, aquí va localizada la polea del sistema de transmisión por lo tanto se mecaniza el cuñero con las dimensiones antes establecidas como se ve en la figura 3.9.

3.1.6. Tuercas

Las tuercas son elementos por medio de las cuales se une el sistema de trituración con el eje principal. Son dos tuercas las que se mecanizan, sobre plancha de acero ASTM A36 de 4 mm de espesor se cortan las tuercas de 11 cm de diámetro utilizando el equipo de corte por plasma.

En el torno se colocan las 2 tuercas y se eliminan residuos producto del corte, se mecaniza tanto el orificio de 40 mm de diámetro, como la rosca interna $M40 \times 2$, el tipo de rosca es el mismo que se mecanizó en el eje como se ve en la figura 3.10.



Figura 3.10 Mecanizado de las tuercas

3.1.7. Separadores

Tanto los separadores de discos como los de martillos se obtienen a partir del tubo 2in y 5/8in correspondientemente, los mismos que fueron seleccionados en el capítulo anterior.



Figura 3.11 Corte de los separadores

Los separadores de discos y martillos se cortan en la máquina cortadora de metal como se ve en la figura 3.11. Para un mejor acabado en la superficie de corte de los separadores de discos, se desbasta los filos en el torno.

3.1.8. Estructura

Del ángulo estructural de 2 in se cortan secciones de 76 cm, 40 cm, 25 cm de longitud, estas partes se unen mediante el proceso de soldadura para formar la estructura como se ve en la figura 3.12.



Figura 3.12 Construcción de la estructura

3.1.9. Tolva de alimentación

De la plancha de acero ASTM A-36 de 2mm de espesor se construye la tolva de alimentación de acuerdo a la geometría y medidas establecidas anteriormente.

Para la construcción de la tolva se utiliza la plegadora de planchas metálicas para dar la forma de final de la tolva.

3.1.10. Tolva de descarga

Para la construcción de la tolva de descarga se utiliza la plancha de acero ASTM A-36 de 4 mm de espesor, se cortan las placas con el equipo de corte por plasma y se sueldan las partes tomando en cuenta la geometría establecida en el diseño.

3.2. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO DE MARTILLOS

El montaje del molino cuenta con varias etapas que consisten en el montaje del armazón del molino, del sistema de trituración, sistema de transmisión por bandas y la implementación del sistema eléctrico.

3.2.1. Montaje del armazón

La tapa del molino estará unida al bastidor por una bisagra, la misma que permitirá abrir y cerrar el molino, esta característica permitirá un fácil acceso del operario en caso de mantenimiento.

La bisagra se encuentra soldada en la tapa del molino (cara de la sección semicircular) y el bastidor, el pasador de la bisagra es un perno de 5/8 in (ver figura 3.13).



Figura 3.13 Montaje de la tapa del molino y el bastidor

En el bastidor se colocan los soportes para las chumaceras por medio de soldaduras, estos soportes se obtienen del ángulo estructural L 2x2 in, además se mecaniza el orificio para el eje principal, la mitad del orificio se mecaniza en el bastidor y la otra mitad en la tapa. Este corte circular se realiza en las dos caras laterales.

Los orificios deben estar correctamente localizados y a la misma altura de esto dependerá la correcta alineación del sistema de trituración.

Para el montaje del bastidor sobre la estructura y de la tolva de descarga en el bastidor se utiliza el proceso de soldadura.

Finalmente se coloca la tolva de alimentación, este elemento va unido a la tapa del molino como se ve en la figura 3.14, es necesario tomar en cuenta el ángulo mínimo de inclinación que debe tener la tolva de descarga.

La parte estética del molino también es una característica importante, por lo tanto, ciertos cordones de soldadura e imperfecciones presentes, son esmeriladas y cubiertas con macilla, de esta forma se obtiene una superficie uniforme.



Figura 3.14 Ensamble del armazón del molino

3.2.2. Montaje del sistema de trituración

Sobre el eje principal se colocan los discos y separadores de discos de forma alterna, se ajustan las tuercas en las roscas del eje y se realiza un cordón de soldadura entre la tuerca y el disco, de esta manera queda sujeto el sistema de transmisión al eje principal. Los separadores de discos se sujetan a los discos por medio de cordones de soldadura.

Posterior a esto se colocan las chumaceras en el eje principal y se ensambla el eje principal en el bastidor. Las chumaceras se deben colocar

en las bases laterales del bastidor tomando como referencia la semicircunferencia mecanizada en el bastidor.



Figura 3.15 Ensamble del sistema de trituración

Nota: Es importante la alineación correcta del eje de esto dependerá el buen funcionamiento del molino, y que no existan vibraciones considerables.

Una vez que se encuentre correctamente alineado el eje se ensambla los ejes secundarios, martillos y separadores de martillos tomando en cuenta las características preestablecidas en el capítulo anterior.

3.2.3. Montaje sistema de transmisión por bandas

Para el montaje del sistema de transmisión (ver figura 3.16), se construye una base en la estructura del molino para colocar el motor, esta base está construida con ángulo estructural L 2x2 in. Se colocan las poleas motriz y conducida en el eje del motor y el eje del molino respectivamente, una vez que se encuentren correctamente alineadas las poleas se colocan las bandas de transmisión. El tensado de las bandas debe ser el adecuado de ello depende la vida útil de estos elementos.

Finalmente por seguridad para las personas, se construye y coloca un protector que cubre el sistema de transmisión.



Figura 3.16 Montaje del Sistema de transmisión

3.2.4. Implementación del sistema eléctrico

En el gabinete de control se realiza la implementación del circuito de control ON – OFF manual con sus respectivas protecciones y accesorios, las mismas que fueron seleccionados en el capítulo 2. (Ver figura 3.17).



Figura 3.17 Implementación del sistema eléctrico

Nota: El sentido de giro del motor es importante y debe ser en sentido horario.

3.3. FUNCIONAMIENTO DEL MOLINO DE MARTILLOS

Una vez concluido el proceso de construcción del molino de martillos se realizarán pruebas de funcionamiento de la máquina, para estas pruebas se utilizará morochillo.

3.3.1. Funcionamiento del sistema de trituración

Al poner en funcionamiento el molino e ingresar el grano a la cámara de molienda se comprobó:

- Que el diseño de los martillos en cuanto a su geometría, masa y dimensiones es el adecuado, ya que a la velocidad angular $w = 3000 \text{ rpm}$ (velocidad del molino) los martillos trituran fácilmente los granos de morochillo.
- La distancia de los separadores de martillo que se estableció (16 mm) es adecuada, puesto que posterior a la trituración no se presenta acumulación de producto entre los martillos.
- No se presentó vibraciones ni ruido excesivo, esto se debe a que existe una correcta alineación y balaceo de los elementos como: discos, ejes secundarios, entre otros, y a que el eje principal se encuentra correctamente centrado.
- Al triturar granos secos se genera necesariamente cierto porcentaje de harina, una parte de esta se queda en el conducto de salida, por lo que es necesario de una limpieza continua.

3.3.2. Funcionamiento del sistema de transmisión

El funcionamiento del sistema de transmisión no presenta problemas como vibraciones o ruido excesivo, las poleas se encuentran correctamente alienadas y las bandas con un adecuado tensado.

Por su parte la potencia dimensionada del motor es correcta, ya que no presenta problemas para vencer la inercia del sistema de trituración y triturar el producto.

3.3.3. Funcionamiento de la estructura

Al poner en funcionamiento el molino, se comprueba que la estructura es fija y estable, no presenta vibraciones ni problemas al igual que el bastidor y tapa del molino.

En cuanto a la tolva de alimentación, el ángulo de inclinación al que se colocó es correcto, ya que el grano entero que ingresa se desliza sin mayor problema, por su parte la tolva de alimentación no evacua por completo el producto de salida especialmente la harina que se genera, por lo que es importante que al terminar el ciclo de trituración se recojan los residuos del conducto de salida.

3.3.4. Pruebas de granos triturados

Para realizar las pruebas se trituró morochillo, y se utilizó la criba para triturado medio y grueso para así notar la diferencia.

La apertura de la compuerta de flujo depende del tamaño del producto a ser triturado, si se la entrada de flujo es muy pequeña, la eficiencia del molino disminuye, por otro lado si la apertura de la puerta de regulación es muy grande, ingresará mucho producto y el motor se sobrecargará. Al tomar como prueba el grano de morochillo y después de varias pruebas se establece una apertura de 2,5 cm.

Al poner en funcionamiento el molino, se puede observar que no existen problemas para triturar el grano, y es notoria la diferencia entre el grano triturado grueso y el medio. Existe presencia de polvo debido al proceso de trituración de grano seco, por ello es necesario utilizar mascarilla. Los resultados son satisfactorios y se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Pruebas en el molino de martillos

MOROCHILLO	DESCRIPCIÓN
	<p>Grano entero de morochillo, el grano se encuentra seco y se coloca en la tolva de alimentación.</p>
	<p>Morochillo triturado de grosor medio, para obtenerlo se utilizó la criba 1/4 in.</p>
	<p>Morochillo triturado grueso, para obtenerlo se utilizó la criba 3/8 in.</p>

3.4. Manual de Usuario y Plan de Mantenimiento

El manual de usuario y mantenimiento se presenta en el anexo E.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero en este proyecto tiene como finalidad conocer si es viable invertir en la construcción de un molino de martillos para triturar granos para alimentación de aves de corral, comparado con el costo que implica la trituración del grano en una molienda ajena.

4.1. ANÁLISIS DE COSTOS

Los costos en este caso están relacionados con el valor de la inversión inicial de la máquina. Para éste análisis se plantea dos tipos de costos: directos e indirectos, los mismos que se detallan a continuación.

4.1.1. Costos directos

Los costos directos están relacionados con los materiales utilizados para la construcción del molino, así como la mano de obra para el montaje de la máquina, mecanizado de elementos, etc.

a. Costos de materiales

Los costos de materiales que se detallan en la tabla 4.1 y 4,2, están relacionados con todos aquellos elementos que forman parte de la máquina tanto en el sistema mecánico como en el sistema eléctrico.

Tabla 4.1 Costos de elementos del sistema mecánico

ELEMENTOS MECÁNICOS

Cant.	Elemento	Descripción	Material	Costo p/u	costo total
2	Plancha de acero (mm)	1220x2440x4	ASTM A-36	98	98
		1220x2440x2	ASTM A-36	45,9	45,9
1	Ángulo estructural (in)	L2 x 2 x ¼	ASTM A-36	32	32
1	Platina	3/16 x 1 1/2 in	ASTM A-36	8,5	8,5
1	Platina	3/16 x 1 1/2 in	ASSAB DF-2	216	216
1	Tubo	1 1/2 in	ASTM A-36	9	9
2	Eje	Ø 5/8 in x 47 cm	AISI 1018	18,5	18,5
		Ø 1 1/2 in x 1m	AISI 1018	4	4
2	Bandas de transmisión	A – 45	-	3,25	6,5
2	Polea (in)	2 canales Tipo A Ø 6	Aluminio	9,6	9,6
		2 canales Tipo A Ø 3 1/2	Aluminio	4,5	4,5
1	Motor	WEG 1Ø 220 V 5HP 1750 RPM	-	630	630
2	Chumaceras	P 208 RBN	Hierro fundido	15	30
Total Σ					1111,34

Tabla 4.2 Costos de elementos del sistema eléctrico

ELEMENTOS ELÉCTRICO				
Cant.	Elemento	Descripción	Costo p/u (USD)	costo total (USD)
1	Relé Térmico	LG GTK 24-36 A	26,66	26,66
1	Contactador	LG GMC 32- 220V	33,94	33,94
2	Fusible	Cilíndrico Camsco 40 A	0,3	0,6
2	Base fusible	Camsco 40 A	2,17	4,34
1	Termo- magnético	Schneider electric k32 2P 32 A	8,34	8,34
2	Pulsador	Camsco monoblock (rojo, verde)	1,57	3,14
1	Pulsador	Emergente con retención.	2,52	2,52
2	Luz piloto	CAMSCO 220v (rojo, verde)	1,69	3,38
12	Conductor (mts.)	Flexible AWG 10	1,028	12,336
10	Conductor (mts.)	Flexible AWG 14	0,42	2,52
1	Caja de control	30x30x15 cm	28	28
1	Contacto auxiliar	1 NO-1NC	4,92	4,92
			Total Σ	130,69

b. Costos de maquinado

Los costos de maquinado están relacionados con el costo que implica el mecanizado de elementos que lo requieren (incluye mano de obra y alquiler de máquinas), en las diferentes máquinas herramientas utilizadas.

Tabla 4.3 Costos directos de Maquinado

N°	Máquina	Costo de Maquinado / h	Número de horas	Costo Total (USD)
1	Torno	10	15	150
2	Taladro pedestal	4	3	12
3	Corte por plasma	8	8	64
4	Soldadora SMAW	5	20	100
5	Dobladora de láminas	5	2	10
6	Amoladora	3	4	12
7	Cortadora	3	1	3
			Total Σ	351

Fuente: Taller mecánico INMAC, valores correspondientes a 25/ 01/2014.

c. Costos de Montaje

En los costos de montaje se incluye el costo de la mano de obra para el montaje y ensamble del molino de martillos, tanto el sistema mecánico como el sistema eléctrico.

Para el ensamble mecánico de la máquina se requiere de 2 personas por 5 días, mientras que para el sistema eléctrico 1 persona 1 día como se detalla en la tabla 4.4. El valor de la mano de obra por día de acuerdo al salario básico del 2014 es de 17 dólares.

Tabla 4.4 Costo directo por Montaje del Molino

Ensamble del Sistema	# personas	Costo de mano de obra / día	Número de días	Costo Total
Mecánico	2	17	5	170
Eléctrico	1	20	1	20
			Total Σ	190

4.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos implica todos aquellos valores que no están relacionados directamente con la construcción de la máquina pero que si intervienen en el proceso.

a. Costos de materiales

Los costos de materiales indirectos que se detallan en la tabla 4.5 están relacionados con materiales que se utilizan en la máquina, pero que no intervienen en el funcionamiento de la máquina.

Tabla 4.5 Costos de materiales indirectos

N°	Elemento	C/U (USD)	Cantidad	Total (USD)
1	Pintura esmalte (litros)	4	1	4
2	Extras	-	-	5
3	Canaleta	4	1	4
4	Riel	4	1	4
			Total Σ	17

b. Gastos imprevistos

Los gastos imprevistos están relacionados con la movilización para la adquisición de los diferentes elementos así como su transporte. La construcción de la máquina se realizó en un tiempo aproximado de 8 semanas, con lo que se establece 100 dólares en gastos imprevistos.

4.2. INVERSIÓN DE LA MÁQUINA

Una vez realizado el análisis de costos directos e indirectos en la tabla 4.6 se obtiene el costo de la inversión inicial del molino de martillos.

Tabla 4.6 Inversión de la Máquina

Costos	Componente del costo	Costo (USD)
Directos	Materiales	1242,036
	Maquinado	351
	Montaje	190
Indirectos	Materiales	17
	Gastos Imprevistos	100
Σ Inversión Total		1900,036

4.3. ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN DEL MOLINO DE MARTILLOS APLICADO EN GRANJAS AVÍCOLAS [18]

El análisis financiero es muy importante ya que nos dará a conocer si es viable invertir en la construcción de un molino de martillos para ser utilizado en granjas avícolas, este análisis se realizará mediante los indicadores financieros como: TMAR (Tasa mínima atractiva de rendimiento), VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno), PRI (Período de Recuperación de la inversión), B/C (Beneficio costo).

Cuadro 4.1 Criterios para el análisis financiero

Criterio	Aceptación	Rechazo
VAN	> 0	< 0
TIR	> TMAR	< TMAR
PRI	< 5 años	> 5 años
B/C	> 1	< 1

Fuente: Costales Gavilanes B.2003

El análisis financiero se realiza en base a los criterios presentes en el cuadro 4.1.

4.3.1. Flujo de caja

En el flujo de caja intervienen los ingresos y egresos del proceso. Los ingresos del proceso se establecen en base al ahorro que se tiene al triturar granos en una molienda ajena a la granja avícola de pollos camperos.

En una molienda ajena el costo por trituración de granos varía de acuerdo al producto, un promedio de este costo es de 2,5 USD por quintal triturado (este valor incluye costos de transporte), este dato fue obtenido de los comerciantes de granos de la ciudad de Latacunga.

En el capítulo 2 se estableció que para una granja avícola de 500 pollos camperos se necesitan aproximadamente 145 quintales de alimento cada 84 días.

De acuerdo a estas consideraciones cada 3 meses, el ahorro es de $145 \times 2,5 = 362,5$ USD (este valor no incluye gastos, los mismos que se detallaran más adelante).

Una vez que se conoce el ahorro de no triturar el grano en una molienda ajena, se calculará el costo de la energía eléctrica que consume el molino para triturar 145 quintales.

$$P = V_n \times I_n$$

$$P = 220 V \times 22,2 A$$

$$P = 4,884 Kw$$

La capacidad del molino es de $10 \frac{qq}{h}$, para triturar 145 quintales se requiere de aproximadamente 15 horas de trabajo.

$$P = 4,884 Kw \times 15 h$$

$$P = 73,26 Kw - h$$

$$USD = 73,26 Kw - h \times \frac{0,08 USD}{kw - h}$$

$$USD Kw - h = 5,86 USD$$

Otro egreso que se considera en el flujo de caja es la depreciación de la máquina. El tiempo de depreciación para maquinaria es de 10 años, y se estima un valor residual del 26%.

$$D = \frac{I - VR}{\# \text{ años}} \quad (4.1)$$

En donde:

D: Depreciación de la máquina

I: Inversión inicial de la máquina

VR: Valor residual

$$D = 140 \frac{USD}{\text{año}}$$

Tabla 4.7 Flujo De Caja

FLUJO DE CAJA						
CONCEPTO	NÚMERO DE PERÍODOS EN AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS						
Ahorro	-	1450	1450	1450	1450	1450
EGRESOS						
Consumo						
energía eléctrica	-	23,44	23,44	23,44	23,44	23,44
Mano de obra	-	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5
Mantenimiento	-	20	100	20	100	20
Depreciación	-	140	140	140	140	140
Inversión Inicial	1900					
TOTAL	-1900	1139,06	1059,06	1139,06	1059,06	1139,06

4.3.2. Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)

El TMAR como su nombre lo indica es la tasa mínima que debe tener de rendimiento el proyecto tomando en cuenta factores como la tasa de interés pasiva, la tasa de inflación anual y el porcentaje del riesgo país.

El TMAR es la sumatoria de los porcentajes del riesgo país ($rp = 7,93 \%$), la tasa de inflación anual ($ti = 2,76 \%$) y la tasa de interés pasiva ($tip = 4,53 \%$).

$$TMAR = \%rp + \% ti + \% tip \quad (4.2)$$

$$TMAR = 15,22 \%$$

4.3.3. Valor actual neto (VAN)

El VAN es una herramienta financiera que permite dar una valoración de una inversión en función de los flujos de caja actualizados, y se calcula con la ecuación 4.3

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + TMAR)^i} \quad (4.3)$$

El cálculo del VAN para el proyecto se realizó en el programa Excel como se indica en la figura 4.1:

Portapapeles		Fuente	Alineación	Número			
C17		=C14+VNA(C16;D14;E14;F14;G14;H14)					
A	B	C	D	E	F	G	H
1							
2	FLUJO DE CAJA						
3	CONCEPTO	NÚMERO DE PERÍODOS EN AÑOS					
4		0	1	2	3	4	5
5	INGRESOS						
6	Ahorro		1450	1450	1450	1450	1450
7	EGRESOS						
8	Gasto energía eléctrica		23,44	23,44	23,44	23,44	23,44
9	Mano de obra		127,5	127,5	127,5	127,5	127,5
10	Mantenimiento		20	100	20	100	20
11	Depreciación		140	140	140	140	140
12	Inversión Inicial	1900					
13							
14	TOTAL	-1900	1139,06	1059,06	1139,06	1059,06	1139,06
15							
16	TMAR	0,1522					
17	VAN	\$ 1.792,85					

Figura 4.1 Cálculo del VAN en Excel

Según los criterios planteados anteriormente, el proyecto es aceptable o factible si es $VAN > 0$, en este caso se cumple este criterio $VAN > 1792,85$, por lo tanto es factible ejecutar el proyecto ya que tendrá una utilidad de 1792,85 USD.

4.3.4. Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR de una inversión está definido como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) es igual a cero, y muestra el porcentaje máximo de ganancia que se aspira obtener si se ejecuta el proyecto en las mejores condiciones.

Para el cálculo de la TIR se debe utilizar el valor total de la inversión y los flujos netos de efectivo como se indica en la ecuación 4.4:

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + TIR)^i} \quad (4.4)$$

El cálculo del TIR para el proyecto se realizó en el programa Excel como se indica en la figura 4.2.

C18		=TIR(C14:H14;C16)						
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	FLUJO DE CAJA							
3			NÚMERO DE PERÍODOS EN AÑOS					
4	CONCEPTO		0	1	2	3	4	5
5	INGRESOS							
6	Ahorro			1450	1450	1450	1450	1450
7	EGRESOS							
8	Gasto energía eléctrica			23,44	23,44	23,44	23,44	23,44
9	Mano de obra			127,5	127,5	127,5	127,5	127,5
10	Mantenimiento			20	100	20	100	20
11	Depreciación			140	140	140	140	140
12	Inversión Inicial		1900					
13								
14	TOTAL		-1900	1139,06	1059,06	1139,06	1059,06	1139,06
15								
16		TMAR	0,1522					
17		VAN	\$ 1.792,85					
18		TIR	51%					
19								

Figura 4.2 Cálculo del TIR en Excel

De acuerdo a los resultados obtenidos, se considera que la inversión es aceptable ya que el TMAR (15,22%) es menor al TIR (51%). 51 % representa el porcentaje máximo de ganancia que se aspira obtener en las mejores condiciones.

4.3.5. Período real de recuperación de la inversión (PRI)

El PRI determina en cuanto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente, es decir, nos revela la fecha en la cual se cubre la inversión inicial en años, meses y días, para calcularlo se utiliza la ecuación 4.5.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d} \quad (4.5)$$

En donde:

a : Año inmediato anterior en el que se recupera la inversión

b : Inversión inicial

c : Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión

d : Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión

Tabla 4.8 Flujos de caja acumulados

Años	Flujos de caja	Flujos de caja acumulados
0 Inversión Inicial	1900	
1	988,59	988,59
2	797,75	1786,34
3	744,67	2531,01
4	600,91	3131,92
5	560,93	3692,85

Datos:

$$a = 2$$

$$b = 1900$$

$$c = 1786,34$$

$$d = 744,67$$

Cálculo PRI según la ecuación 4.5:

$$PRI = 2 + \frac{(1900 - 1786,34)}{744,67}$$

$$PRI = 2 + 0,1526$$

$$PRI = 2,015$$

Cálculo de días:

$$2,015 \text{ años} - 2 \text{ años} = 0,015$$

$$0,015 \times 30 \text{ días} = 4,5$$

$$4,5 = 5 \text{ días}$$

Por lo tanto el período de recuperación real de la inversión es 2 años y 5 días, esto a su vez es viable puesto que el PRI es menor a 5 años.

4.3.6. Relación Beneficio/Costo (B/C)

La relación beneficio/costo nos representa la rentabilidad en términos del valor presente neto, que origina el proyecto por cada dólar invertido. La fórmula para calcular esta relación es la siguiente:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Flujo acumulado por el proyecto}}{\text{Inversión}} \quad (4.6)$$

$$B/C = \frac{3692,85}{1900}$$

$$B/C = 1,9436$$

El flujo de caja acumulado para el proyecto es casi el doble de la inversión por lo tanto se considera que existe un gran beneficio vs el costo que representa el proyecto. La relación beneficio/costo es mayor que uno por lo tanto el proyecto es aceptable.

El resumen de los indicadores financieros calculados se presenta en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Resultados del análisis financiero

Técnica de Evaluación	Criterio	Resultado
VAN (USD)	1792,85 > 0	Aceptable
TIR > TMAR (%)	51 > 15,22	Aceptable
PRI < 5 (años)	2 < 5	Aceptable
B/C > 1	1,94 > 1	Aceptable

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó los diferentes elementos mecánicos que forman parte del molino de martillos, el diseño se realizó tomando en cuenta factores económicos, de seguridad, eficiencia y manufactura práctica.
- El diseño del molino de martillos realizado, da como resultado la producción de 10 quintales por hora de morochillo triturado, de tamaño grueso y medio, siendo ésta la capacidad preestablecida al inicio del proyecto.
- Según el análisis financiero realizado, el proyecto de la construcción de un molino de martillos para granjas avícolas, sí es viable y ayudará en la reducción de costos de producción de las aves, la inversión se recuperará en 2 años.
- El molino diseñado en este proyecto tiene como finalidad, triturar granos para consumo animal; no está apto para consumo humano; si se deseara utilizar para consumo humano se debería utilizar acero inoxidable como material primordial en su construcción.
- El molino de martillos diseñado, se encuentra apto para triturar cualquier tipo de producto, que tenga similares características al grano de morochillo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para el diseño de los elementos del molino de martillos se estableció un factor de seguridad mínimo de 3; para producción a gran escala de

molinos de martillos, se recomienda que el factor de seguridad de los elementos diseñados se reduzcan a 3, esto ayudaría a minimizar costos de producción.

- La trituración de granos secos, genera determinada cantidad de harina, la misma que no siempre es aprovechada al máximo; por lo cual se recomienda implementar un sistema de absorción de harina, que puede ser acoplado al motor del molino.

BIBLIOGRAFÍA

- [2] V. Hopp, Fundamentos de Tecnología Química, Madrid: Reverté S.A, 2005.
- [3] J. Ortiz Cañavate, Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación, España: Undiprensa, 2003.
- [6] C. Hall y F. Salas Arango, Equipo Para Procesamiento de Productos Agrícolas, Lima: IICA, 1968.
- [7] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Pearson S.A, 2006.
- [8] D. Walter, Manual Tecnológico del cemento, Barcelona: Reverté S.A, 2003.
- [9] L. Estrella Flores y B. Fonseca Cuenca, Repotenciación, Construcción, Montaje y Pruebas de una Planta de Balanceado de la Comunidad Valle del Anzú, Riobamba, 2009.
- [11] R. Cuadrado Moncayo y J. Rueda Castillo, Diseño y Construcción de un Molino de Martillos, Quito, 2009.
- [18] B. Costales, Diseño, Elaboración y Evaluación de Proyectos, Quito: Agil Print, 2003.

NETGRAFÍA

- [1] V. Garzón Albarracín, «Engormix,» 07 09 2010. [En línea]. Available: <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/soya-principal-fuente-proteina-t3104/141-p0.htm>. [Último acceso: 02 09 2013].
- [4] G. Álvarez, «Factibilidad de Aplicación Bluetooth a Sensor de Desgaste,» [En línea]. Available: http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo323/2s06/projects/GerardoAlvarez/proyecto_final.html. [Último acceso: 09 09 2013].

- [5] Feedmachinery, «Molinos de Martillos,» 2013 02 2013. [En línea]. Available:http://www.feedmachinery.com/glossary/equipment/hammer_milli/. [Último acceso: 15 09 2013].
- [10] R. Mirales Palomares, «Teoría de Fallas y sus Aplicaciones,» [En línea]. Available: <http://eprints.uanl.mx/1296/1/1020070631.PDF>. [Último acceso: 04 10 2013].
- [12] Anónimo, «Diseño Molino de Martillos,» 16 08 2013. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/160802218/Diseno-Molino-de-Martillos-para-granos-de-Maiz>. [Último acceso: 13 10 2013].
- [13] DUNLOP, «Correas de Transmisión Industrial,» [En línea]. Available: http://www.dunlop.com.ar/catalogos/Catalogo_Correas_industriales.pdf. [Último acceso: 15 11 2013].
- [14] «Rodamientos,» 2010. [En línea]. Available: <http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/RODAMIENTOS.pdf>. [Último acceso: 15 11 2013].
- [15] C. Alvarado Zúñiga, «ARMAZONES O BASTIDORES PARA MÁQUINAS Y ESTRUCTURAS,» [En línea]. Available:https://docs.google.com/document/d/1Apddpf84J__Ru3Tirw1B5_dPkWIhFgXQYZQQ1Xk6Ool/edit?hl=en_US&pli=1. [Último acceso: 20 12 2013].
- [16] V. López Fuentes y A. Viteri Morales , «Aplicación de Fusibles e Interruptores Termo Magnéticos,» 2010. [En línea]. Available: http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-90818.pdf. [Último acceso: 06 01 2014].
- [17] Schneider, «Diálogo Hombre Máquina,» [En línea]. Available: http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo05_1907.pdf. [Último acceso: 10 01 2014].

Latacunga, Mayo 2014.

El presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por:

DIANA CAROLINA BERMEO MARTÍNEZ

APROBADO POR:

ING. WILSON SÁNCHEZ O.

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO POR:

DR. RODRIGO VACA

SECRETARIO ACADÉMICO.