



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE BRIQUETAS DE ASERRÍN

AUTOR: CÉSAR SEBASTIAN ESPINOSA SILVA

DIRECTOR: ING. ZAMIR MERA

IBARRA – ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

DATOS DEL CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD	1002892394		
APELLIDOS Y NOMBRES	ESPINOSA SILVA CESAR SEBASTIAN		
DIRECCIÓN	RIO QUININDE Y TOBIAS MENA		
EMAIL	espinosa.sebastian91@gmail.com		
TELEFONO FIJO	2641562	TELEFONO MOVIL	0987944287
DATOS DE LA OBRA			
TITULO	CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE BRIQUETAS DE ASERRÍN		
AUTOR	ESPINOSA SILVA CESAR SEBASTIAN		
FECHA			
PROGRAMA	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA		
DIRECTOR	ING. ZAMIR MERA		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Cesar Sebastián Espinosa Silva, con cédula de identidad Nro.100289239-4, en calidad de autor (a) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (a) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes Junio del 2016.

Firma:



Nombre: Cesar Sebastián Espinosa Silva

Cedula: 1002892394



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Cesar Sebastián Espinosa Silva, con cédula de identidad Nro. 100289239-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE BRIQUETAS DE ASERRÍN, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 10 días del mes Junio del 2016.

Firma

Nombre: Cesar Sebastián Espinosa Silva.

Cedula: 1002892394



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

CERTIFICO QUE:

Que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera en Mecatrónica con el tema **CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE BRIQUETAS DE ASERRÍN**, ha sido desarrollada y terminada en su totalidad por la Sr. Cesar Sebastián Espinosa Silva, con cédula de identidad: 1002892394, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.

Atentamente.

Ing. Zamir Mera.

Director del Proyecto.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado salud y sabiduría para poder alcanzar todas las metas que me proponga y por haberme dado la familia maravillosa que tengo. Agradezco también a mi madre querida que con su amor, apoyo, consejo y motivación me alentó para que siguiera adelante con mi vida estudiantil.

A mi novia, mis hermanos, mis tías y abuelita que a lo largo de mi vida creyeron en mí, apoyándome y motivándome en mi formación académica.

A mi tutor el Ing. Zamir Mera que mediante sus conocimientos y consejos, me ayudó a realizar y culminar este proyecto.

Sebastián Espinosa Silva.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre Tereza Silva, quien es el pilar fundamental de mi vida; su tenacidad y lucha insaciable ha sido un ejemplo no solo para mí, sino para mis hermanos, y gracias a su consejo, esfuerzo y apoyo incondicional no me hizo desmayar en los momentos difíciles permitiéndome que siguiera adelante con mi vida estudiantil consiguiendo así culminar mi carrera profesional y una etapa más de mi vida, mamá gracias por darme una carrera para mi futuro todo esto te lo debo a ti, a mi abuelito Luis Silva que en paz descansa quien fue un de padre para mí y un modelo a seguir, a mi novia Layla Solis quien me apoyo y animó a seguir adelante en momentos de cansancio, a mis tías Margarita Silva y Lourdes Silva, a mi abuelita Teresa Gordillo y a mis hermanos Francisco Espinosa y Paul Espinosa quienes son muy importantes en mi vida.

Sebastián Espinosa Silva.

RESUMEN

El tema de tesis nace de uno de los problemas más grandes que afronta la humanidad, el consumismo. El ser humano en su afán de mejorar su calidad de vida ha ocasionado graves daños al medio ambiente contaminando las fuentes de agua, destruyendo la capa de ozono, pero sobretodo la tala indiscriminada de bosques.

Mediante el reciclaje y reutilización de materiales se trata de disminuir esta contaminación hacia el planeta, con lo que surge la idea de construir una máquina que transforme los desechos generados (el aserrín) en las pequeñas, medianas y grandes compañías madereras. El producto que se obtiene de dicha máquina son briquetas de aserrín que tienen la finalidad de remplazar a la leña como un combustible capaz de generar calor.

El propósito de construir una máquina briqueteadora es el poder reutilizar un desecho maderero que contamina nuestro ambiente mediante la fabricación de briquetas. Para la construcción de la máquina es indispensable conocer las características de la materia prima a utilizar, así como las diferentes maneras de compactar y aglutinar biomasa; una vez establecidos estos parámetros se procede a diseñar las diferentes partes que conforman la máquina, posteriormente se realiza las simulaciones antes de la construcción de las partes. Se realiza las instalaciones eléctricas y la implementación del sistema de control y corte, finalmente se realizan las pruebas del correcto funcionamiento de la máquina con la cual se comenzara a fabricar briquetas.

ABSTRACT

The thesis topic arises from one of the biggest problems facing humanity, "consumerism". Humans in their eagerness to improve their quality of life has caused serious damage to the environment contaminating water sources, destroying the ozone layer, but especially the indiscriminate felling of forests.

By recycling and reuse of materials, it is to reduce this pollution to the planet, which arises the idea of building a machine that transforms waste generated (sawdust) in small, medium and large logging companies. The product obtained from this machine are sawdust briquettes that are intended to replace wood as a fuel able to generate heat.

The purpose of building a briquetting machine is to reuse a timber waste pollutes our environment by briquetting. For the construction of the machine it is essential to know the characteristics of the raw materials to be used and the different ways to compact and bind biomass; once established these parameters it proceeds to design the different parts that conform the machine, the proper simulations are made before the construction of each part. Electrical installations and the implementation of the control system and cutting is done, finally tests of the correct operation of the machine with which it began to manufacture briquettes are made.

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	IV
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE	X
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INDICE DE ECUACIONES.....	XVIII
INDICE DE TABLAS	XXI
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.5. ALCANCE.....	3
CAPÍTULO II	5
MATERIA PRIMA Y PROCESOS DE BRIQUETEADO	5

2.1.	INTRODUCCIÓN AL BRIQUETEADO DE BIOMASA.....	5
2.2.	ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA (ASERRÍN)	6
2.3.	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ASERRÍN.....	7
2.4.	UTILIZACIÓN ACTUAL DEL ASERRÍN	7
2.5.	PROBLEMAS QUE PRODUCE EL ASERRÍN	8
2.6.	MATERIA PRIMA ADECUADA PARA EL BRIQUETEADO.....	9
2.6.1.	HUMEDAD.....	9
2.6.2.	TAMAÑO DE PARTÍCULAS	9
2.7.	BRIQUETEADO	9
2.7.1.	BRIQUETAS.....	10
2.7.1.1.	VENTAJAS DE LAS BRIQUETAS	11
2.7.1.2.	CARACTERÍSTICAS DE LAS BRIQUETAS	11
2.7.2.	PROCESO DE COMPACTACIÓN	13
2.7.2.1	TEMPERATURA EN EL PROCESO DE BRIQUETEADO.....	13
2.7.2.2	PRESIÓN DE COMPACTACIÓN	14
2.7.3.	TIPOS DE PROCESOS PARA FABRICAR BRIQUETAS.....	14
2.7.3.1.	ARTESANALES	15
2.7.3.2.	SEMI-INDUSTRIALES	15
2.7.3.3.	INDUSTRIALES	16
2.8.	TECNOLOGÍAS DE COMPACTACIÓN.....	16
2.8.1.	BRIQUETEADORAS DE PISTÓN (DENSIFICADO POR IMPACTO).....	17
2.8.2.	BRIQUETEADORAS DE TORNILLO (DENSIFICADO POR EXTRUSIÓN)	17
2.8.3.	BRIQUETEADORAS HIDRÁULICAS Y NEUMÁTICAS	18
2.8.4.	BRIQUETEADORAS DE RODILLOS	18
2.9.	MÉTODOS DE AGLUTINACION.....	18
2.9.1.	BRIQUETEADO CON AGLUTINANTE	19
2.9.1.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS AGLUTINANTES.....	19
2.9.2.	BRIQUETEADO SIN AGLUTINANTE	20
CAPÍTULO III.....		21
METODOLOGÍA		21
CAPÍTULO IV		25
COMPONENTES Y CÁLCULOS DE DISEÑO DE LA MÁQUINA.....		25
4.1.	SELECCIÓN DEL TIPO MÁQUINA BRIQUETEADORA	25
4.1.1.	FUNCIONES	25
4.1.2.	REQUISITOS DE DISEÑO	25
4.1.3.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	25

4.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA	31
4.2.1.	TOLVA.....	31
4.2.2.	GARGANTA DE ALIMENTACIÓN	32
4.2.3.	CILINDRO O CAMISA	32
4.2.4.	HUSILLO (TORNILLO).....	33
4.2.5.	MOTOR.....	33
4.2.6.	ESTRUCTURA	34
4.3.	FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	34
4.4.	DISEÑO DEL TORNILLO COMPACTADOR.....	34
4.4.1.	LONGITUD.....	34
4.4.2.	DIÁMETRO	35
4.4.3.	RELACIÓN LONGITUD/DIÁMETRO	35
4.4.4.	PASO DE LA ROSCA	35
4.4.5.	ÁNGULO DEL FILETE	35
4.4.6.	HOLGURA.....	36
4.4.7.	ANCHURA DEL FILETE.....	36
4.4.8.	PRODUCCIÓN DEL TORNILLO.....	37
4.4.8.1.	FLUJO DE ARRASTRE.....	37
4.4.8.2.	FLUJO DE PRESIÓN.....	38
4.4.8.3.	FLUJO DE PÉRDIDAS.....	38
4.4.8.4.	FORMA GEOMÉTRICA DE LA BOQUILLA	39
4.5.	CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR	40
4.5.1.	CORRECCIÓN DE LA POTENCIA	40
4.5.1.1.	PÉRDIDAS POR INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	40
4.5.1.2.	PERDIDAS EN MOTORES Y GENERADORES.....	41
4.6.	SISTEMA DE TRASMISIÓN DE POTENCIA.....	41
4.6.1.	POTENCIA DE DISEÑO.....	42
4.6.2.	SELECCIÓN SECCIÓN DE BANDA.....	42
4.6.3.	RELACIÓN DE VELOCIDADES	43
4.6.4.	DIÁMETROS DE LAS POLEAS	43
4.6.4.1.	DIÁMETRO DE LA POLEA CONDUCTORA	43
4.6.4.2.	DIÁMETRO POLEA CONDUCTIDA.....	43
4.6.5.	CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA	44
4.6.5.1.	DISTANCIA ENTRE LOS CENTROS.....	44
4.6.5.2.	LONGITUD DE LA BANDA	44
4.6.5.3.	ÁNGULO DE CONTACTO.....	45
4.6.5.4.	NÚMERO DE BANDAS.....	45
4.7.	CÁLCULO DE LAS FUERZAS EN LAS POLEAS	46
4.8.	DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN	47
4.8.1.	ANÁLISIS RESISTENCIA A LA FATIGA.....	51
4.8.1.1.	FACTOR DE SUPERFICIE	52
4.8.1.2.	FACTOR DE TEMPERATURA	52
4.8.1.3.	FACTOR DE CONFIABILIDAD	53
4.8.2.	FACTOR DE DISEÑO (N)	53

4.8.3.	CÁLCULOS DE DIÁMETROS DEL EJE.....	53
4.8.4.	DISEÑO DE LA CUÑA DE LA POLEA	55
4.9.	ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL TORNILLO.....	57
4.9.1.	MATERIAL DEL TORNILLO	58
4.10.	LONGITUD CUÑA DEL TORNILLO	59
4.11.	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	60
4.11.1.	RODAMIENTO B SOLICITACIÓN DINÁMICA.....	60
4.12.	DISEÑO DEL CILINDRO	62
4.12.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL CILINDRO	62
4.13.	SELECCIÓN PERFIL ESTRUCTURA	64
4.14.	DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA.....	66
4.15.	DISEÑO DE PERNOS PARA LA SUJECIÓN DE LAS JUNTAS	71
4.16.	SECCIÓN DE CORTE	75
4.16.1.	SECCIÓN DE CORTE IMPLEMENTADO	75
CAPÍTULO V		77
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL.....		77
5.1.	POTENCIA BANDAS CALEFACTORAS	77
5.1.1.	BALANCE DE ENERGÍA EN ESTADO TRANSITORIO	77
5.1.2.	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN.....	80
5.1.3.	INCREMENTO DE ENERGÍA INTERNA DE LA MATERIA PRIMA.....	82
5.2.	SELECCIÓN RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	83
5.3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	84
5.4.	SELECCIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA	85
5.5.	CONTROL ON-OFF	85
5.5.1.	CONTROL ON-OFF SIN HISTÉRESIS.....	86
5.5.2.	CONTROL ON-OFF CON HISTÉRESIS.....	86
5.5.3.	DESCRIPCION DEL SISTEMA IMPLEMENTADO	88
5.6.	SELECCIÓN ELEMENTOS DE SISTEMA DE CONTROL.....	88
5.6.1.	TERMOCUPLA	88
5.6.2.	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	89
5.7.	SISTEMA ELÉCTRICO.....	89
5.7.1.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DEL MOTOR	89
5.7.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	90

5.7.3.	DIMENSIONAMIENTO DE CONTACTORES DEL MOTOR Y RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	91
5.7.4.	DIMENSIONAMIENTO DE BREAKERS TERMOMAGNÉTICOS DEL MOTOR Y RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	93
CAPÍTULO VI.....		95
ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS Y PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA		95
6.1.	SIMULACIONES	95
6.1.1.	TORNILLO	95
6.1.2.	CILINDRO	100
6.1.3.	ESTRUCTURA	109
6.2.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	111
6.2.1.	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA MÁQUINA	112
6.2.1.1.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO.....	113
6.2.1.2.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL EJE DE TRANSMISIÓN..	113
6.2.1.3.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL CILINDRO.....	114
6.2.1.4.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE.....	114
6.2.1.5.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE LA TOLVA.	115
6.2.1.6.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA TOLVA	115
6.2.1.7.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE RODAMIENTOS	116
6.2.1.8.	DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	117
CAPÍTULO VII		119
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS.....		119
7.1.	CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ASERRÍN	119
7.2.	PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	119
7.3.	PRUEBA DE OBTENCIÓN DE BRIQUETAS	121
7.4.	PRUEBA DE PRODUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	124
7.5.	PRUEBA DE CORTE.....	125
7.6.	ANÁLISIS DE PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE CONSUMO	126
7.7.	ANÁLISIS DE TIEMPO DE ENCENDIDO Y PORCENTAJE DE RESIDUOS	128
7.8.	CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE VOLUMEN.....	130
7.9.	ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS.....	131
CONCLUSIONES		132

RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA.....	135
ANEXOS.....	138
Anexo A: MANUAL DE USUARIO.....	138
Anexo B	145
Anexo C	146
Anexo D	149
Anexo E.....	153
Anexo F.....	154
Anexo G	155
Anexo H	160
Anexo I.....	161
ANEXO J: PLANOS ELÉCTRICOS	164
ANEXO K PLANOS MECÁNICOS	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1 Tipos de tolvas.	31
Figura 4. 2 Garganta de alimentación tolva.....	32
Figura 4. 3 Tornillo o husillo.....	33
Figura 4. 4 Motor eléctrico.....	33
Figura 4. 5 Fuerzas en poleas	46
Figura 4. 6 Configuración eje-tornillo.....	47
Figura 4. 7 Relación de diámetros del tornillo	49
Figura 4. 8 Diagrama de momentos del eje.....	49
Figura 4. 9 Punto crítico del tornillo	57
Figura 4. 10 Estructura máquina.....	64
Figura 4. 11 Viga del motor.....	65
Figura 4. 12 Diagrama cortes y momentos viga del motor	65
Figura 4. 13 Modelo de tolva.....	67
Figura 4. 14 Dimensiones tolva.....	68
Figura 4. 15 Dimensiones secciones tolva.....	68
Figura 4. 16 Momento plancha tolva.....	70
Figura 4. 17 Sección transversal de la plancha.....	71
Figura 4. 18 Sección de corte	75
Figura 5. 1 Balance energético del cilindro.....	77
Figura 5. 2 Balance energético del tornillo.....	78
Figura 5. 3 Resistencia tipo abrazadera.....	84
Figura 5. 4 Elementos sistema de control.....	84
Figura 5. 5 Acción control On-Off	85
Figura 5. 6 Control On-Off sin Histéresis	86
Figura 5. 7 Control On-Off con Histéresis	87
Figura 5. 8 Termocupla tipo J.....	88
Figura 5. 9 Pirómetro digital	89
Figura 6. 1 Restricciones tornillo	95
Figura 6. 2 Aplicación de cargas en el tornillo.....	96
Figura 6. 3 Convergencia de esfuerzos.....	98
Figura 6. 4 Mallado del tornillo iteración 3.....	98
Figura 6. 5 Esfuerzos de tornillo	99

Figura 6. 6 Factor de seguridad tornillo	100
Figura 6. 7 Aplicación de cargas cilindro.....	101
Figura 6. 8 Mallado del cilindro	101
Figura 6. 9 Simulación temperatura de Cilindro t = 60s	102
Figura 6. 10 Simulación temperatura de Cilindro t = 180s	103
Figura 6. 11 Simulación temperatura de Cilindro t = 360s	103
Figura 6. 12 Simulación temperatura de Cilindro t = 540s	104
Figura 6. 13 Simulación temperatura de Cilindro t = 720s	104
Figura 6. 14 Simulación temperatura del Cilindro t = 930s	105
Figura 6. 15 Restricciones cilindro.....	105
Figura 6. 16 Aplicación de cargas del cilindro.....	106
Figura 6. 17 Mallado del cilindro	107
Figura 6. 18 Esfuerzo de von Mises del cilindro.....	108
Figura 6. 19 Desplazamientos del cilindro	108
Figura 6. 20 Factor de seguridad del cilindro.....	109
Figura 6. 21 Sujeción viga AB	109
Figura 6. 22 Aplicación de cargas a la viga AB	110
Figura 6. 23 Mallado viga.....	110
Figura 6. 24 Aplicación de cargas a la viga AB	111
Figura 6. 25 Diagrama de flujo construcción del tornillo.....	113
Figura 6. 26 Diagrama de flujo construcción del eje de transmisión	113
Figura 6. 27 Diagrama de flujo construcción del cilindro.....	114
Figura 6. 28 Diagrama de flujo construcción del molde	114
Figura 6. 29 Diagrama de flujo construcción de la base de la tolva.....	115
Figura 6. 30 Diagrama de flujo construcción de la tolva.....	115
Figura 6. 31 Diagrama de flujo construcción de la caja de rodamientos.....	116
Figura 6. 32 Diagrama de flujo construcción de la estructura.....	117

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4. 1 Relación L/D.....	35
Ecuación 4. 2 Angulo del filete.	35
Ecuación 4. 3 Holgura.	36
Ecuación 4. 4 Anchura del filete.	36
Ecuación 4. 5 Flujo volumétrico.....	37
Ecuación 4. 6 Flujo de arrastre.	37
Ecuación 4. 7 Flujo de presión.	38
Ecuación 4. 8 Flujo de pérdidas.....	38
Ecuación 4. 9 Forma geométrica de la boquilla.	39
Ecuación 4. 10 Potencia eléctrica.....	40
Ecuación 4. 11 Perdidas por instalaciones eléctricas	40
Ecuación 4. 12 Pérdidas en motores y generadores.....	41
Ecuación 4. 13 Potencia corregida	41
Ecuación 4. 14 Potencia de diseño	42
Ecuación 4. 15 Relación de velocidades	43
Ecuación 4. 16 Distancia entre centros.....	44
Ecuación 4. 17 Intervalo distancia entre centros	44
Ecuación 4. 18 Longitud de las bandas	44
Ecuación 4. 19 Ángulo de contacto	45
Ecuación 4. 20 Número de bandas.	45
Ecuación 4. 21 Torque polea conductora	46
Ecuación 4. 22 Torque polea conducida.....	47
Ecuación 4. 23 Fuerza de flexión	47
Ecuación 4. 24 Peso.....	48
Ecuación 4. 25 Fuerza axial.....	48
Ecuación 4. 26 Sección transversal del tornillo.....	48
Ecuación 4. 27 Esfuerzo cortante	50
Ecuación 4. 28 Esfuerzo normal.....	50
Ecuación 4. 29 Esfuerzo por flexión	50
Ecuación 4. 30 Esfuerzo de von Mises.....	51
Ecuación 4. 31 Formula energía de distorsión	51
Ecuación 4. 32 Limite resistencia a la fatiga	51
Ecuación 4. 33 Resistencia a la fatiga corregida	52

Ecuación 4. 34 Factor que modifica la superficie	52
Ecuación 4. 35 Diámetros del eje	53
Ecuación 4. 36 Factores de concentración de esfuerzos por fatiga	54
Ecuación 4. 37 Longitud de la cuña	55
Ecuación 4. 38 Profundidad del cuñero en el eje	56
Ecuación 4. 39 Profundidad del cuñero en el cubo	56
Ecuación 4. 40 Capacidad de carga dinámica	60
Ecuación 4. 41 Duración de diseño	61
Ecuación 4. 42 Carga dinámica equivalente.....	61
Ecuación 4. 43 Espesor pared cilindro	63
Ecuación 4. 44 Esfuerzo de diseño	63
Ecuación 4. 45 Modulo de sección estructura	66
Ecuación 4. 46 Volumen tolva	67
Ecuación 4. 47 Distancia al centro de presión.....	69
Ecuación 4. 48 Distancia al centro de gravedad.....	69
Ecuación 4. 49 Fuerza resultante.....	69
Ecuación 4. 50 Módulo se sección forma rectangular.....	71
Ecuación 4. 51 Área de esfuerzo a tracción del perno.....	71
Ecuación 4. 52 Fuerza externa.....	72
Ecuación 4. 53 Factor de seguridad contra separación de juntas	73
Ecuación 4. 54 Fuerza de apriete.....	73
Ecuación 4. 55 Constante elástica del perno	73
Ecuación 4. 56 Constante elástica de la junta.....	74
Ecuación 5. 1 Balance de energías	78
Ecuación 5. 2 Energía almacenada en el cilindro.....	78
Ecuación 5. 3 Energía que sale del cilindro.....	79
Ecuación 5. 4 Energía almacenada en el cilindro.....	79
Ecuación 5. 5 Estado transitorio	80
Ecuación 5. 6 Temperatura media de película.....	80
Ecuación 5. 7 Número de Grashof.....	81
Ecuación 5. 8 Número de Nusselt	81
Ecuación 5. 9 Numero de Nusselt convección libre.....	82
Ecuación 5. 10 Cantidad de calor agregado	82

Ecuación 5. 11 Corriente en los conductores del motor	90
Ecuación 5. 12 Corriente en los conductores de las resistencias.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Propiedades del aserrín.....	7
Tabla 4. 1 Pesos específicos de cada criterio.....	27
Tabla 4. 2 Peso específico del criterio capacidad de producción.....	27
Tabla 4. 3 Peso específico del criterio facilidad de trabajo.....	28
Tabla 4. 4 Peso específico del criterio adición de aglutinante.....	28
Tabla 4. 5 Peso específico del criterio densidad del producto.....	28
Tabla 4. 6 Peso específico del criterio proceso continuo.....	29
Tabla 4. 7 Peso específico del criterio mantenimiento.....	29
Tabla 4. 8 Peso específico del criterio control.....	29
Tabla 4. 9 Peso específico del criterio costo.....	30
Tabla 4. 10 Selección de alternativa.....	30
Tabla 4. 11 Valores de los diámetros del eje.....	55
Tabla 4. 12 Dimensiones de la cuña y cuñeros de la polea.....	56
Tabla 4. 13 Propiedades del material del tornillo.....	59
Tabla 4. 14 Dimensiones de la cuña y cuñeros del tornillo.....	59
Tabla 4. 15 Propiedades acero A36.....	66
Tabla 4. 16 Medidas tolva.....	67
Tabla 4. 17 Cálculo de áreas y momentos de inercia.....	69
Tabla 5. 1 Variación de la temperatura.....	83
Tabla 6. 1 Detalles restricción del tornillo.....	96
Tabla 6. 2 Detalles aplicación de cargas tornillo.....	97
Tabla 6. 3 Convergencia de esfuerzos.....	97
Tabla 6. 4 Especificaciones malla del tornillo.....	99
Tabla 6. 5 Especificaciones malla del cilindro (E. Térmico).....	102
Tabla 6. 6 Detalles restricciones del cilindro.....	106
Tabla 6. 7 Especificaciones malla del cilindro (E. estático).....	107
Tabla 6. 8 Especificaciones malla del cilindro (E. estático).....	107
Tabla 6. 9 Detalles restricción viga.....	110
Tabla 6. 10 Especificaciones malla viga.....	111
Tabla 6. 11 Operaciones de mecanizado.....	112
Tabla 6. 12 Simbología de flujo gramas.....	112

Tabla 7. 1 Densidad del aserrín	119
Tabla 7. 2 Prueba tiempo-temperatura	120
Tabla 7. 3 Prueba obtención de briquetas (T=280°C)	122
Tabla 7. 4 Prueba obtención de briquetas (T=300°C)	122
Tabla 7. 5 Prueba obtención de briquetas (T=320°C)	122
Tabla 7. 6 Prueba obtención de briquetas (T=330°C)	123
Tabla 7. 7 Prueba obtención de briquetas (T=340°C)	123
Tabla 7. 8 Prueba obtención de briquetas (T=350°C)	123
Tabla 7. 9 Obtención briquetas (Observaciones).....	124
Tabla 7. 10 Producción de la máquina	125
Tabla 7. 11 Prueba corte briquetas	125
Tabla 7. 12 Datos iniciales para prueba.....	126
Tabla 7. 13 Resultados prueba de evaporación de agua con leña	126
Tabla 7. 14 Resultados prueba de evaporación de agua con briquetas	127
Tabla 7. 15 Resultados prueba de tiempo de consumo de leña	127
Tabla 7. 16 Resultados prueba de tiempo de consumo de briquetas	128
Tabla 7. 17 Resultados prueba de tiempo de encendido de leña	128
Tabla 7. 18 Resultados prueba de tiempo de encendido de briquetas	129
Tabla 7. 19 Resultados prueba de porcentaje de residuos con leña.....	129
Tabla 7. 20 Resultados prueba de porcentaje de residuos con briquetas.....	130
Tabla 7. 21 Reducción de volumen	130
Tabla 7. 22 Costos de producción por hora	131

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que ha enfrentado nuestra sociedad en los últimos tiempos es la generación excesiva de desechos causando la contaminación del medio ambiente por la inconciencia de los seres humanos al no manejar de una mejor forma dichos desechos y arrojarlos de manera indiscriminada hacia el medio ambiente.

La gran cantidad de madera que es utilizada hoy en día por parte de las industrias madereras como aserraderos, fábrica de muebles, carpinterías, entre otras, las cuales generan gran cantidad de aserrín, material considerado como desecho, el cual se convierte en un problema tanto para las industrias, los trabajadores y el medio ambiente si es arrojado de manera inadecuada, por lo que es necesario implementar maquinaria adecuada para reciclar dichos materiales y reutilizarlos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la aparición de las empresas o industrias madereras en nuestro país, y especialmente en la provincia de Imbabura, estas han generado gran cantidad de desperdicios como: viruta, aserrín, astillas, etc. Con el avance de la tecnología en los últimos años, han surgido máquinas-herramientas que han incrementado la cantidad de desechos producidos dentro de estas.

Hoy en día, el aserrín es acumulado dentro de los establecimientos que lo producen, lo que ocasiona una inadecuada organización del espacio físico en el interior de sus instalaciones, perdiendo espacio útil, a causa de dichos residuos. Los propietarios cuentan con la alternativa de regalar, expender o simplemente incinerar. El aserrín a la intemperie genera acumulación de polvo en el aire, siendo este una molestia para los trabajadores, produce riesgo de incendio y es una fuente de propagación de hongos y plagas.

Por lo tanto, en este trabajo, se realizará una máquina briqueteadora de aserrín, que permita reciclar este desecho, disminuir el espacio que ocupa, y generar una fuente de energía alternativa.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Reciclar el material de desperdicios madereros para la producción de briquetas mediante la construcción de una máquina briqueteadora de aserrín.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características de la materia prima a procesar.
- Definir el método de compactación y de aglutinación del aserrín más adecuado.
- Diseñar el sistema mecánico para la máquina briqueteadora de aserrín.
- Implementar el sistema de control de temperatura para la aglutinación del aserrín.
- Implementar el sistema de corte.
- Construir la máquina briqueteadora de aserrín.
- Realizar pruebas de funcionamiento y ajustes de la máquina.
- Elaborar un manual de uso y mantenimiento de la máquina.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la cantidad de aserrín ha aumentado considerablemente siendo un problema su almacenamiento, debido a que este material es considerado como desecho. Este proyecto dará una solución tecnológica para el reciclaje y reutilización de residuos madereros (aserrín), mediante la fabricación de briquetas de aserrín.

Mediante esta máquina se aprovechará y reutilizará de mejor manera estos residuos, ya que estos residuos son producidos y desechados en grandes cantidades ocasionando contaminación ambiental.

Con la elaboración de briquetas de aserrín, se disminuirá la tala de árboles para la obtención de leña. Además de mejorar el ambiente laboral de los trabajadores al reducir la acumulación de aserrín dentro de los establecimientos que lo producen.

1.5. ALCANCE

El presente proyecto se basa en la reutilización y reciclaje del aserrín mediante el proceso de briqueteado.

El proceso de briqueteado comenzará con el ingreso del aserrín a la tolva de alimentación. Posteriormente ingresará a un cilindro en donde será compactado. Para el proceso de compactación no se añadirá ningún aglutinante ya que se utilizará un sistema de calentamiento del cilindro para que la lignina del aserrín sirva como aglutinante natural; las briquetas serán cortadas a una longitud determinada.

Se utilizará un motor eléctrico que proporcionará el movimiento, resistencias eléctricas las cuales servirán para calentar el aserrín dentro del cilindro, un sensor de temperatura permitirá medir la temperatura, un tablero con botones de encendido, apagado y detención de emergencia de la máquina con sus respectivas seguridades.

La máquina fabricará briquetas cilíndricas con una capacidad aproximada de 80 kg/h, sin la adición de ningún aglutinante.

CAPÍTULO II

MATERIA PRIMA Y PROCESOS DE BRIQUETEADO

2.1. INTRODUCCIÓN AL BRIQUETEADO DE BIOMASA

“Los métodos industriales de briqueteado datan de la segunda parte del siglo XIX. Desde entonces el uso de las briquetas ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendida en Europa y América.” (Gallipoliti1 , Martina, Corace, Aeberhardt, & García Sola)

Después de la guerra, las briquetas fueron desplazadas por combustibles como los hidrocarburos. Durante los periodos de los 70 y principios de los 80 donde el precio de energía aumentó, el uso de briquetas surgió nuevamente principalmente en Escandinavia, EEUU y Canadá. Actualmente la tendencia es producir briquetas de bajo costo a partir de residuos forestales.

“En la actualidad la utilización de los residuos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, viruta, despuntes, entre otros, se almacena en grandes espacios físicos o se quema, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor.” (Soto & Núñez)

“Una de las maneras para utilizar los residuos madereros es convirtiéndolos en pellets o briquetas, conocidos también como biocombustibles sólidos densificados. Al fabricar y comercializar este tipo de combustibles, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente.” (Chillán, s.f.)

Uno de los principales problemas que muestra el aprovechamiento de residuos de biomasa forestales es su baja densidad, siendo un problema su almacenaje, transporte etc., para solucionar este problema se realiza un proceso para compactar estos residuos obteniéndose productos elaborados como briquetas, que tienen ventajas como la limpieza, homogeneidad y facilidad de manejo. (Ortiz Torres, 2008)

“Las briquetas o bloques sólidos son combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas” (Gallipoliti1 , Martina, Corace, Aeberhardt, & García Sola). Las briquetas son 100% ecológicas y renovable, debido a que están fabricadas de desechos

forestales; se fabrican en diferentes formas y tamaños, además remplazan a la a la leña tradicional con muchas ventajas como: mayor poder calorífico o igual, encendido rápido y fácil, contenido de humedad bajo, alta densidad, menor espacio de almacenamiento, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, y menor cantidad de cenizas. (Cyclopaedia, s.f.)

“En general, se utilizan residuos generados en industrias de la madera de primera y segunda transformación, puesto que los materiales residuales obtenidos tienen unas características en cuanto a granulometría y húmedas que los hacen susceptibles de compactación sin prácticamente ningún proceso de transformación secundario.” (Ortiz Torres, 2008)

En la provincia de Imbabura, el aserrín no tiene una comercialización importante o una aplicación específica, convirtiéndose en un problema de manejo por parte de las industrias madereras; la mayoría de usos son artesanales, como combustible, para limpieza, abandonos, entre otros, por la falta de propuestas tecnológicas para un mejor aprovechamiento. Por tanto este trabajo se enfoca en la reutilización de estos residuos madereros con el fin de darles un mejor uso mediante la fabricación de briquetas.

2.2. ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA (ASERRÍN)

El serrín o aserrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera, como el que se produce en un aserradero. “La madera se sierra por corte o desgarré de sus fibras mediante la acción continua de una serie de dientes uniformemente separados e inclinados en dos direcciones, uno a continuación de otro, destinados a moverse en planos de trabajos paralelos y bastante juntos. La acción de los dientes cortantes, produce un canal de anchura uniforme en toda la pieza, en lo que se desgarran y extraen los trozos de fibra o aserrín. Este residuo puede llegar a representar hasta el 15% de la producción total de madera procesada.” (Fonseca & Tierra T., 2011)

“El aserrín de madera se compone principalmente de fibras de CELULOSA unidas con LIGNINA. Según análisis, su composición aproximada es de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y un 2% de nitrógeno (N) asociado a otros elementos.” (Basaure, 2008)

2.3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ASERRÍN

Entre las características más importantes de aserrín se pueden distinguir las siguientes.

- Forma: Son partículas más o menos gruesas de diferentes formas como cuadradas rectangulares, triangulares entre otras.
- Tamaño: Su tamaño es variado, teniendo mayormente partículas menores a 5 mm.
- Aspecto: La superficie es rugosa. Su color depende de la especie de madera la que procede, usualmente blanco crema, amarillo o rojizo.

La siguiente tabla muestra las propiedades del aserrín.

Tabla 2. 1 Propiedades del aserrín

Fuente: (Ahn, Sauer, Richard, & Glanville, 2009)

Parámetro	Unidades	Valor
Densidad	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	200 - 350
Calor específico	$\left[\frac{J}{kg\ ^\circ K}\right]$	1400
Conductividad térmica	$\left[\frac{W}{m\ ^\circ K}\right]$	0,05

2.4. UTILIZACIÓN ACTUAL DEL ASERRÍN

Entre los usos que tiene el aserrín se tiene según (Fonseca & Tierra T., 2011):

EN LA AGRICULTURA:

- Como material de relleno.
- Para camas de animales en galpones o criaderos de aves, ganado, cerdos, etc.
- Como ayuda para el cultivo de plantas, utilizándolo en bajas proporciones.
- Como sustrato para abono orgánico.
- Como material para mantener la humedad del suelo en plantaciones.

EN LA INDUSTRIA:

- Como combustible para estufas, cocinas, calderas para obtener vapor o calentar hornos de secamiento.
- Para la elaboración de carbón activado.
- Para pirolisis y gasificación.
- Como ayuda para procesos de filtración de líquidos y limpieza de suelo.
- Para fabricación de ladrillos, briquetas, pellets, tableros aglomerados, pulpas, fertilizantes, etc.
- Como materia prima para obtención de papel.
- Como material aislante, adsorbente y de limpieza, para embalar paquetes.
- Para fabricación de monigotes.

EN LA CONSTRUCCIÓN:

- Para producir materiales diversos de construcción como masilla, aglomerados, etc.

2.5. PROBLEMAS QUE PRODUCE EL ASERRÍN

Uno de los residuos forestales de mayor impacto ambiental es el aserrín, siendo altamente contaminante para el medio ambiente. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), advierten sobre el impacto del aserrín como agente contaminante del suelo y agua.

En los aserraderos aún se puede observar la acumulación de aserrín, reduciendo el espacio disponible dentro de estos perdiendo la movilidad necesaria para la producción, además genera y acumula polvo en el aire, a más de emitir dióxido de carbono a la atmósfera teniendo como consecuencia problemas de salud para los trabajadores y demás personas como el asma, la bronquitis crónica, dermatitis, ronchas, cánceres pulmonares, gastrointestinales, y nasales; además la aglomeración de aserrín constituye un depósito para la propagación de gran cantidad de hongos y plagas.

2.6. MATERIA PRIMA ADECUADA PARA EL BRIQUETEADO.

La materia prima debe tener las condiciones apropiadas, dependiendo del tipo de proceso que se va a realizar. Los parámetros más importantes son los siguientes.

- Humedad
- Tamaño de partículas

2.6.1. HUMEDAD

Según (Fonseca & Tierra T., 2011), la humedad de la materia prima depende del tipo de proceso que se realizará, en el cual la mezcla debe tener humedades que sean mayores al 20% en el caso del proceso artesanal, del 15 al 20% en el semi-industrial y del 5 al 15% para el industrial.

2.6.2. TAMAÑO DE PARTÍCULAS

En la mayor parte de la materia orgánica se dificulta la compactación de forma directa, por esta razón las partículas del material orgánico deben tener un tamaño adecuado que permitan una correcta ubicación entre los espacios vacíos de la estructura, consiguiendo una mejor compactación y aspecto de la briqueta.

Para obtener un mejor acabado exterior de las briquetas las partículas deben tener un tamaño inferior a 3 mm (UAB UMP Technuka, s.f.). Generalmente la materia prima a procesar deberá contener partículas largas y cortas. La longitud inicial de la partícula dependerá del material, lo cual influye en el tipo de proceso que se vaya a realizar, seleccionar un adecuado tipo del dado y equipo, es decir que el tamaño de las partículas dependerá del tipo de la máquina y dado.

2.7. BRIQUETEADO

Es el proceso en el cual se obtiene briquetas al compactar o comprimir cualquier biomasa residual de forma manual o con la ayuda de máquinas obteniendo como resultado un bloque sólido.

2.7.1. BRIQUETAS

Las briquetas son productos de combustión sólido que se obtienen a partir de la compactación o densificación de residuos; son de alto poder calorífico y pueden remplazar a la leña o aceites combustibles, ya que tiene como materia prima biomasa lignocelulosa de origen forestal. Se fabrican bajo la aplicación de grandes presiones y elevadas temperaturas provocando el auto aglomeración de sus partículas, también bajo medianas o pequeñas presiones con la ayuda de un aglomerante para conseguir su compactación. Es un producto ecológico y renovable, catalogado como bioenergía sólida.

La materia prima para la fabricación de briquetas puede ser residuos forestales provenientes de aserraderos, fábricas de muebles, carpinterías, fábricas de tableros, fábricas de puertas, etc.; o también de biomasa residual industrial o urbana, carbón vegetal o una combinación de todas ellas.

El término briqueta, muchas veces puede ser confuso, debido a la variedad de materiales utilizados y los distintos tipos de compactación, ya que pueden o no hacer referencia a biocombustibles. Generalmente son utilizadas en el sector doméstico e industrial para la generación de calor o producción de energía, como en estufas, chimeneas, cocinas, hornos, calefactores entre otros.

Cuando para su fabricación se utilizan elementos lignocelulósicos, como la madera (aserrín), las temperaturas originadas durante la fase de compactación provoca un reblandecimiento de la lignina, de forma que después de su enfriamiento sirve como un aglomerante de las partículas. Esta acción aglomerante de la lignina a alta temperatura, permite que para la fabricación de briquetas con residuos forestales no sea necesario agregar ningún tipo de aglutinante. (Champs, 2008)

Las briquetas se han fabricado por los siguientes motivos:

- Para reutilizar la biomasa residual que producen calor en su combustión,
- Para aumentar la densidad de ciertos materiales combustibles.
- Para sustituir o eliminar algunos combustibles sólidos.

2.7.1.1. VENTAJAS DE LAS BRIQUETAS

Los residuos convertidos en briquetas tienen las siguientes ventajas. (Barreara)

- Es un combustible limpio.
- Con las briquetas se reduce el costo de almacenaje y transporte de los residuos madereros (aserrín, virutas, astillas), además al ser almacenados se convierte en un combustible seguro y el riesgo de que estas ardan por si mismas es mínimo durante su almacenaje.
- Son consideradas ecológicas, debido a que proviene de un recurso renovable.
- Su poder calorífico es mayor que la leña convencional, su valor se encuentra entre 4500 a 5000 kcal/kg. (Barreara)
- Tiene baja humedad y alta densidad, lo que hace que las briquetas ardan más lento teniendo mayor duración a comparación de la leña. (Barreara)
- No contiene ningún elemento tóxico y al quemarlas no emiten ningún olor o humo.
- Producen un 2.0% de ceniza, a diferencia de la leña que produce hasta más de un 10%. (Barreara)
- La humedad final que tienen es aproximadamente de un 8.0%, en comparación con la leña que sobrepasa el 40%. (Barreara)
- Son fabricadas de desechos forestales, lo que contribuye a la protección y limpieza del medio ambiente.
- Sirven para quemar en cualquier tipo de estufa doméstica o industrial, pizzerías, asadores de carne, fábricas de pan o calefacciones.
- Son fáciles de transportar y manipular.
- Las briquetas ayudan a reducir la deforestación para la obtención de leña.

2.7.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS BRIQUETAS

FORMA, TAMAÑO Y COLOR

“La forma de las briquetas es muy variada. Sin embargo, abundan las briquetas de forma cilíndrica. Con diámetros entre los 2 y 20 cm y longitudes entre los 15 y 50 cm. Otras formas usuales son las de prisma cuadrado o prisma hexagonal hueco. En otros casos las briquetas tienen forma de ladrillo.” (Martín)

Su forma puede ser muy variada y generalmente depende del tipo de máquina que se utiliza para su fabricación. En la actualidad la forma cilíndrica es la más utilizada para fabricarlas; sin embargo existen otras formas de briquetas como la octogonal, con un hueco redondo en la mitad para conseguir una ignición más rápida, también existe la forma rectangular, estas briquetas arden más despacio y ocupan menos espacio de almacenamiento en comparación a las cilíndricas y octogonales.

El color de las briquetas es igual al del material utilizado, en este caso aserrín, pero lo más llamativo es asemejarse al color de la leña para así cuando se utilicen parezca que arde leña.

DENSIDAD

La desventaja que tiene el uso de biomasa como combustible es la baja densidad que posee, por tal motivo es importante su densificación. La densificación de biomasa se define como la compresión o compactación del material para reducir los espacios entre las partículas.

Los factores que influyen en la densidad de las briquetas son:

- La materia prima empleada.- cuanto mayor sea la densidad de la materia prima utilizada mayor será la densidad del producto obtenido.
- La presión ejercida por la prensa en el proceso de fabricación.- la presión de compactación es variable dependiendo de la máquina utilizada.

HUMEDAD

La humedad de la briqueta depende del proceso de producción que se utilice. En proceso de compactado en el cual se utilice sistemas de calentamiento se suelen usar partículas secas (entre el 12% y 20%), durante la compactación las partículas se secan aún más, obteniendo un producto con una humedad entre el 8 - 10% (Barreara), además origina una fina capa plástica, de color negruzco, que impide la entrada de agua a la briqueta impidiendo que aumente su humedad y que su poder calorífico disminuya.

PODER CALORÍFICO

El poder calorífico depende de la composición del combustible, es decir será función del material del que estén fabricadas.

2.7.2. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Cuando se va a compactar material orgánico especialmente sin aglomerantes, son factores importantes la presión y la temperatura; la compactación acoge parámetros como: presión, fricción entre partículas, deformación, rompimientos celulares y aglutinamientos entre las partículas vecinas

La temperatura depende del tipo de briqueteadora que se utilice, además se relaciona con la presión debido al roce interno entre las partículas y con la pared del dado, en ocasiones se usan fuentes externas de calor (sistema de calentamiento) para formar las briquetas.

2.7.2.1 TEMPERATURA EN EL PROCESO DE BRIQUETEADO

Dentro de este proceso existen dos formas que ayudan al calentamiento de la materia prima, una de ellas se origina mediante la fricción de las partículas del material entre ellas o con las paredes del cilindro; la segunda se origina mediante la entrega de calor del sistema de calentamiento (resistencias eléctricas), facilitando el apareamiento de la lignina en la materia prima para la aglutinación de las partículas.

“La lignina es un sólido amorfo que no tiene punto de fusión, sino un punto de reblandecimiento. Cuando la temperatura sube alrededor de 70 a 110 °C se consigue aumentar la fuerza adhesiva de la lignina. Cuando se configura la temperatura adecuada (alrededor de 100 a 200°C), la lignina se reblandece y se torna líquida. En el momento adecuado, al ejercer cierta presión se puede compactar la lignina con la celulosa para producir los gránulos deseados después de haberse enfriado” (Nanjing Pellet Mill Co., Ltd (NPM)).

2.7.2.2 PRESIÓN DE COMPACTACIÓN

La compactación de biomasa residual incorpora un conjunto de tecnologías para la transformación de materiales en combustibles, además de ventajas de transporte, manejo y almacenamiento. Estas tecnologías ayudan a incrementar el uso de biomasa compactada (briquetas) como fuente de energía.

El proceso de briqueteado es una de las tantas tecnologías que existe en la actualidad, cuyo objetivo es obtener un producto combustible de mayor densidad que la materia prima original.

Según la presión de compactación las tecnologías utilizadas se pueden clasificar en:

- De altas presiones de compactación.
- De medianas presiones de compactación, con sistema de calentamiento
- De bajas presiones con la adición de aglutinantes. (Gover, 1996)

Debido a la presión las partículas a compactar tiende a comportarse como sólidos frágiles, los cuales se fracturan y se acomodan hasta que los fragmentos son capaces de soportar la presión ejercida. Al finalizar la etapa de compactación en donde la presión ejercida es mayor, se alcanza un cuasi equilibrio en el cual el producto compactado soporta la presión externa y el aglutinante está distribuido uniformemente en la materia prima compactada. (Blesa, 2002)

2.7.3. TIPOS DE PROCESOS PARA FABRICAR BRIQUETAS

Existen diferentes tecnologías para la fabricación de briquetas las cuales son:

- Artesanales
- Semi-industriales
- Industriales

2.7.3.1. ARTESANALES

En este tipo de proceso no se necesita la utilización de máquinas sofisticadas debido a que no se necesita producir briquetas en gran cantidad, es decir que con la utilización de herramientas y materiales caseros se puede compactar el aserrín con la ayuda de algún aglutinante y secarla posteriormente para su utilización. En este proceso importa obtener la briketa de forma rápida, fácil y no continua, sin tener muy en cuenta parámetros como presión de compactación, proporciones de mezcla entre el aglutinante y la materia prima, tiempo, forma de secado entre otros.

La presión de compactación utilizada es baja debido a que la utilización del aglutinante ayuda a la cohesión de las partículas del material. La presión que se emplea es de hasta 5MPa. (Fonseca & Tierra T., 2011)

2.7.3.2. SEMI-INDUSTRIALES

En este tipo de proceso la presión utilizada se encuentra en el rango de 5MPa a 100MPa; el proceso de fabricación es continuo teniendo producciones medianas de briquetas

En el proceso semi-industrial la presión es mayor que en el proceso artesanal, teniendo en algunos la auto aglomeración de la materia prima, es decir que para la fabricación de briquetas se tiene un uso menor o nula de aglutinantes lo que ayuda a reducir los costos de producción. La materia prima se debe secar si es necesario previo al proceso de briqueteado, ya que esta debe estar en un rango entre 15 a 20% de humedad.

Al tener una humedad mayor y debido a la presión ejercida al compactar el material, ocasiona un aumento de la cantidad de vapor de agua durante la compresión, por lo que la briketa se resquebraja superficialmente al enfriarse obteniendo un producto de mala calidad, o puede causar una explosión lanzando a la briketa de la máquina como proyectil; la explosión de vapor puede en muchos casos dañar la prensa. (Fonseca & Tierra T., 2011)

2.7.3.3. INDUSTRIALES

Para los procesos industriales se trabaja con equipos de altas presiones de compactación que están desde los 100MPa en adelante y en grandes producciones de briquetas. La materia prima debe ser lo más seca posible por lo que no se necesita la adicción de ningún aglutinante; la humedad del material debe estar en el rango de 5 al 15% siendo la más óptima de 7 al 12% y el tamaño de las partículas menor a 15mm. Debido a las grandes presiones, la materia prima se auto aglomera por el aumento de temperatura durante la compactación, ya que son materiales lignocelulósicos que aportan lignina como sustancia aglutinante. La madera al ser calentada sobre su temperatura de plasticidad pierde su elasticidad siendo más fácil compactarla.

En las industrias o plantas briqueteadoras de aserrín se emplean maquinarias adicionales para su fabricación como secadoras, trituradoras, tamizadores, filtros, recolectores de polvo, equipos de movimiento de aserrín que incluyen una pala cargadora y cintas transportadoras, equipos de movimiento de las briquetas, equipo de envasado, sistema de corte, etc.

Briqueteadora con resistencias eléctricas ayuda a la auto-aglomeración y junto con las elevadas presiones de compactación se consigue un producto (briquetas) de buena calidad, excelentes propiedades mecánicas y de friabilidad que son importantes a la hora de transportarlas y almacenarlas. (Fonseca & Tierra T., 2011)

2.8. TECNOLOGÍAS DE COMPACTACIÓN

Existen diferentes tecnologías para la elaboración de briquetas como:

- Briqueteadora de pistón (densificado por impacto).
- Briqueteadora de tornillo (densificado por extrusión).
- Briqueteadora hidráulicas y neumáticas.
- Briqueteadora de rodillos.

2.8.1. BRIQUETEADORAS DE PISTÓN (DENSIFICADO POR IMPACTO)

Su funcionamiento se basa en el golpeteo de un pistón por medio de un volante de inercia sobre la materia prima. El pistón comprime la materia prima contra una placa o matriz, que tiene un orificio con el perfil final de la briqueta que se desea obtener. Es una máquina de alta presión de compactación, y con una humedad de materia prima de 15 a 17 %. La producción que se alcanza con este tipo de máquina está comprendido entre 200 y 1500 kg/h. Las densidades conseguidas suelen estar entre 1.000 y 1.200 kg/m³.

En este método el material puede ser alimentado por gravedad, por un tornillo o pistón alimentador. El consumo de energía en estos equipos esta aproximadamente entre 20 y 60 w/kg. (Ortiz Torres, 2008)

2.8.2. BRIQUETEADORAS DE TORNILLO (DENSIFICADO POR EXTRUSIÓN)

El proceso se basa en la presión ejercida sobre la materia prima por medio de un tornillo sin fin fabricado de un material especial, este gira a una cierta velocidad haciendo avanzar el material hasta una cámara donde se reduce gradualmente en forma cónica, algunos de estos equipos posee una camisa térmica para aumentar la temperatura y favorecer a la plastificación de la materia prima. En éste método la materia prima ingresa por una tolva hacia un tornillo que comprime el aserrín contra una matriz o placa, que posee una abertura con el perfil que tendrá la forma final de la briqueta, es un proceso continuo que se dirige por un canal enfriador que le da a la briqueta su compacidad final.

Con estos equipos la producción de briquetas está comprendida entre los 500 y 2500 Kg/h, existen equipos que pueden fabricar varia hileras de briquetas a la vez. Mediante este proceso de extrusión se puede obtener briquetas de mayor densidad que el método por impacto alcanzando densidades de aproximadamente 1000 a 1400 kg/m³.

Las máquinas que trabajan con un sistema de calefacción forzado, la humedad de las partículas pueden oscilar entre 12 y 15 %, lo cual favorece a la plastificación de la lignina. El consumo de energía de estas máquinas varía entre 50 a 60 w/kg. Los costos de mantenimiento y consumo energético son más elevadas que en el caso del sistema por impacto. (Ortiz Torres, 2008)

2.8.3. BRIQUETEADORAS HIDRÁULICAS Y NEUMÁTICAS

La presión en este tipo de máquinas es producida por varios pistones a la vez 1,2 o 3, que son accionados por sistemas hidráulicos o neumáticos. Este método es utilizado cuando se trabaja con materiales de mala calidad como algodón, papel, aserrín húmedo, etc. o cuando no se quiere una buena calidad del producto final (briquetas). Las presiones alcanzadas de estos equipos son aproximadamente de 19.62, 39.23, 58.84 MPa. Son equipos de bajo costo de mantenimiento y consumo así como de producción que varía entre los 50 y 500 Kg/h. La densidad alcanzada es de 700 a 800 kg/m³ o en ocasiones hasta 900 a 1000 kg/m³. La energía que consumen estos equipos es de 40 a 120 W/kg. (Ortiz Torres, 2008)

2.8.4. BRIQUETEADORAS DE RODILLOS

Este tipo de máquinas están dotados por dos rodillos, en la superficie de los mismos se encuentran una serie de rebajes donde se aloja el material a ser compactado, quedando comprimido por la acción del otro rodillo. Esta máquina se utiliza cuando no se requiere de altas densidades finales como por ejemplo briquetas de carbón vegetal. La forma de las briquetas depende del molde que se utilice y la compactación del material se lo hace con la ayuda de algún aglutinante. (Ortiz Torres, 2008)

2.9. MÉTODOS DE AGLUTINACION

Los aglutinantes son sustancias pegajosas de apariencia líquida, tienen la capacidad de unir o adherir fragmentos, partículas de materiales, por medio de procesos físicos, térmicos o químicos.

Su utilización es diversa como en la construcción, en lugares donde las uniones de las partículas tengan fiabilidad, en fabricación de briquetas, como diluyentes de pinturas, carpintería entre otras.

Para la elaboración de briquetas el aglutinante debe cumplir lo siguiente:

- Preparación fácil.
- Fácil de aplicar.
- Fácil de adquirir.
- Bajo costo.
- No contaminante.
- No tóxico.
- Fácil de mezclar con la materia prima.
- Buenas propiedades de aglutinación.
- Tener buena resistencia mecánica.

2.9.1. BRIQUETEADO CON AGLUTINANTE

Muchos productos o materiales se fabrican con aglutinantes, debido a que ayudan a la cohesión entre las partículas con la aplicación de mínimos esfuerzos. Las briquetas fabricadas con algún tipo de aglutinante por lo general son comprimidas a bajas presiones.

Los aglutinantes se fabrican a base de resinas fenólicas, de almidones vegetales y de arcillas. Los aglomerantes de resinas tienen mejores propiedades en cuanto a flexibilidad y resistencia; los aglomerantes de origen vegetal tienen mejores propiedades de adición para compactar biomasa.

2.9.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGLUTINANTES

Se clasifican en: combustibles, no combustibles, orgánicos e inorgánicos.

Combustibles como: alquitrán, estiércol animal, manteca, gelatina, papel, restos y residuos de pescado, algas, almidones, resinas naturales y sintéticas

No combustibles como: limo, arcilla, barro, cemento, cal.

Orgánicos como: albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, cola, dextrina, gelatinas, humatos, ligninas-lignosulfonatos, melazas.

Inorgánicos como: alumbre, arcillas, bentonita, borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice, yeso.

No todos los aglutinantes sirven para la fabricación de briquetas, generalmente los más utilizados son:

- Almidones de yuca, maíz o arroz.
- Resinas (cola blanca).
- Melaza.
- Parafina.
- Arcillas.
- Alquitrán.

En la fabricación de las briquetas el aglutinante tiene como objetivo mantener unidas las partículas de la materia prima durante el secado, manipulación, almacenamiento y uso sin causar que se desmenucen.

2.9.2. BRIQUETEADO SIN AGLUTINANTE

Cuando se realiza el briqueteado sin aglutinante, se aplican al mismo tiempo presión y calor en el conformado. Se obtiene uniformidad de propiedades en la briqueta; la compactación se efectúa en una sola etapa restringiendo el aserrín a una cámara en donde se expondrá a altas temperaturas y presión.

La aglutinación de la materia prima se da de manera natural, ya que al someter la materia prima (aserrín) a altas temperaturas se consigue el reblandecimiento de la lignina propia del aserrín de madera, la cual actúa como aglutinante natural permitiendo que las partículas de aserrín se compacten formando la briqueta.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Para la realización de cualquier tipo de proyecto se debe plantear procedimientos, los cuales se deben seguir para poder alcanzar los objetivos propuestos. Este procedimiento proporciona las actividades o caminos necesarios de acuerdo al tipo de investigación que se esté realizando denominándolo metodología de trabajo.

Objetivo 1. Determinar las características de la materia prima a procesar. Mediante el análisis y síntesis de la información.

Actividad 1.1 Realizar una investigación en la web, biblioteca, artículos u otros medios de consulta sobre las características y propiedades de la materia prima (aserrín).

Actividad 1.2 Determinar los parámetros o características adecuados que debe tener la materia prima para realizar el proceso de briqueteado.

Objetivo 2. Definir el método de compactación y de aglutinación del aserrín más adecuado. Mediante el análisis y síntesis de la información.

Actividad 2.1 Utilizar la web, libros, artículos u otro medio de consulta para definir que es el proceso de briqueteado.

Actividad 2.2 Investigar acerca de los diferentes métodos de compactación y aglutinación del aserrín para la fabricación de briquetas.

Actividad 2.3 Seleccionar el método de compactación y aglutinación que se puede ajustar a la fabricación de briquetas sin la adición de aglutinante.

Objetivo 3. Diseñar el sistema mecánico para la máquina briqueteadora de aserrín. Mediante el método analítico, sintético, descriptivo y explicativo.

Actividad 3.1 Describir las diferentes partes o componentes de la máquina seleccionada para la fabricación de briquetas.

Actividad 3.2 Identificar los parámetros de cada uno de los elementos que conforman el sistema mecánico.

Actividad 3.3 Realizar el diseño de las diferentes partes mecánicas que conforman la máquina.

Actividad 3.4 Seleccionar el material adecuado para las diferentes partes de la máquina tomando en cuenta las condiciones a las cuales van a trabajar y su disponibilidad en el mercado.

Actividad 3.5 Realizar el análisis de los componentes, mediante simulaciones aplicando todas las cargas a las cuales van a estar expuestos, con la ayuda de un software (solidworks).

Objetivo 4. Implementar el sistema de control de temperatura para la aglutinación del aserrín. Mediante el método analítico, sintético y descriptivo.

Actividad 4.1 Realizar una investigación sobre los diferentes tipos de control de temperatura.

Actividad 4.2 Seleccionar el tipo de control de temperatura más adecuado para la aplicación.

Actividad 4.3 Describir el sistema de control de temperatura seleccionado.

Actividad 4.4 Seleccionar los elementos necesarios para la implementación del control.

Actividad 4.5 Selección de los componentes eléctricos necesarios para el funcionamiento de la máquina.

Objetivo 5. Implementar el sistema de corte. Mediante el método analítico, sintético y descriptivo.

Actividad 5.1 Realizar una investigación sobre los diferentes métodos que se pueden implementar para realizar el corte de las briquetas.

Actividad 5.2 Seleccionar el método más adecuado para realizar el corte de las briqueta.

Objetivo 6. Construir la máquina briqueteadora de aserrín. Mediante el método analítico, descriptivo y sistémico.

Actividad 6.1 Buscar el lugar donde se fabricará la máquina.

Actividad 6.2 Fabricar los diferentes componentes de la máquina.

Actividad 6.3 Ensamblar las partes de la máquina comprobando que queden acoplados correctamente.

Actividad 6.4 Realizar las instalaciones eléctricas, implementar el sistema de control y de corte.

Objetivo 7. Hacer pruebas de funcionamiento y ajustes de la máquina. Mediante el método analítico, sintético y explicativo.

Actividad 7.1 Efectuar las pruebas acoplando todos los sistemas: mecánico, de control y de corte para verificar el correcto funcionamiento de la máquina.

Actividad 7.2 Realizar los ajustes necesarios después de haber hecho la primera prueba para corregir algún problema que se haya suscitado.

Actividad 7.3 Llevar a cabo la prueba final de funcionamiento al efectuar todos los ajustes necesarios a la máquina.

Objetivo 8. Elaborar un manual de uso y mantenimiento de la máquina. Mediante el método analítico y sintético.

Actividad 8.1 Realizar el manual de usuario tomando en cuenta los diferentes sistemas que posee la máquina y las advertencias de seguridad de la misma.

Actividad 8.2 Elaborar el manual de mantenimiento considerando los diferentes sistemas y partes que conforman la máquina.

CAPÍTULO IV

COMPONENTES Y CÁLCULOS DE DISEÑO DE LA MÁQUINA

4.1. SELECCIÓN DEL TIPO MÁQUINA BRIQUETEADORA

4.1.1. FUNCIONES

- Debe compactar biomasa (aserrín).
- Debe fabricar briquetas de aserrín sin la adición de aglutinante.
- Implementar un sistema de corte

4.1.2. REQUISITOS DE DISEÑO

- La capacidad de producción debe ser 80 Kg/h.
- El sistema de calentamiento del cilindro debe tener un control de temperatura para la compactación del material sin la adición de aglutinante.
- Las briquetas deben tener aproximadamente 6 cm de diámetro y 15 cm de largo.
- El mantenimiento debe ser rápido y fácil.
- El proceso debe ser continuo.
- El costo de fabricación debe ser bajo.

4.1.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Para seleccionar la mejor alternativa que cumpla con las necesidades requeridas, se realiza un análisis por el método ordinal corregido de criterios ponderados. Según (Riva, 2002) afirma que el método ordinal corregido de criterios ponderados se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asigna los valores siguientes:

- 1 si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor, $>$) que el de las columnas.
- 0,5 si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas.
- 0 si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor, $<$) que el de las columnas.

Luego para cada criterio (o solución) se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

Los criterios de evaluación que se consideraron más importantes son:

- Capacidad de producción.
- Facilidad de trabajo.
- Adición de aglutinantes.
- Densidad del producto.
- Proceso continuo.
- Mantenimiento.
- Control.
- Costo.

En base a los criterios mencionados anteriormente se realiza la evaluación de las siguientes alternativas.

- Alternativa 1: briqueteadora de pistón.
- Alternativa 2: briqueteadora de tornillo.
- Alternativa 3: briqueteadoras hidráulicas y neumáticas.
- Alternativa 4: briqueteadora de rodillos.

A continuación se calcula los pesos específicos de cada criterio.

Tabla 4. 1 Pesos específicos de cada criterio.

Criterio	Capacidad de producción	Facilidad de trabajo	Adición de aglutinantes	Densidad del producto	Proceso continuo	Mantenimiento	Control	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Capacidad de producción	-	1	0,5	1	0,5	1	1	0,5	6,5	0,22
Facilidad de trabajo	0	-	0,5	1	1	0,5	1	0	5	0,17
Adición de aglutinantes	0,5	0,5	-	0	0	0	0	0	2	0,07
Densidad del producto	0	0	0,5	-	1	1	1	0	5	0,17
Proceso continuo	0,5	0	1	0	-	1	1	0	4,5	0,15
Mantenimiento	0	1	1	0	0	-	0,5	0,5	4	0,13
Control	0	0	1	0	0	0,5	-	0,5	3	0,1
Costo	0,5	1	1	1	1	0,5	0,5	-	6,5	0,22
							Suma		30	1

A continuación se realiza la evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio; según lo mencionado en la sección 2.8 y los requerimientos de diseño.

Tabla 4. 2 Peso específico del criterio capacidad de producción.

Capacidad de producción						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	1	3	0,3
Alternativa 2	1	-	1	1	4	0,4
Alternativa 3	0	0	-	0	1	0,1
Alternativa 4	0	0	1	-	2	0,2
				Suma	10	1

Tabla 4. 3 Peso específico del criterio facilidad de trabajo.

Facilidad de trabajo						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0,5		1	1	3,5	0,35
Alternativa 3	0	0		1	2	0,2
Alternativa 4	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Tabla 4. 4 Peso específico del criterio adición de aglutinante.

Adición de aglutinantes						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0,5	-	1	1	3,5	0,35
Alternativa 3	0	0	-	0,5	1,5	0,15
Alternativa 4	0	0	0,5	-	1,5	0,15
				Suma	10	1

Tabla 4. 5 Peso específico del criterio densidad del producto.

Densidad del producto						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	1	3	0,3
Alternativa 2	1	-	1	1	4	0,4
Alternativa 3	0	0	-	1	2	0,2
Alternativa 4	0	0	0	-	1	0,1
				Suma	10	1

Tabla 4. 6 Peso específico del criterio proceso continuo.

Proceso continuo						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0,5	-	1	1	3,5	0,35
Alternativa 3	0	0	-	0	1	0,1
Alternativa 4	0	0	1	-	2	0,2
Suma					10	1

Tabla 4. 7 Peso específico del criterio mantenimiento.

Mantenimiento						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	1	4	0,4
Alternativa 2	0	-	1	1	3	0,3
Alternativa 3	0	0	-	0	1	0,1
Alternativa 4	0	0	1	-	2	0,2
Suma					10	1

Tabla 4. 8 Peso específico del criterio control.

Control						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\sum + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0,5	-	1	1	3,5	0,35
Alternativa 3	0	0	-	0	1	0,1
Alternativa 4	0	0	1	-	2	0,2
Suma					10	1

Tabla 4. 9 Peso específico del criterio costo.

Costo						
Peso específico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Σ + 1	Ponderación
Alternativa 1	-	0	0	0	1	0,1
Alternativa 2	1	-	1	0	3	0,3
Alternativa 3	1	0	-	0	2	0,2
Alternativa 4	1	1	1	-	4	0,4
				Suma	10	1

En la siguiente tabla se muestra la conclusión.

Tabla 4. 10 Selección de alternativa.

Conclusión	Capacidad de producción	Facilidad de trabajo	Adición de aglutinantes	Densidad del producto	Proceso continuo	Mantenimiento	Control	Costo	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,0643	0,06	0,02	0,05	0,053	0,053	0,04	0,02	0,35	2
Alternativa 2	0,0857	0,06	0,02	0,066	0,053	0,040	0,04	0,07	0,45	1
Alternativa 3	0,0217	0,03	0,01	0,033	0,015	0,013	0,01	0,04	0,18	4
Alternativa 4	0,0433	0,02	0,01	0,016	0,030	0,026	0,02	0,09	0,25	3

Analizando la tabla anterior la mejor alternativa es la briqueteadora de tornillo; una máquina cuyo principio básico es la extrusión, en el cual el material a utilizar es transportado y compactado por medio de un tornillo.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA

Una máquina briqueteadora de aserrín está compuesta de las siguientes partes (Ver Anexo K).

- Tolva
- Cilindro o camisa.
- Husillo (tornillo).
- Motor.
- Estructura.

4.2.1. TOLVA

Es el elemento que se utiliza para almacenar e ingresar el material a utilizar en la máquina. La tolva debe estar diseñada de tal manera que el material sea suministrado a la máquina con un flujo continuo y evitar que este se interrumpa; este se logra con tolvas de forma circular, aunque son más difíciles y caras de construir que las de forma rectangular. En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de tolvas.

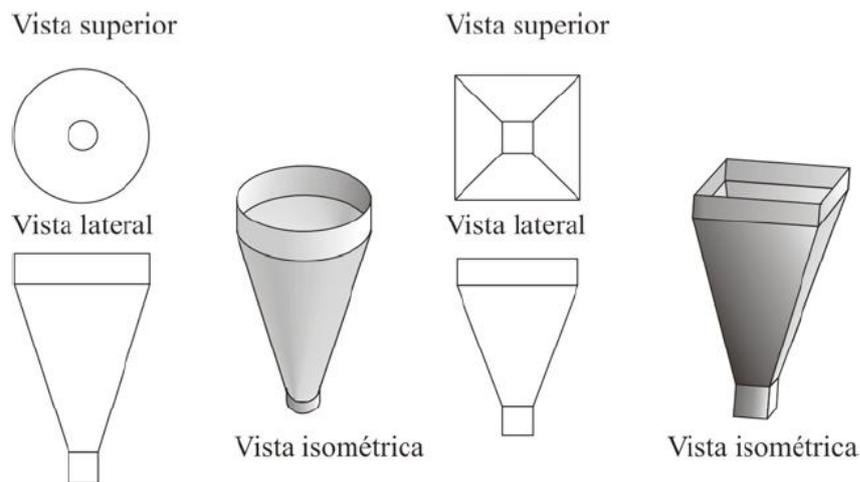


Figura 4. 1 Tipos de tolvas.

Fuente: M.Beltran y A. Marcilla; Tecnología de los polímeros

4.2.2. GARGANTA DE ALIMENTACIÓN

La garganta de alimentación está asociada con la tolva por medio de una entrada de alimentación, la cual tiene aproximadamente una longitud de 1,5 veces y de ancho 0,7 veces el diámetro del cilindro, además suele estar desplazada del eje del tornillo lo que facilita la entrada del material.

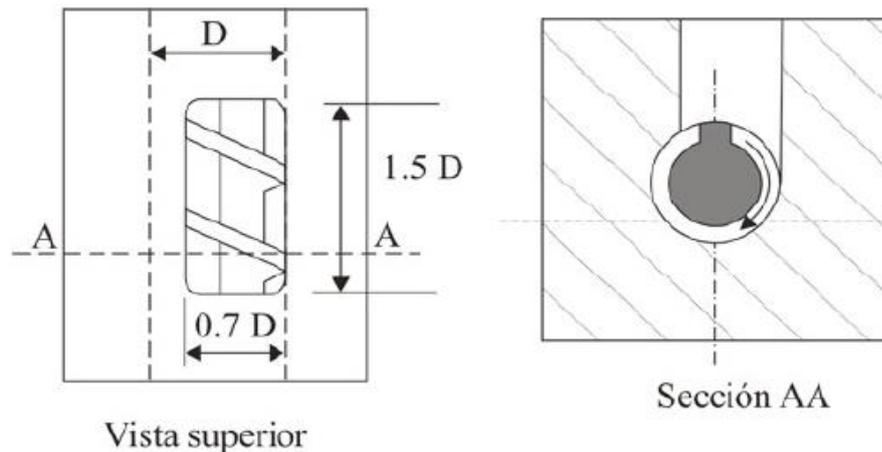


Figura 4. 2 Garganta de alimentación tolva.

Fuente: M.Beltran y A. Marcilla; Tecnología de los polímeros

4.2.3. CILINDRO O CAMISA

El cilindro es el componente de la máquina donde se aloja el tornillo sin fin. Las paredes del cilindro deben ser rugosas para aumentar la fuerza de cizalla que soportará el material y permitir que este fluya. El cilindro generalmente se construye de aceros muy resistentes para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, en algunos casos viene con un recubierto bimetalico que le da una mayor resistencia, es hueco y de gran espesor, permitiéndole soportar la presión generada por el tornillo y el material. Otra función que tiene es transmitir el calor de las resistencias eléctricas a la materia prima. Para una mejor conservación del calor a lo largo del cilindro, se acostumbra a aislarlo con algún material de baja conductividad térmica.

4.2.4. HUSILLO (TORNILLO)

El tornillo o husillo consiste de un cilindro largo rodeado de un filete helicoidal. El tornillo es una de las partes más importantes de la máquina, debido a que este es el elemento responsable de transportar, calentar, mezclar y compactar la materia prima. La calidad del producto y la seguridad del proceso dependen en gran parte del diseño del tornillo. Los parámetros más importantes dentro del diseño del tornillo son la longitud, el diámetro, el ángulo del filete y el paso de rosca.

Generalmente el tornillo no presenta ningún tipo de sistema de refrigeración o calefacción, pero en ocasiones se utilizan tornillos huecos con estos sistemas.

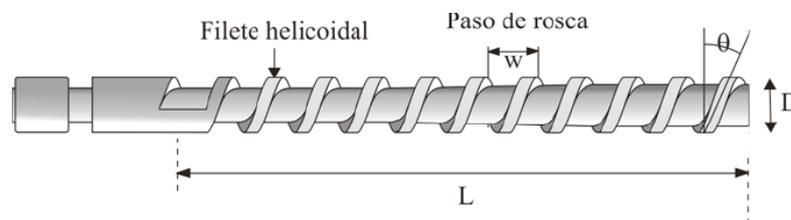


Figura 4. 3 Tornillo o husillo.

Fuente: M.Beltran y A. Marcilla; Tecnología de los polímeros

4.2.5. MOTOR

El motor es elemento encargado de suministrar la energía necesaria para la rotación del tornillo, es decir la energía necesaria para el transporte, calentamiento, mezcla y compactación del material. Se puede utilizar motores de corriente continua con variador o motores de corriente alterna que mantengan constante el torque y la rotación. La potencia del motor se transmite al tornillo por medio de bandas, correas, engranes, etc.



Figura 4. 4 Motor eléctrico.

Fuente: URL <http://www.lureyechile.cl/?pag=5&subfamID=3>

4.2.6. ESTRUCTURA

La estructura es el elemento constituido por soportes de acero y placas metálicas donde se apoyan los demás elementos como el motor, engranaje, cilindro, tablero, tolva, entre otros. La estructura tiene la función de soportar su propio peso, el de los demás elementos de la máquina y cargas o fuerzas exteriores sin perder las condiciones de funcionalidad.

4.3. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

El funcionamiento de la máquina briqueteadora de tornillo comienza con la colocación de la materia prima en la tolva de alimentación, el tornillo lleva el material desde la zona de alimentación hasta la zona de compactación, en donde se compacta contra una matriz que ayuda al incremento de presión.

Durante este proceso la materia prima es calentada por medio de un sistema de calentamiento (resistencias eléctricas) para elevar su temperatura consiguiendo el reblandecimiento de la lignina del aserrín.

En la zona de compactación el aserrín es forzado a salir por la matriz en donde se forma la briqueta con la forma deseada (cilíndrica).

4.4. DISEÑO DEL TORNILLO COMPACTADOR

Las máquinas briqueteadoras tipo extrusor constan de un tornillo compactador. Los parámetros más importantes a considerar dentro del diseño del tornillo son la longitud, el diámetro, el ángulo del filete y el paso de la rosca. Los cálculos se realizaron siguiendo el libro de (Savgorodny).

4.4.1. LONGITUD

La longitud tiene una importancia especialmente en la capacidad productiva de la máquina y su costo, esta dependerá de la aplicación a la que este destinada la máquina.

4.4.2. DIÁMETRO

El diámetro del tornillo se encuentre dentro de los rangos de 0.0195m a 0.609 m y esto depende de la aplicación de la máquina, además este influye en la capacidad de producción de la máquina, es decir con un diámetro mayor la capacidad kg/h aumenta. Para el diseño del tornillo se toma como diámetro $D = 0,07$ m.

4.4.3. RELACIÓN LONGITUD/DIÁMETRO

Tomando en cuenta los requerimientos de la máquina se determinó una relación de 7/1, la cual define la relación entre el tornillo y el cilindro.

$$\frac{L}{D} = 7$$

Ecuación 4. 1 Relación L/D.

$$L = D * 7 = 0,49 \text{ m}$$

4.4.4. PASO DE LA ROSCA

El paso de la rosca es la distancia que avanza un tornillo por cada vuelta que gira, este parámetro también tiene influencia en la capacidad de producción de la máquina. Mediante un método iterativo para el diseño del tornillo se asumirá un paso de rosca $t = 0,036$ m.

4.4.5. ÁNGULO DEL FILETE

El transporte de la materia prima desde la alimentación de la tolva hasta la salida, depende del ángulo del filete. Las formas y dimensiones que estos tengan dependen del tipo de material a procesar. El ángulo del filete se calcula con la siguiente fórmula.

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{t}{\pi (D - h)}\right)$$

Ecuación 4. 2 Angulo del filete.

Donde:

D= diámetro del tornillo [m]

h= profundidad del canal [m]

t= paso de la rosca [m]

φ = ángulo de la hélice [°]

Remplazando los valores D = 0,07 m, h = 0,01 m, t = 0,036 m en la ecuación se tiene.

$$\varphi = 10,81^\circ$$

4.4.6. HOLGURA

Es la distancia entre el diámetro exterior del tornillo y el diámetro interior del cilindro, es decir el juego que tiene el husillo (tornillo). Para lograr una eficiencia alta de la máquina la holgura debe ser mínima, y se determinar mediante la siguiente ecuación.

$$H = 0.003 * D$$

Ecuación 4. 3 Holgura.

Remplazando los valores en la ecuación se tiene.

$$H = 2.1 * 10^{-4} m$$

4.4.7. ANCHURA DEL FILETE

Es el espesor de filete, se puede determinar con la siguiente formula.

$$e = 0,12 * Dm$$

Ecuación 4. 4 Anchura del filete.

Remplazando los valores se tiene.

$$e = 0,0084 m$$

4.4.8. PRODUCCIÓN DEL TORNILLO

La producción es indicada en flujo volumétrico (Q), está compuesta por tres tipos de flujos. El flujo de arrastre, que es el mayor de los tres producido por el arrastre del material. El flujo de presión, es aquel que se opone al flujo del sistema, es decir es el flujo de retorno. El flujo de filtración, es aquel que reduce la producción debido a las pérdidas del material que se produce en la holgura ente el cilindro y el tornillo.

Según V. K. Savgorodny, el flujo volumétrico se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$Q = \left(\frac{\alpha * K}{K + \gamma + \beta} \right) n$$

Ecuación 4. 5 Flujo volumétrico.

Donde:

α = flujo de arrastre [m³]

β = flujo de presión [m³]

γ = flujo de filtración [m³]

K= forma geométrica de la boquilla [m³]

n= revoluciones por minuto [rpm]

Cada flujo está determinada por una ecuación, que relaciona las dimensiones del tornillo con algunas variables de la máquina. Según (Savgorodny) las ecuaciones para realizar el cálculo se presentan a continuación.

4.4.8.1. FLUJO DE ARRASTRE

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h * \left(\frac{t}{m} - e \right) * \cos(\varphi^2)}{2}$$

Ecuación 4. 6 Flujo de arrastre.

Donde:

D= diámetro del tornillo [m]

h= profundidad del canal [m]

m= número de canales del filete

t= paso de la rosca [m]

e= espesor del filete [m]

φ = ángulo de la hélice [°]

De esta manera teniendo en cuenta que $m = 1$ y $h = 1$ cm; reemplazando los valores en la ecuación se tiene.

$$\alpha = 29,28 * 10^{-6} m^3$$

4.4.8.2. FLUJO DE PRESIÓN

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L}$$

Ecuación 4. 7 Flujo de presión.

Donde:

L= longitud del tornillo [m]

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene.

$$\beta = 1 * 10^{-9} m^3$$

4.4.8.3. FLUJO DE PÉRDIDAS

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * H^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L}$$

Ecuación 4. 8 Flujo de pérdidas.

Remplazando los valores se tiene.

$$\gamma = 6,16 * 10^{-10} m^3$$

4.4.8.4. FORMA GEOMÉTRICA DE LA BOQUILLA

Para una boquilla con canal cónico tenemos la siguiente expresión.

$$K = \frac{3 * \pi * d1^3 d2^3}{128 * l * (d1^2 + d1 * d2 + d2^2)}$$

Ecuación 4. 9 Forma geométrica de la boquilla.

Donde:

d1= diámetro ingreso del material [m]

d2= diámetro salida del material [m]

l= longitud de la boquilla [m]

Teniendo en cuenta que d1 = 0.0728 m y d2 = 0,059 m, son los diámetros por donde ingresa y sale el material, y l = 0,15 m longitud de la boquilla. Remplazando los valores en la ecuación se tiene.

$$K = 2,23 * 10^{-6} m^3$$

Una vez calculadas y obtenidas todas las variables y teniendo en cuenta que n = 220 rpm se calcula el flujo volumétrico con la ayuda de la ecuación 4.5.

$$Q = 0,01 \frac{m^3}{min}$$

Siendo la densidad del aserrín $\rho = 215 kg/m^3$, y realizando la transformación de unidades, se tiene que la producción de la máquina será de $Q = 83,04 \frac{Kg}{hr}$.

4.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Para el cálculo de la potencia se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_o = P * Q$$

Ecuación 4. 10 Potencia eléctrica

Donde:

P_o= potencia eléctrica [KW]

P= presión de la máquina [MPa]

Q= flujo volumétrico [m³/s]

Según el documento publicado por la FAO, manifiesta que la presión de briqueteado de la máquina va desde los 60 MPa hasta los 100MPa. Con lo antes mencionado, para el cálculo de la potencia del motor se asumió un valor promedio de P = 80MPa. (Departamento de Montes)

Remplazando los valores en la ecuación 4.10 se obtiene.

$$P_o = 8,80 \text{ KW}$$

4.5.1. CORRECCIÓN DE LA POTENCIA

4.5.1.1. PÉRDIDAS POR INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Se refiere a la potencia que pierde el motor, es decir la perdida que se origina entre la potencia que recibe la línea de origen y la que entrega al final. Para determinar las perdidas por instalaciones eléctricas se lo realiza mediante la siguiente ecuación.

$$Z_e = 0,015 * P_o$$

Ecuación 4. 11 Perdidas por instalaciones eléctricas

Remplazando los valores en la se tiene.

$$Z_e = 132 \text{ W}$$

4.5.1.2. PERDIDAS EN MOTORES Y GENERADORES

Se generan por un incorrecto pre encendido que se pueden producir al momento que se quiere poner en marcha a la máquina.

$$Z_m = 0,05 * P_o$$

Ecuación 4. 12 Pérdidas en motores y generadores.

Remplazando los valores en la ecuación se tiene.

$$Z_m = 440 W$$

La potencia corregida del motor se calcula mediante al sumatoria de la potencia eléctrica y las pérdidas producidas, mediante la siguiente ecuación.

$$P_c = P_o + Z_e + Z_m$$

Ecuación 4. 13 Potencia corregida

Remplazando los valores en la ecuación se tiene.

$$P_c = 9,37 KW$$

Por lo tanto la potencia del motor seleccionada será de 15 HP (Ver Anexo B).

4.6. SISTEMA DE TRASMISIÓN DE POTENCIA

FUNCIONES

- Transmitir la potencia de del motor hacia el eje de transmisión.
- Entregar la potencia con una velocidad menor.

PARÁMETROS DE DISEÑO

- Transmitir la potencia del motor de 15 Hp hacia un eje de transmisión.
- Reducir la velocidad de 1755 rpm proveniente del motor a 220 rpm.
- Debe proteger al motor y al eje de transmisión.
- Mantenimiento fácil y rápido.
- Bajo costo y disponibilidad en el mercado.

Se ha seleccionado el sistema de bandas en V, debido a su gran flexibilidad, mínimo mantenimiento, buena elasticidad, bajo costo de adquisición, disponibilidad en el mercado; además de evitar que el tornillo sufra daños si se origina una sobrecarga, ocasionando que las bandas patinen sobre las poleas.

4.6.1. POTENCIA DE DISEÑO

La potencia de diseño se obtiene multiplicando a la potencia obtenida por un factor de servicio; esta potencia es considerada en la selección del número y tipo de banda a utilizar y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$P_D = P_C * f_s$$

Ecuación 4. 14 Potencia de diseño

Donde:

P_D = potencia de diseño (HP)

P_C = potencia corregida (HP)

f_s = factor de servicio

El factor de servicio se determina mediante los siguientes aspectos.

- Tipo de motor conductor que se utilice para accionar la transmisión.
- Tipo de máquina conducida que se vaya a accionar.
- Horas de servicio por día.

De acuerdo con estos parámetros se seleccionó un factor de servicio de 1.3 (Ver Anexo C-1).

Remplazando los valores en la ecuación 4.14 se obtiene.

$$P_D = 19,5 \text{ HP}$$

4.6.2. SELECCIÓN SECCIÓN DE BANDA

Con la potencia de diseño y con la velocidad de giro del motor, se selecciona la banda apropiada. El tipo de banda seleccionada es una 3V (Ver anexo C-2).

4.6.3. RELACIÓN DE VELOCIDADES

La velocidad del motor es igual a $v_m=1750$ rpm, y la velocidad de giro deseado para el tornillo es de $v_t=220$ rpm. Con estos datos y mediante la siguiente ecuación se determina la relación de velocidades.

$$R = \frac{v_m}{v_t} = \frac{D_2}{D_1}$$

Ecuación 4. 15 Relación de velocidades

Remplazando los datos en la ecuación se obtiene.

$$R = 7,95$$

4.6.4. DIÁMETROS DE LAS POLEAS

4.6.4.1. DIÁMETRO DE LA POLEA CONDUCTORA

La polea conductora va acoplado al eje del motor. Para determinar su diámetro se tomó como referencia la tabla del anexo. (Ver anexo C-3).

$$D_1 = 0,114 \text{ m}$$

4.6.4.2. DIÁMETRO POLEA CONDUCTIDA

La polea conducida va acoplada sobre el eje de transmisión y para determinar su valor se aplica la ecuación 4.15.

$$D_2 = R * D_1 = 0,91m$$

4.6.5. CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA

4.6.5.1. DISTANCIA ENTRE LOS CENTROS.

Para calcular la distancia entre centros se emplea la siguiente ecuación.

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32 * (D_2 - D_1)^2}}{16}$$

Ecuación 4. 16 Distancia entre centros

Para realizar un cálculo preliminar se escogerá un valor aceptable empleando la siguiente expresión.

$$D_2 < C < 3 * (D_2 + D_1)$$

Ecuación 4. 17 Intervalo distancia entre centros

Con este rango se escoge un valor de $C = 1,27$ m para el cálculo preliminar.

4.6.5.2. LONGITUD DE LA BANDA

La longitud de las bandas se determinas mediante la siguiente ecuación.

$$L = 2 * C + 1,57 * (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 * C}$$

Ecuación 4. 18 Longitud de las bandas

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$L = 4,27 \text{ m}$$

Con este valor preliminar se escoge una longitud aproximada de banda existente en el mercado. La longitud de bandas es igual $L = 4,215$ m. Aplicando la ecuación 4.16 se calcula la distancia entre centros.

$$B = 4 * L - 6,28(D_2 + D_1) = 9,37 \text{ m}$$

$$C = 1.24 \text{ m}$$

4.6.5.3. ÁNGULO DE CONTACTO

El ángulo de contacto se calcula con la siguiente ecuación.

$$\theta = 180^\circ - 2 * \sin^{-1} \frac{(D_2 - D_1)}{2 * C}$$

Ecuación 4. 19 Ángulo de contacto

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$\theta = 142,62^\circ$$

4.6.5.4. NÚMERO DE BANDAS

El número de bandas se determina mediante la siguiente ecuación.

$$N_b = \frac{P_D}{C_\theta * C_L * P_n}$$

Ecuación 4. 20 Número de bandas.

Donde:

C_θ = factor de corrección por ángulo de contacto.

C_L = factor de corrección por longitud de banda.

P_n = potencia nominal por banda [HP].

Para la potencia nominal por bandas se determinó en base al grafico correspondiente. (Ver anexo C-4). El valor es igual $P_n = 5.9$

Para el factor de corrección por ángulo de contacto se determinó en base al grafico correspondiente. (Ver anexo C-5). El valor es igual $C_\theta = 0,93$

Para el factor de corrección por longitud se determinó en base al grafico correspondiente. (Ver anexo C-6). El valor es igual $C_L = 1,19$

Remplazando los valores en la ecuación 4.20 se obtiene.

$$N_b = 2,99$$

Por lo tanto se usan 3 bandas.

4.7. CÁLCULO DE LAS FUERZAS EN LAS POLEAS

Las fuerzas que se generan por efecto de las poleas se pueden observar en la siguiente figura.

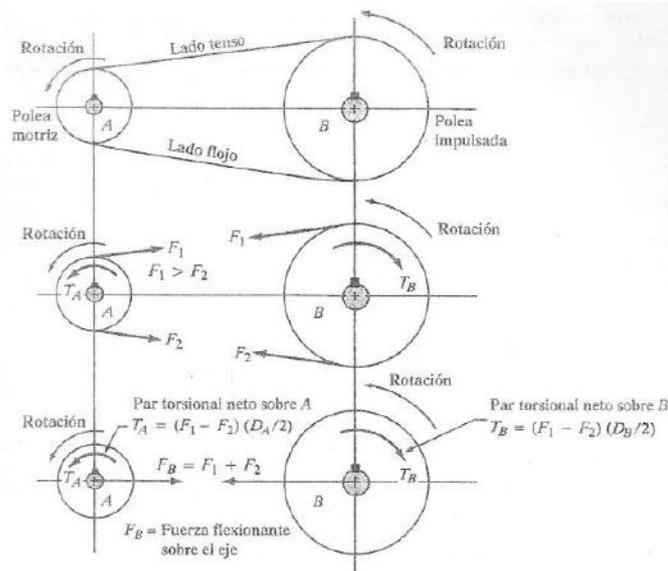


Figura 4. 5 Fuerzas en poleas

Fuente: (Mott, 2006)

Las fuerzas se determinan mediante las siguientes ecuaciones.

$$T_a = \frac{9550 * P_m}{v_m} = (F_1 - F_2) * \left(\frac{D_1}{2}\right)$$

Ecuación 4. 21 Torque polea conductora

Donde:

P_m = potencia del motor [KW].

v_m = velocidad del motor [rpm].

Remplazando los valores se obtiene.

$$T_a = 61,04 Nm$$

Haciendo una sustitución en la ecuación 4.21 de $F = (F_1 - F_2)$, despejando F y remplazando los valores se tiene.

$$F = \frac{T_a}{\frac{D_1}{2}} = 1068$$

Para encontrar el torque en la polea conducida aplicamos la siguiente ecuación.

$$T_b = (F_1 - F_2) * \left(\frac{D_2}{2}\right)$$

Ecuación 4. 22 Torque polea conducida

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$T_b = 485,52 \text{ Nm}$$

Para calcular la fuerza flexión F_B , que es aquella que actúa como una sola fuerza en la línea entre los centros de las dos poleas como se indica en la figura 4.5, se aplica la siguiente ecuación.

$$F_B = \frac{1.5 * T}{\frac{D}{2}}$$

Ecuación 4. 23 Fuerza de flexión

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$F_B = 1602 \text{ N}$$

4.8. DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN

En la siguiente figura se muestra la configuración eje-tornillo.

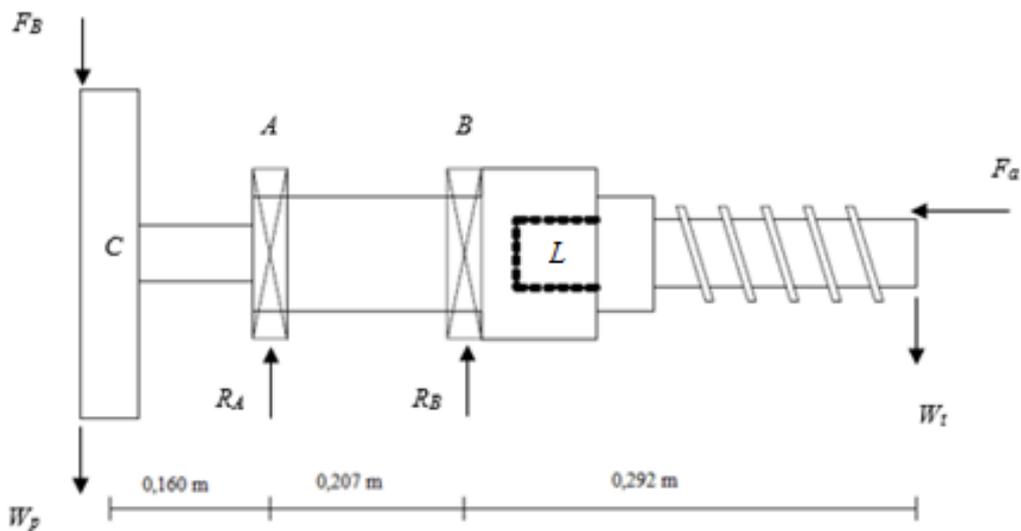


Figura 4. 6 Configuración eje-tornillo

En el punto *C* se encuentra colocada la polea conducida, los puntos *A* y *B* son donde asientan los rodamientos y el punto *L* es donde se encuentra acoplado el tornillo.

Para determinar el peso de la polea y el tornillo se utiliza la siguiente ecuación.

$$W = m * g$$

Ecuación 4. 24 Peso

Remplazando la masa del tornillo $m_t = 20$ kg y la masa de la polea $m_p = 35$ kg en la ecuación se obtiene.

$$W_t = 196,2 \text{ N}$$

$$W_p = 343,35 \text{ N}$$

Sobre el tornillo actúa una fuerza axial F_a . Para calcular la fuerza axial del tornillo se utiliza la siguiente ecuación.

$$F_a = A * P$$

Ecuación 4. 25 Fuerza axial

Donde:

A= sección transversal de tornillo [m²].

P = presión [MPa].

La sección transversal del tornillo se calcula con la siguiente ecuación.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} (1 - u^2)$$

Ecuación 4. 26 Sección transversal del tornillo

Donde:

D= diámetro exterior del cilindro [m].

u= relación de diámetros del tornillo.

En la siguiente figura se muestra la relación de diámetros del tornillo y se determina con la siguiente relación

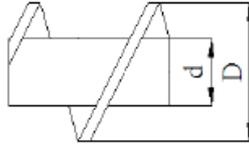


Figura 4. 7 Relación de diámetros del tornillo

$$u = \frac{d}{D}$$

Donde:

$$D = 0.059 \text{ m.}$$

$$d = 0.039 \text{ m.}$$

Remplazando los valores en la ecuación 4.26 y 4.25 se obtiene.

$$A = 1,53 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_a = 123,15 \text{ KN}$$

Aplicando las fuerzas calculadas al eje de transmisión se calcula las reacciones de los dos cojinetes y los momentos flectores. Debido a que todas las fuerzas se desarrollan en el eje Y se analizarán los diagramas de cortes y momentos en los ejes X-Y. La fuerza axial servirá para la selección del rodamiento. En la siguiente figura se muestran los diagramas de momentos.

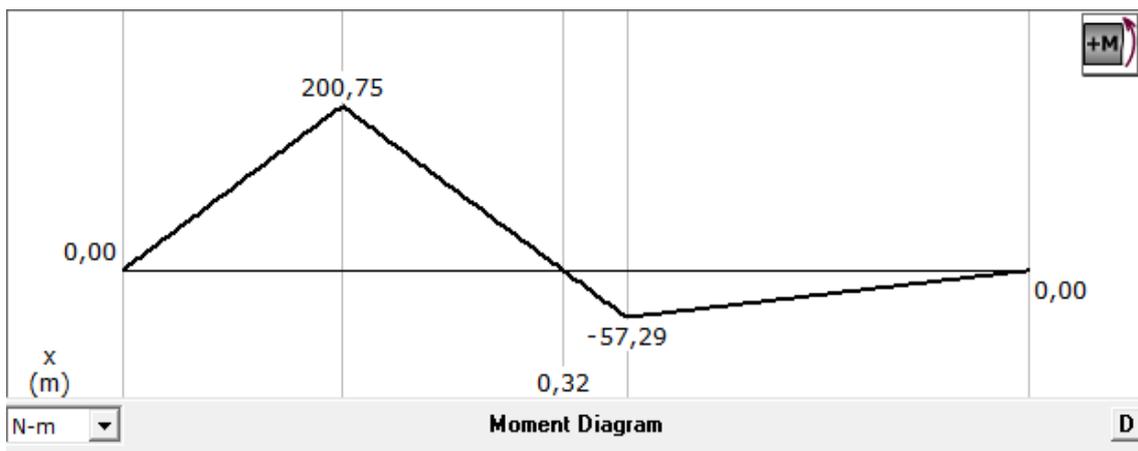


Figura 4. 8 Diagrama de momentos del eje

Fuente: MDSolids

Módulo de momentos.

- $M_c = 200,75 \text{ Nm}$
- $M_u = 57,29 \text{ Nm}$

Para la selección del material de eje se realiza un cálculo preliminar tomando en consideración el diámetro del rodamiento determinado en la sección 4.11.; se calcula los esfuerzos por torsión y normal en este punto. El esfuerzo cortante por torsión en este se determina con la siguiente ecuación.

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

Ecuación 4. 27 Esfuerzo cortante

Remplazando los valores se obtiene.

$$\tau = 9 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal producido por la fuerza axial, se determina con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 4. 28 Esfuerzo normal

Donde F es la fuerza axial y A es el área en esa sección. Remplazando los valores se obtiene.

$$\sigma = 37,11 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por flexión en este punto se determina con la siguiente ecuación.

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

Ecuación 4. 29 Esfuerzo por flexión

Remplazando los valores se obtiene.

$$\sigma = 7,45 \text{ MPa}$$

Para calcular el esfuerzo en ese punto se aplicara el criterio de máxima tensión de Von Mises mediante la siguiente expresión.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Ecuación 4. 30 Esfuerzo de von Mises

Remplazando los valores da como resultado.

$$\sigma' = 196,69 \text{ MPa}$$

Mediante la teoría de falla por energía de distorsión se encuentra la resistencia a la fluencia del material mediante la siguiente ecuación.

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

Ecuación 4. 31 Formula energía de distorsión

Con un factor de seguridad igual a $N = 4.5$ y remplazando los valores se obtiene.

$$S_y = 215,49 \text{ MPa}$$

El material para el diseño del eje debe poseer como mínimo una resistencia a la fluencia de 215,49 MPa. El acero seleccionado es AISI 1020CD extruido en frio, este material es utilizado principalmente para la fabricación de ejes, además de conseguir fácilmente en el mercado a un bajo costo, Este acero tiene las siguientes propiedades.

- $S_u = 420 \text{ MPa}$
- $S_y = 352 \text{ MPa}$

4.8.1. ANÁLISIS RESISTENCIA A LA FATIGA

Para el cálculo de las dimensiones del eje, se va a realizar mediante el análisis de límite de resistencia a la fatiga aplicando la siguiente ecuación.

$$S_e' = 0,5 * S_u$$

Ecuación 4. 32 Limite resistencia a la fatiga

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$S_e' = 210 \text{ MPa}$$

A continuación se aplica la ecuación que contiene los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

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

Ecuación 4. 33 Resistencia a la fatiga corregida

Donde:

k_a = factor de modificación de la condición superficial

k_b = factor de modificación del tamaño

k_c = factor de modificación de la carga

k_d = factor de modificación de la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

4.8.1.1. FACTOR DE SUPERFICIE

Este factor depende del tipo de acabado que tiene la pieza como esmerilada, maquinada, laminada y forjada. Este factor se determina mediante la siguiente ecuación.

$$k_a = a * S_u^b$$

Ecuación 4. 34 Factor que modifica la superficie

Debido a que el eje es maquinado los valores de a y b son: a = 2,70 y b = -0,265 (Ver anexo D-1).

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$k_a = 0,91$$

4.8.1.2. FACTOR DE TEMPERATURA

El factor de temperatura que se escogió fue de $k_d = 1.010$ (Ver Anexo D-2) suponiendo que el eje se encuentra a 50 °C.

4.8.1.3. FACTOR DE CONFIABILIDAD

El factor de confiabilidad que se eligió fue de $k_e = 0,814$ (Ver anexo D-3) con una confiabilidad del 99 %

Aplicando todos estos valores en la ecuación 4.33 se obtiene la resistencia a la fatiga corregida.

$$S_e = 156,83 \text{ MPa}$$

4.8.2. FACTOR DE DISEÑO (N)

Según condiciones industriales típicas se recomienda usar un factor de diseño $N=3$, para el diseño del eje se escogerá un factor de diseño $N = 3$ (Ver anexo D-4) que es un factor razonable, debido a que hay confianza promedio en los datos de las cargas aplicadas.

4.8.3. CÁLCULOS DE DIÁMETROS DEL EJE

Para determinar los diámetros del eje (ver figura 4.6), se realiza aplicando la teoría de falla de Goodman, mediante la siguiente ecuación.

$$d = \left(\frac{16N}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_u} \left[4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 4. 35 Diámetros del eje

Donde:

k_f = factor de concentración de esfuerzo por fatiga para el momento

M_a = momento alternante

k_{fs} = factor de concentración de esfuerzo por fatiga para la torsión

T_a = par de torsión alternante

M_m = momento medio

T_m = par de torsión medio

Debido a que el eje soporta cargas de flexión y torsión constantes, es decir el esfuerzo flexionante es totalmente reversible y la torsión es constante, los valores de M_m y T_a serán igual a 0.

Para determinar los factores de concentración de esfuerzos k_f y k_{fs} se aplican las siguientes ecuaciones.

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1)$$

Ecuación 4. 36 Factores de concentración de esfuerzos por fatiga

Donde:

k_t = factor de concentración de esfuerzo para el momento.

q = sensibilidad a la muesca.

k_{ts} = factor de concentración de esfuerzo para la torsión.

En el punto C: diámetro donde asienta la polea, el torque $T_m = 485,52 Nm$ y el momento $M_a = 0 Nm$. Los factores de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la musca que se escogieron fueron $k_t = 2,2$, $k_{ts} = 3$ (Ver anexo D-5) y $q = 0,8$, $q_{cortante} = 0,9$ (Ver anexo D-6). Remplazando estos valores en la ecuación 4.36 se tiene.

$$k_f = 1,9 \quad k_{fs} = 2,8$$

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 4.35 se obtiene.

$$d_1 = 0,0441 m$$

En el punto A: diámetro donde asienta un rodamiento, el torque $T_m = 485,52 Nm$ y el momento $M_a = 200,75 Nm$. Los factores de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la musca que se escogieron fueron $k_t = 2,7$, $k_{ts} = 2.2$ (Ver anexo D-5) y $q = 0,8$, $q_{cortante} = 0,9$ (Ver anexo D-6). Remplazando estos valores en la ecuación 4.36 se tiene.

$$k_f = 2,36 \quad k_{fs} = 2,08$$

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 4.35 se obtiene.

$$d_2 = 0,0538 m$$

En el punto B: diámetro donde asienta el otro rodamiento, el torque $T_m = 485,52 Nm$ y el momento $M_a = 57,29 Nm$. Los factores de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la musca que se escogieron fueron $k_t = 2,7$, $k_{ts} = 2.2$ (Ver anexo D-5) y $q = 0,8$, $q_{cortante} = 0,9$ (Ver anexo D-6). Remplazando estos valores en la ecuación 4.36 se obtiene.

$$k_f = 2,36 \quad k_{fs} = 2,08$$

Remplazando los valores en la ecuación 4.35 se obtiene.

$$d_3 = 0,0448 m$$

En la siguiente tabla se especifica los valores de los diámetros para el eje de transmisión.

Tabla 4. 11 Valores de los diámetros del eje

Ubicación	Numero de diámetro	Diámetro de diseño	Diámetro seleccionado
		[m]	[m]
Polea	d_1	0,0441	0.045
Rodamiento A	d_2	0,0538	0.065
Rodamiento B	d_3	0,0448	0.065

4.8.4. DISEÑO DE LA CUÑA DE LA POLEA

El eje de transmisión tiene un torque $T = 485,52 Nm$, y el diámetro del eje donde va asentada la polea es de $d_1 = 0,045 m$; el según (Mott, 2006) las cuñas se fabrican generalmente con un acero AISICD 1020 con un $S_y = 352 MPa$; mediante la siguiente ecuación se determina la longitud de la cuña.

$$L = \frac{4 * T * N}{d * w * S_y}$$

Ecuación 4. 37 Longitud de la cuña

Donde:

w = ancho de la cuña

El ancho de la cuña es igual a $w = 0,0127$ m (Ver anexo D-7) y $N = 3$. Reemplazando los valores se obtiene.

$$L = 0,03 \text{ m}$$

La profundidad de cuñero en el eje y en el cubo de determinan mediante las siguientes ecuaciones.

$$S = \frac{d - H + \sqrt{d^2 - W^2}}{2}$$

Ecuación 4. 38 Profundidad del cuñero en el eje

$$T = \frac{d + H + \sqrt{d^2 - W^2}}{2} + C$$

Ecuación 4. 39 Profundidad del cuñero en el cubo

Donde:

$$C = \text{margen de } 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Reemplazando los valores se obtiene.

$$S = 0,0377 \text{ m}$$

$$T = 0,0506 \text{ m}$$

La siguiente tabla muestra las dimensiones de la cuña y cuñeros.

Tabla 4. 12 Dimensiones de la cuña y cuñeros de la polea

Dimensiones de la cuña y cuñeros		
Ancho de la cuña	[m]	0,0127
Altura de la cuña	[m]	0,0127
Profundidad de cuñero en el eje	[m]	$7,26 \times 10^{-3}$
Profundidad de cuñero en el cubo	[m]	$5,56 \times 10^{-3}$
Longitud de la cuña	[m]	0,05

4.9. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL TORNILLO

Se determinó que el punto crítico del tornillo es en la transición de diámetro donde va acoplado el eje de transmisión, y es donde se genera una concentración de esfuerzos elevado. En la siguiente figura se muestra el punto crítico del tornillo.

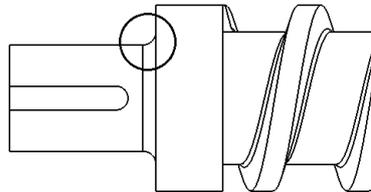


Figura 4. 9 Punto crítico del tornillo

Por consiguiente se calcula los esfuerzos normal y cortante en este punto. Para realizar el cálculo se toma valores anteriormente determinados como: el diámetro donde se acopla al eje de transmisión $d = 0,04 \text{ m}$ (diámetro menor), el diámetro del tornillo $D = 0,07 \text{ m}$ (diámetro mayor), el torque. El radio de transición entre los diámetros se determinó después de haber hecho algunas iteraciones $r = 0,005 \text{ m}$. Reemplazando los valores en la ecuación 4.27 se obtiene.

$$\tau = 38,64 \text{ MPa}$$

Aplicando las relaciones $D/d = 1,75$ y $r/d = 0.13$, encontramos el factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo de $k_{ts} = 1.3$ (Ver anexo D-8). Al multiplicar este valor de k_{ts} se obtiene el esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{max} = 31,48 \text{ MPa} * K_t = 50,23 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por la fuerza axial, se determina con la ecuación 4.28. Donde el área en esa sección $A = 0,00126 \text{ m}^2$. Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$\sigma = 98 \text{ MPa}$$

Aplicando las relaciones $D/d = 1,75$ y $r/d = 0.13$, el factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo de $k_t = 1.8$ (Ver anexo D-9). Al multiplicar este valor de k_t se obtiene el esfuerzo normal máximo.

$$\sigma_{max} = 31,06 \text{ MPa} * k_t = 174,6 \text{ MPa}$$

Para calcular el esfuerzo en ese punto se aplicara el criterio de máxima tensión de Von Mises mediante la ecuación 4.30. Remplazando los valores da como resultado.

$$\sigma' = 196,69 \text{ MPa}$$

Aplicando la teoría de falla por energía de distorsión se encuentra la resistencia a la fluencia del material mediante la ecuación 4.31. Con un factor de seguridad igual a $N = 3$ y remplazando los valores se obtiene.

$$S_y = 590,06 \text{ MPa}$$

4.9.1. MATERIAL DEL TORNILLO

Al momento de seleccionar el material para la construcción del tornillo se debe tomar en cuenta las condiciones de operación que afectaría al mismo. El tornillo debido al proceso que realiza (extrusión de aserrín), debe soportar una temperatura de 360 °C y debe ser resistente a la corrosión debido a la aparición de lignina y vapor de agua, además se encuentra sometido a un desgaste debido a la fricción que existe con el aserrín y el cilindro, por lo que el material debe tener buena resistencia al desgaste; y es indispensable que la resistencia a la fluencia del material sea de 590 MPa como se indicó en la sección 4.9; también es importante la disponibilidad en el mercado y su costo.

Para la fabricación del tornillo se seleccionó el siguiente material AISI 4140, el cual cumple con las condiciones antes mencionado.

Se escogió este material por las características que presenta; es un acero medio al carbono con aleaciones de cromo y molibdeno, sus principales características son su alta templabilidad, buena resistencia a la fatiga, a la abrasión y al impacto, además resiste temperaturas de más de 540°C (Suministros tecnicos S.A, s.f.). Es un material fácil de conseguir en el mercado y a bajo costo.

“Se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.” (Suministros tecnicos S.A, s.f.)

En la siguiente tabla se muestra las propiedades del material.

Tabla 4. 13 Propiedades del material del tornillo

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

Acero AISI 4140		
Resistencia a la fluencia	[MPa]	690
Resistencia a la tensión	[MPa]	807

4.10. LONGITUD CUÑA DEL TORNILLO

De cálculos anteriormente realizados se tomarán los siguientes valores. El eje de transmisión tiene un torque $T = 485,52 \text{ Nm}$, el diámetro del eje donde va acoplado con el eje de transmisión es de $d = 0,04 \text{ m}$; como se menciona en la sección 4.8.4 las cuñas se fabrican con un acero AISICD 1020 con un $S_y = 352 \text{ MPa}$. Para el cálculo el ancho de la cuña es igual a $w = 9,52 \times 10^{-3} \text{ m}$ (Ver anexo D-7). Reemplazando los valores en la ecuación 4.37 se obtiene.

$$L = 0,04 \text{ m}$$

Reemplazando los valores en las ecuaciones 4.38 y 4.39 se obtiene.

$$S = 0,0377 \text{ m}$$

$$T = 0,0506 \text{ m}$$

La siguiente tabla muestra las dimensiones de la cuña y cuñeros.

Tabla 4. 14 Dimensiones de la cuña y cuñeros del tornillo

Dimensiones de la cuña y cuñeros		
Ancho de la cuña	[m]	$9,52 \times 10^{-3}$
Altura de la cuña	[m]	$9,52 \times 10^{-3}$
Profundidad de cuñero en el eje	[m]	$5,34 \times 10^{-3}$
Profundidad de cuñero en el cubo	[m]	$4,31 \times 10^{-3}$
Longitud de la cuña	[m]	0,04

4.11. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos tienen una gran variedad de tipos, configuraciones y tamaños de acuerdo a la aplicación y necesidad.

Los rodamientos seleccionados son de rodillo cónico debido a que debe soportar carga axial. Estos soportan altas fuerzas tanto axiales como radiales. Generalmente es necesario un segundo rodamientos de rodillo cónico montado simétricamente como guía en sentido contrario.

La selección de un rodamiento adecuado depende de la magnitud de las cargas estáticas y dinámicas que se aplican. Las cargas que se aplican son las siguientes:

Carga radial rodamiento A; $F_{ra} = R_{ay} = 2508,24 \text{ N}$

Carga radial rodamiento B; $F_{rb} = R_{by} = 1445,81 \text{ N}$

Carga axial rodamiento B; $F_a = 123,15 \text{ KN}$

El rodamiento a seleccionar es el que se encuentra en el punto B como se muestra en la figura 4.6, debido a que este soporta la carga axial.

4.11.1. RODAMIENTO B SOLICITACIÓN DINÁMICA

Al analizar el rodamiento bajo una sollicitación dinámica se calculara la capacidad de carga dinámica básica para seleccionar el rodamiento adecuado, mediante la siguiente ecuación.

$$C' = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Ecuación 4. 40 Capacidad de carga dinámica

Donde:

C' = capacidad de carga dinámica básica teórico.

P_d = carga dinámica equivalente de diseño

L_d = duración de diseño

K = factor para rodamientos cónicos (3,33)

Para calcular la duración del rodamiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_d = h * n * 60 \text{ min/hr}$$

Ecuación 4. 41 Duración de diseño

Donde:

h = duración en horas del rodamiento

n = velocidad de giro del eje

Se asume que la vida nominal del rodamiento es de h = 8000 horas de trabajo. Remplazando los valores se obtiene:

$$L_d = 105600000 \text{ rev}$$

Para el cálculo de la carga dinámica equivalente de diseño se asume el valor de Y = 0,9 aplicando la siguiente ecuación.

$$P_d = 0,4 * F_{rb} + Y * F_a$$

Ecuación 4. 42 Carga dinámica equivalente

Remplazando los valores se obtiene:

$$P_d = 111,41 \text{ kN}$$

Ahora se puede calcular la capacidad de carga dinámica básica con la ecuación 4.40.

$$C' = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 450,85 \text{ kN}$$

Con este dato se escoge el rodamiento adecuado. Se escogió el rodamiento cónico HH914449 (Ver anexo E-1); con los valores del rodamiento seleccionado se verifica que tenga la suficiente capacidad de carga dinámica.

$$C' = P \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 401,02 \text{ kN}$$

El rodamiento de rodillo cónico seleccionado funciona correctamente, debido a $C' \leq C$.

4.12. DISEÑO DEL CILINDRO

Para la selección del material del cilindro se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Disponibilidad del material en el mercado.
- Destino de uso.
- Costo.

Se debe tomar en cuenta que el cilindro es elemento que va a contener en su interior al tornillo, además debe ser resistente. Para su fabricación se puede realizar en un acero de barra maciza o un acero de barra perforada, pero debido al proceso de mecanizado en un acero de barra maciza el porcentaje de material desperdiciado es aproximadamente del 43% a diferencia de la barra perforada que es del 17,5 % aproximadamente.

Tomando en cuenta los parámetros mencionados anteriormente; para la fabricación del cilindro se seleccionó el material AISI 1518, que es un acero en barra perforada al carbono con alto contenido de manganeso de alta resistencia y excelente soldabilidad; además este acero al tener la forma de tubo permite mayor facilidad de maquinado y ahorro de material para obtener la pieza con las medidas deseadas; también se debe tomar en cuenta que es un material que se consigue fácil en el mercado y a un costo bajo. Usualmente es utilizado para la fabricación de bujes, acoples, piñones y ejes de transmisión. (Suministros técnicos S.A, s.f.)

Este material tiene una resistencia a la fluencia de $S_y = 490$ MPa y un esfuerzo a la tracción de $S_u = 657$ MPa (Ver Anexo F-1).

4.12.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CILINDRO

Para determinar el diámetro exterior del cilindro, se debe calcular el espesor que tendrá este. Para calcular el espesor se realizó el análisis como un cilindro de pared gruesa ya que en su interior debe soportar una alta presión.

El diámetro exterior del cilindro se utilizará para la selección de la potencia de las bandas calefactoras.

Para realizar el cálculo se tomara como dato la presión interna de $P = 80$ MPa, además de valores anteriormente determinados, mediante la siguiente ecuación.

$$t = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{2P}{\sigma_{di} - 2P}} - 1 \right)$$

Ecuación 4. 43 Espesor pared cilindro

Donde:

D = diámetro interno.

P = presión.

Con el valor del esfuerzo de fluencia del material se calcula el esfuerzo de diseño, para garantizar que el elemento cargado es seguro, mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_{di} = \frac{S_y}{N}$$

Ecuación 4. 44 Esfuerzo de diseño

Donde:

N = factor de seguridad

S_y= limite a la fluencia del material del cilindro

Remplazando los valores, y con un factor de seguridad N=2 (Ver Anexo D-4) se obtiene

$$\sigma_{di} = 245 \text{ MPa}$$

$$t = 0.0135 \text{ m}$$

Una vez obtenido este valor se comprueba si en realidad es un cilindro de pared gruesa con la siguiente relación.

$$\frac{D}{t} < 10$$

$$5,38 < 10$$

El cilindro es de pared gruesa.

El espesor seleccionado para el cilindro será de t = 0,019 m.

4.13. SELECCIÓN PERFIL ESTRUCTURA

La estructura es aquella que soporta las partes de la máquina briqueteadora y debe ser lo suficientemente rígida para soportar todas las cargas que esta genera al momento de realizar su trabajo. Para la selección del tipo de perfil para la estructura se seleccionará la viga que este en peor condición, en este caso se realiza el análisis de las vigas que soportan el motor de la máquina como se muestra en la siguiente figura.

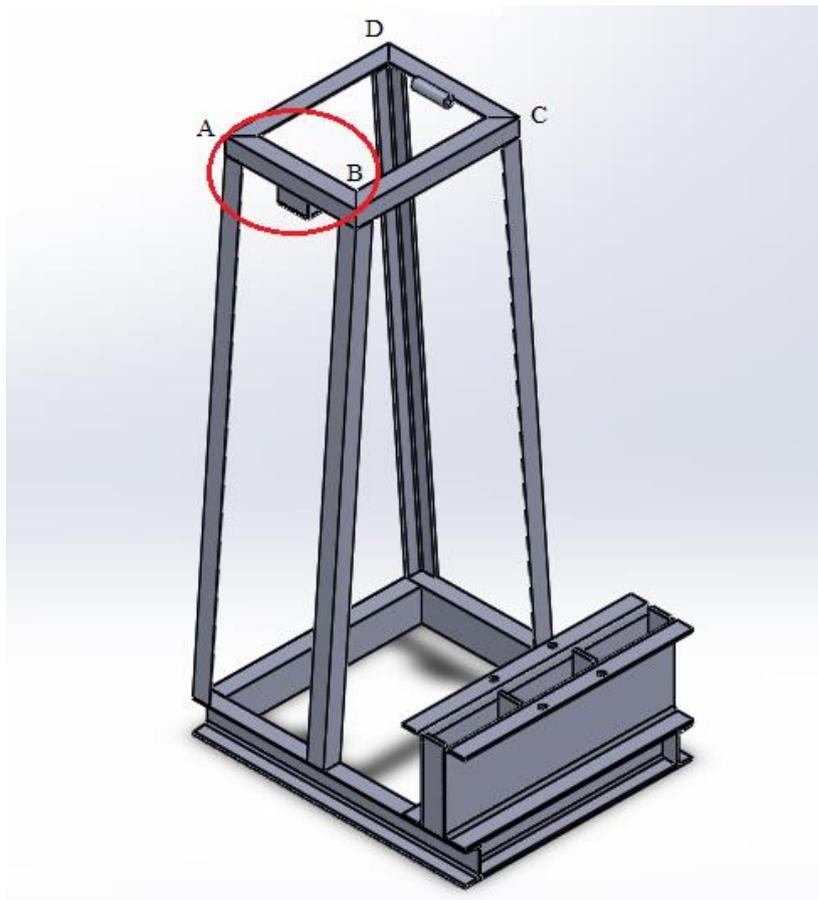


Figura 4. 10 Estructura máquina

Las cargas que actúan sobre es la viga AB son el peso del motor $P_{mo} = 784.8 \text{ N}$ y la fuerza generada por las poleas $F_B = 1.6 \text{ kN}$. Al trasladar la fuerza F_B hacia el punto crítico de la viga esta genera un momento de $M_{FB} = 320.4 \text{ Nm}$; debido a que el motor esta soportado por dos vigas iguales estas cargas se dividen para dos. En la siguiente figura se muestran la aplicación de las cargas en la viga.

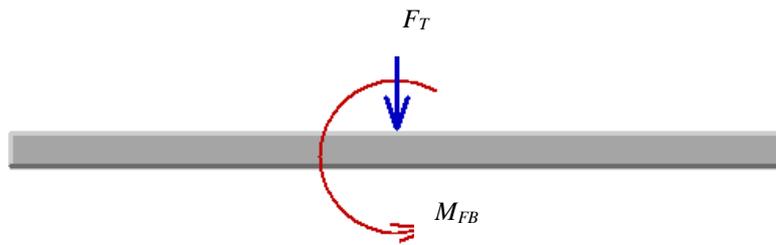


Figura 4. 11 Viga del motor

Fuente. MDSolids

En la siguiente figura se muestran los diagramas de cortes y momentos de la viga.

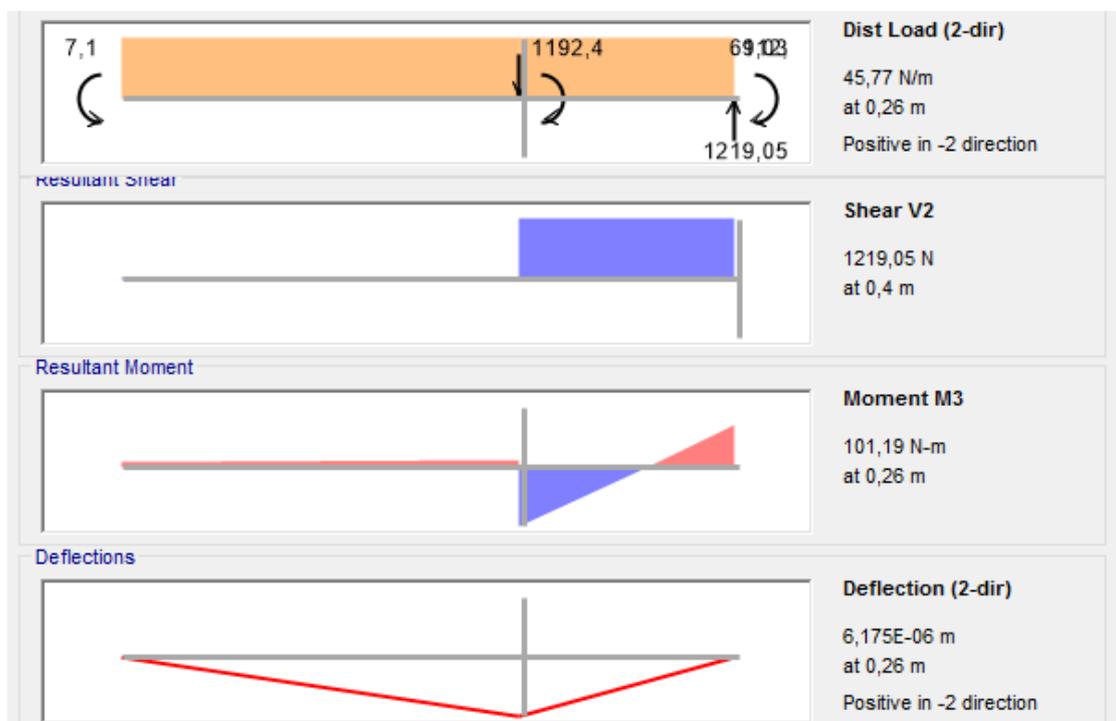


Figura 4. 12 Diagrama cortes y momentos viga del motor

Fuente: SAP 2000

El momento máximo en la viga es igual $M_{\max} = 101.19 \text{ Nm}$.

Para la construcción de la estructura se seleccionó el acero estructura A36, dicha selección se realizó tomando en cuenta que es el acero estructural más comercial, además de poseer una buena soldabilidad y un bajo costo de adquisición. En la siguiente tabla se indica las principales propiedades del material.

Tabla 4. 15 Propiedades acero A36

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

ACERO A36		
Limite a la fluencia	[MPa]	250
Esfuerzo ultimo a la tracción	[MPa]	400

Para realizar el cálculo del módulo de sección se utiliza la siguiente ecuación.

$$S = \frac{M}{\sigma_d}$$

Ecuación 4. 45 Modulo de sección estructura

Donde:

M = momento máximo

σ_d = esfuerzo de diseño

Para determinar el esfuerzo de diseño se aplica la ecuación 4.44, se tomará un valor de factor de seguridad de $N = 6$ (Ver anexo D-4). Reemplazando los valores en la ecuación 4.40 se obtiene.

$$\sigma_d = 41,66 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.42 tenemos.

$$S = 2,441 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Con este valor se seleccionó el perfil tipo L de 2 x 2 x 1/4 in (Ver anexo G-1).

4.14. DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA

Esta parte de la máquina está destinada para el almacenamiento y abastecimiento de la materia prima. Para el diseño de la tolva no hay especificaciones, el tamaño depende de la aplicación o la cantidad de producción, para este caso se diseñara una tolva con una capacidad de 28 Kg.

Para el diseño de la tolva se escogió un modelo tipo polígono trapezoidal. En la siguiente figura se muestra el tipo de modelo de la tolva.



Figura 4. 13 Modelo de tolva

En la siguiente tabla se muestra las medidas escogidas para la tolva.

Tabla 4. 16 Medidas tolva

Base menor	Base mayor	Altura
[m]	[m]	[m]
$a_1 = 0,16$	$a_2 = 0,7$	$h = 0,46$
$b_1 = 0,16$	$b_2 = 0,7$	

Para determinar su volumen se emplea la siguiente ecuación.

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

Ecuación 4. 46 Volumen tolva

Donde:

h = altura de la tolva [m]

A_1 = área base menor [m²]

A_2 = área base mayor [m²]

Calculando las áreas y reemplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$V = 0,14 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del espesor de la tolva se toma las dimensiones determinadas anteriormente y se calcula la fuerza que actúa sobre las paredes como indica la siguiente figura.

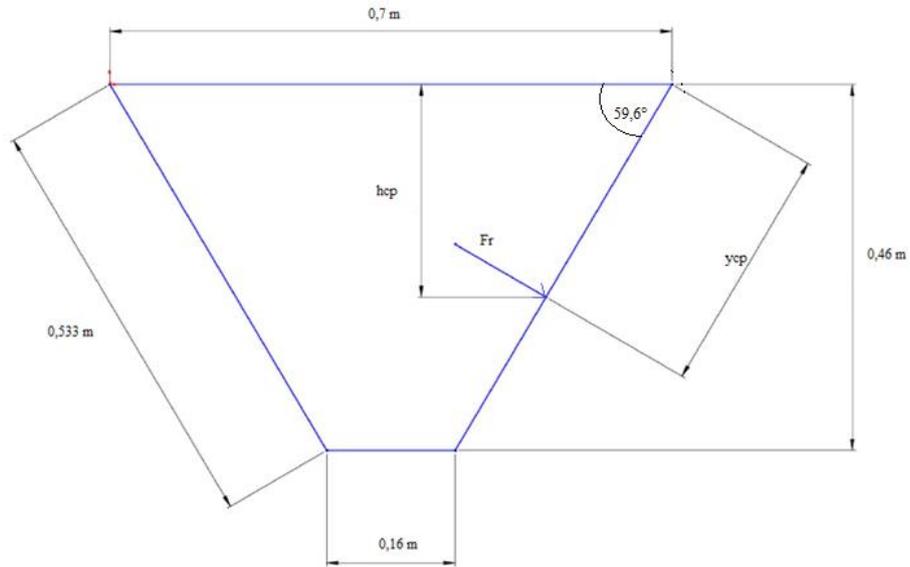


Figura 4. 14 Dimensiones tolva

Para el cálculo del área y momento de inercia se divide en tres figuras conocidas como indica la siguiente figura.

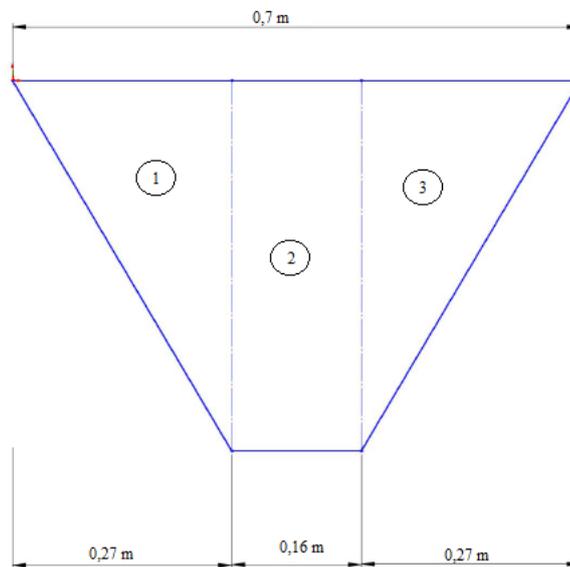


Figura 4. 15 Dimensiones secciones tolva

El anexo G-2 muestra las ecuaciones para el cálculo del área y momento de inercia de cada figura. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla 4. 17 Cálculo de áreas y momentos de inercia

Referencia figura	Área (A) [m ²]	Momento de inercia (I) [m ⁴]	Distancia centro de gravedad (y) [m]	A * y [m ³]
1	0,062	7,30*10 ⁻⁴	0,15	9,3*10 ⁻³
2	0,074	1,29*10 ⁻³	0,23	1,7*10 ⁻²
3	0,062	7,30*10 ⁻⁴	0,15	9,3*10 ⁻³
Suma	0,198	2,25*10 ⁻³		3,5*10 ⁻²

Para el cálculo de la distancia al centro de presión donde se encuentra aplicada la fuerza se utiliza la siguiente ecuación.

$$y_{cp} = \frac{I}{y_{cg} * A} + y_{cg}$$

Ecuación 4. 47 Distancia al centro de presión

Donde:

y_{cg} = distancia al centro de gravedad.

Para calcular la distancia al centro de gravedad se aplica la siguiente ecuación.

$$y_{cg} = \frac{A * y}{A}$$

Ecuación 4. 48 Distancia al centro de gravedad

Remplazando los valores se obtiene.

$$y_{cg} = 0,18 \text{ m}$$

$$y_{cp} = 0,24 \text{ m}$$

La fuerza resultante Fr (ver figura 4,14) que se aplica en la pared de la tolva se determina mediante la siguiente ecuación.

$$Fr = \rho * g * h_{cp} * A$$

Ecuación 4. 49 Fuerza resultante

Donde:

ρ = densidad del aserrín.

g = gravedad.

h_{cp} = altura hasta el centro de presión.

Remplazando los valores se obtiene.

$$Fr = 86,44 \text{ N}$$

Para el calcular el espesor se asume la plancha como si fuera una viga y se determina el momento máximo que se produce aplicando la fuerza Fr . La siguiente figura muestra el resultado.

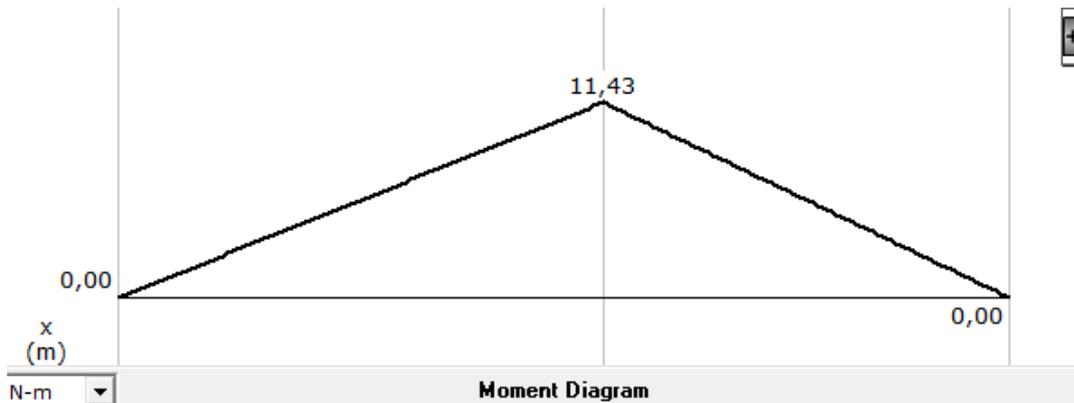


Figura 4. 16 Momento plancha tova

El momento máximo es igual $M = 11,43 \text{ Nm}$.

Para la fabricación de la tova se utilizará el acero A3-6 como ya se seleccionó en la sección 4.13. Aplicando la ecuación 4.44 se calcula el esfuerzo del diseño ($N = 5$).

$$\sigma_{di} = 50 \text{ MPa}$$

Remplazando los valores en la ecuación 4.45 se calcula el módulo de sección.

$$S = 2,28 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

El módulo de sección para una forma rectangular se calcula con la siguiente ecuación.

$$S = \frac{b * h^2}{6}$$

Ecuación 4. 50 Módulo se sección forma rectangular

La siguiente figura muestra la sección transversal de la plancha.

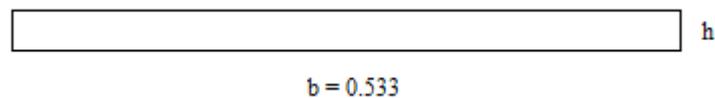


Figura 4. 17 Sección transversal de la plancha

Despejando h de la ecuación 4.49 y remplazando los valores se obtiene.

$$h = 1,6 * 10^{-3} m$$

Se seleccionó un espesor de plancha de 2 mm.

4.15. DISEÑO DE PERNOS PARA LA SUJECIÓN DE LAS JUNTAS

Los pernos son los elementos más utilizados en la construcción de máquinas cuando se requiere de uniones no permanentes.

Para el cálculo se utilizará el diseño de pernos con tracción inicial desconocida debido a que el apriete de los perno se lo realiza con una llave convencional y el par es controlado por el operario y puede estar en un rango amplio. (Faires).

Debido a que la tracción inicial es desconocida el diámetro del perno se calcula con la siguiente ecuación. (Faires)

$$A_T = \left(\frac{6 * F_e}{in^{-1} * S_y} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 4. 51 Área de esfuerzo a tracción del perno

Donde:

A_T = área de esfuerzo a tracción

F_e = fuerza externa

S_y = límite de fluencia del material del tornillo

Para el cálculo de la fuerza externa F_e , se asumirá el número de pernos ($n_b = 8$), y se aplica la siguiente ecuación.

$$F_e = \frac{F_{et}}{n_p}$$

Ecuación 4. 52 Fuerza externa

Donde:

n_p = números de pernos

F_{et} = fuerza externa total (fuerza axial)

Remplazando los valores se obtiene.

$$F_e = 15,39 \text{ kN}$$

De la tabla del anexo G-3 se selecciona el grado de acero del perno a utilizar. Se seleccionó un perno de alta resistencia SAE grado 8, las propiedades se especifican en el mismo anexo.

Aplicando la ecuación 4.51 y remplazando los valores se obtiene.

$$A_T = 1,9 * 10^{-4} m^2 = 0,29 \text{ in}^2$$

De la tabla del anexo G-4 se selecciona el perno con el valor de A_T . Se seleccionó un perno de rosca gruesa de diámetro mayor $d = 0,75 \text{ in}$, ya que el área de esfuerzo de éste es la más cercana, por encima, al área requerida.

Una vez determinado el diámetro de los pernos se debe verificar que no exista separación de las partes mediante la siguiente ecuación. (Norton, 2011)

$$N_{sep} = \frac{F_i}{F_e * \left(1 - \frac{k_b}{k_m + k_b}\right)}$$

Ecuación 4. 53 Factor de seguridad contra separación de juntas

Donde:

N_{sep} = factor de seguridad contra separación de juntas

F_i = fuerza de apriete

k_b = constante elástica del perno

k_m = constante elástica de la junta

La fuerza de apriete se determina mediante la siguiente ecuación.

$$F_i = S_i * A_T$$

Ecuación 4. 54 Fuerza de apriete

Donde:

S_i = esfuerzo de apriete

Según (Budynas & Nisbett, 2008) recomienda un $S_i = 0,75 S_p$ (S_p ver anexo G-3), para conexiones reutilizables. Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$F_i = 134,27 \text{ kN}$$

Las constantes elásticas del material y el perno se determinan mediante las siguientes ecuaciones

$$k_b = \frac{A_b * E_b}{L_b}$$

Ecuación 4. 55 Constante elástica del perno

$$k_m = \frac{A_c * E_c}{L}$$

Ecuación 4. 56 Constante elástica de la junta

Donde:

A_b = área de perno

E = módulo de elasticidad del acero (207 GPa)

A_c = área del material a sujetar

L_b = longitud del perno

L = longitud (espesor) del material a sujetar

Para el cálculo se asumirá que las partes a sujetar tienen un espesor de 0,015 m cada una. La longitud del perno será mayor a al espesor de las dos partes a unir más la altura de la tuerca (ver anexo G-5). $L_b = 0,038$ m. El área A_c es igual al área de las placas en contacto menos el área correspondiente a los agujeros.

Remplazando los valores en las ecuaciones 4.55 y 4.56 se obtiene.

$$k_b = 1,79 * 10^9 \frac{N}{m}$$

$$k_m = 3,84 * 10^{11} \frac{N}{m}$$

Remplazando los valores en la ecuación 4.53 se obtiene.

$$N_{sep} = 8,76$$

El factor de seguridad contra la separación es alto lo que garantiza que las juntas no se separaran; permitiendo reducir el diámetro o el número de pernos.

Para la unión de las juntas de la base de la tolva y el cilindro se emplearan 8 pernos con un diámetro $d = 0.0127$ m, obteniendo un $N_{sep} = 3.7$, el cual es aceptable.

Para la unión de las juntas de la base de la tolva y la caja de rodamientos se emplearan 4 pernos con un diámetro $d = 0.019$ m, obteniendo un $N_{sep} = 4.38$, el cual es aceptable.

4.16. SECCIÓN DE CORTE

Al salir las briquetas de la máquina puede o no haber un tubo conductor; esto dependerá del sistema de corte que se implementará.

La briqueta puede ser cortada manual o mecánicamente; es manual si un obrero está a la espera de la briqueta y la corta según el tamaño deseado, obteniendo como resultado tamaños distintos de briquetas, ya que esto dependerá de la habilidad del obrero; y es mecánico si a la salida de la máquina briqueteadora se encuentra un tubo conductor que dirige la briqueta hacia el elemento mecánico que efectuará el corte a la medida deseada obteniendo briquetas del mismo tamaño.

4.16.1. SECCIÓN DE CORTE IMPLEMENTADO

Al finalizar el proceso de briqueteado, la briqueta sale de un canal cilíndrico que conduce la briqueta hasta una placa inclinada 60° mediante la cual la briqueta se cortará a la medida deseada; cayendo a un depósito (caja) donde se irán almacenado las briquetas cortadas.

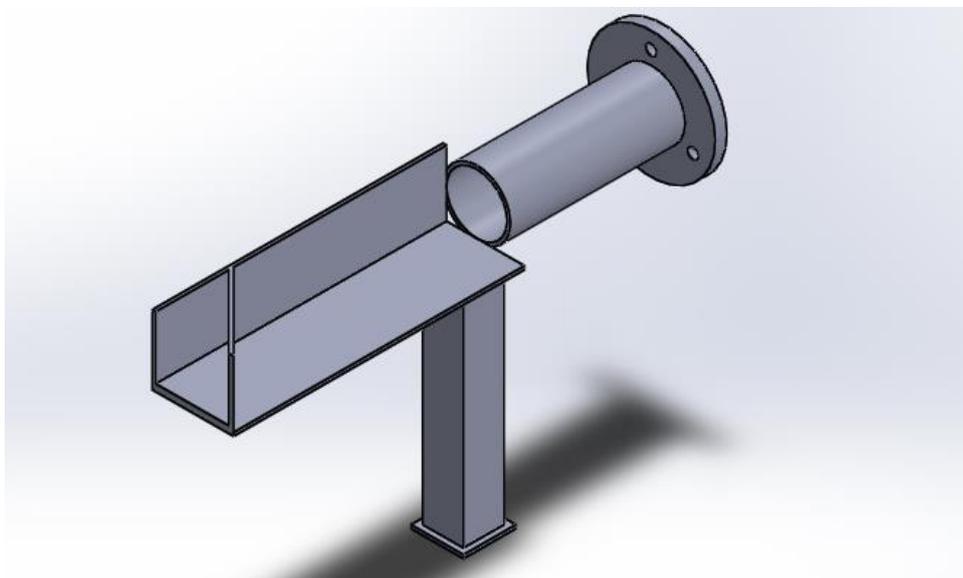


Figura 4. 18 Sección de corte

CAPÍTULO V

SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

5.1. POTENCIA BANDAS CALEFACTORAS

El calor que se necesita al iniciar el proceso es el máximo, debido a que se debe incrementar la temperatura del cilindro hasta su valor de operación. Para determinar la las bandas calefactoras se debe conocer la forma que tendrán estas, y debido a que van colocadas en el cilindro la forma de estas será cilíndricas.

La potencia requerida que deben entregar las bandas calefactoras para calentar el cilindro, está en función del calor que se necesita en estado transitorio, debido a que el cilindro debe ser calentado y alcanzar la temperatura de operación antes de iniciar el proceso.

El cilindro al comenzar con el proceso se encuentra a temperatura ambiente, encendiendo la bandas calefactoras comienza el proceso de calentamiento, y estas comienzan a entregar calor, el cual se va acumulando y elevando la temperatura del cilindro a medida que pasa el tiempo.

5.1.1. BALANCE DE ENERGÍA EN ESTADO TRANSITORIO

La siguiente figura muestra el balance energético presente en el cilindro.

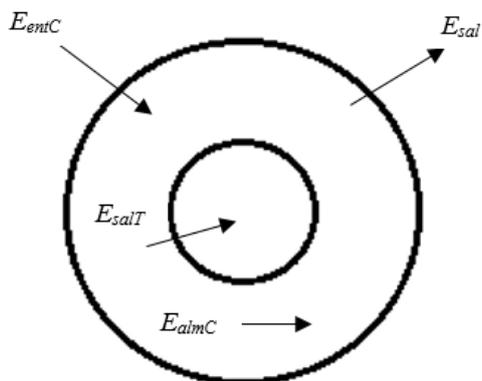


Figura 5. 1 Balance energético del cilindro

La siguiente figura muestra el balance energético presente en el cilindro.

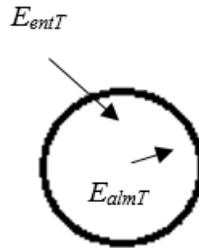


Figura 5. 2 Balance energético del tornillo.

La siguiente ecuación muestra el balance de energía de las figuras.

$$E_{entC} = E_{almC} + E_{sal} + E_{salT}$$

Ecuación 5. 1 Balance de energías

Donde:

E_{entC} = energía que entra al cilindro [W]

E_{almC} = energía almacenada en el cilindro [W]

E_{sal} = energía que sale del cilindro hacia el ambiente [W]

E_{entT} = energía que entra al tornillo [W]

E_{almT} = energía almacenada en el tornillo [W]

E_{salT} = energía que sale del cilindro hacia el tornillo [W]

La energía almacenada en el cilindro es igual a.

$$E_{alm} = m_c c_{pc} \frac{dT_c}{dt}$$

Ecuación 5. 2 Energía almacenada en el cilindro

Donde:

m_c = masa del cilindro [kg].

c_{pc} = calor específico del material del cilindro [$\frac{J}{kg^\circ K}$]

$\frac{dT_c}{dt}$ = variación de temperatura respecto al tiempo.

La energía que sale del cilindro es igual a.

$$E_{sal} = hA(T_0(t) - T_a)$$

Ecuación 5.3 Energía que sale del cilindro

Donde:

h = coeficiente de convección [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$].

A = área de transferencia de calor [m^2]

$T_0(t)$ = temperatura del cilindro variante con el tiempo [$^{\circ}C$].

T_a = temperatura del medio ambiente [$^{\circ}C$].

La energía almacenada en el tornillo es igual a.

$$E_{almT} = m_t c_{pt} \frac{dT_t}{dt}$$

Ecuación 5.4 Energía almacenada en el cilindro

Donde:

m_t = masa del tornillo [kg].

c_{pt} = calor específico del material del tornillo [$\frac{J}{kg \cdot K}$].

$\frac{dT_c}{dt}$ = variación de temperatura respecto al tiempo.

Considerando un contacto térmico ideal entre el cilindro y el tornillo

$$E_{salT} = E_{entT}$$

Al remplazar las ecuaciones 5.4, 5.3 y 5.2 en la ecuación 5.1 se obtiene.

$$E_{ent} = m_c c_{pc} \frac{dT}{dt} + hA(T_0(t) - T_a) + m_t c_{pt} \frac{dT}{dt}$$

Para resolver esta ecuación se realiza las siguientes sustituciones.

- $E_{ent} = Q$
- $Q_{(t)} = T_{(t)} - T_a$
- $dQ_{(t)} = dT_{(t)}$
- $M = \frac{hA}{m_c c_{pc} + m_t c_{pt}}$
- $P = \frac{Q}{m_c c_{pc} + m_t c_{pt}}$

Sustituyendo y reduciendo la ecuación queda.

$$\frac{dQ_{(t)}}{dt} + MQ_{(t)} = P$$

Al resolver la ecuación diferencial se tiene.

$$Q_{(t)} = Q_0 e^{(-Mt)} + (1 - e^{(-Mt)}) \left(\frac{P}{M} \right)$$

Sustituyendo los valores anterior y teniendo en cuenta que $T_{(0)} = T_a$, la ecuación queda.

$$T_{(t)} = \left(1 - e^{\left(-\frac{hAt}{m_c c_{pc} + m_t c_{pt}} \right)} \right) \left(\frac{Q}{hA} \right) + T_a$$

Ecuación 5. 5 Estado transitorio

En la ecuación interviene el coeficiente de convección (h), el cual se calcula a continuación.

5.1.2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se produce cuando a un cuerpo sólido se le coloca a algún tipo de fluido que este a diferente temperatura que el cuerpo.

Mediante la siguiente expresión se encuentra la temperatura media de película entre el aire ambiente y la superficie del sólido.

$$T_f = \frac{T_s + T_a}{2}$$

Ecuación 5. 6 Temperatura media de película

Donde:

T_s = temperatura de la superficie del cilindro (350 °C)

T_a = temperatura del media ambiente (20 °C)

Remplazando los valores se obtiene.

$$T_f = 180 \text{ °C} = 458,15 \text{ °K}$$

A esta temperatura media se escoge las propiedades del aire (Ver anexo H-1).

- γ = viscosidad cinemática [$\frac{m^2}{s}$]
- k = conductividad térmica [$\frac{W}{m^{\circ}K}$]
- Pr = número de Prandtl

Con la temperatura media de película se determina el coeficiente de expansión térmica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 0,002 \text{ } ^{\circ}K^{-1}$$

La longitud característica en el número de Grashof, del cilindro horizontal, es el diámetro por lo tanto se utiliza la siguiente ecuación.

$$Gr = \frac{\beta g \Delta T D^3}{\gamma^2}$$

Ecuación 5. 7 Número de Grashof

Donde:

g = gravedad.

ΔT = variación de temperatura

D = diámetro exterior del cilindro.

Remplazando los valores se obtiene.

$$Gr = 6,659 * 10^6$$

Con el producto $Gr*Pr$ que es el número de Grayleigh, permite encontrar el número de Nusselt con la siguiente ecuación.

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

Ecuación 5. 8 Número de Nusselt

Realizando las operaciones y reemplazando se obtiene.

$$Ra = Gr * Pr = 4,63 * 10^6$$

$$Nu = 22,47$$

El número de Nusselt para convección libre se calcula con la siguiente ecuación.

$$Nu = \frac{hD}{k}$$

Ecuación 5. 9 Numero de Nusselt convección libre

Despejando el coeficiente de convección y reemplazando los valores en la ecuación se obtiene.

$$h = 8,07 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

5.1.3. INCREMENTO DE ENERGÍA INTERNA DE LA MATERIA PRIMA

La siguiente ecuación permite determinar la cantidad de energía necesaria para elevar la materia prima a la temperatura deseada.

$$E_{ag} = \frac{dm}{dt} cp_m (T_{sa} - T_a)$$

Ecuación 5. 10 Cantidad de calor agregado

Donde:

E_{ag} = cantidad de calor agregado [W].

$\frac{dm}{dt}$ = flujo másico [$\frac{kg}{s}$]

cp_m = calor específico de la materia prima [$\frac{J}{kg \cdot K}$].

T_{sa} = temperatura de la materia prima a la salida [°C].

Reemplazando los valores en la ecuación da como resultado.

$$E_{ag} = 4,04 kW$$

La cantidad teórica para elevar la temperatura es de 4,04 kW, para lo cual se selecciona una potencia de 4,5 kW distribuida en tres resistencias.

Al remplazar los valores en la ecuación 5.5 y haciendo varias iteraciones se determinó el tiempo de 1070 segundos para alcanzar la temperatura de 350 °C. En la siguiente tabla se muestra la variación de temperatura con el tiempo.

Tabla 5. 1 Variación de la temperatura

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
100	51,94
200	83,68
300	115,23
400	146,58
500	177,73
600	208,69
700	239,45
800	269,97
900	300,33
1000	330,51
1070	351,52

5.2. SELECCIÓN RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Se selecciona las resistencias eléctricas tipo abrazaderas debido a que son diseñadas para abrazar cualquier recipiente ya sea circular, cuadrado o rectangular, con diferentes tipos de apriete y terminales, además tiene la capacidad de soportar altas temperaturas y de proporcionar la energía térmica al material para ser compactado.

En este proyecto se seleccionó un tipo de resistencias tipo abrazadera circular de 0.11 m de diámetro y 0.11 m de ancho debido al cilindro, con apriete y terminales de tornillo y una potencia de 1.5 KW cada resistencia. En la siguiente figura se muestra el tipo de resistencia seleccionada.



Figura 5. 3 Resistencia tipo abrazadera.

Fuente. <http://www.sanarasa.com/wp-content/uploads/sin-escafandra.jpg>

5.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

“Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema” (Automatización y control, s.f.).

Un sistema de control debe conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Ser estable y no afectar su funcionamiento frente a perturbaciones y errores.
- Ser eficiente.
- Ser fácil de implementar y operar.

Un sistema de control está formado por los siguientes elementos:

- **Sensores:** captan los valores medidos del sistema.
- **Controlador:** utilizando los valores medidos por los sensores, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control.
- **Actuador:** ejecuta la acción calculada por el controlador y modifica las variables de control. (Automatización y control, s.f.)

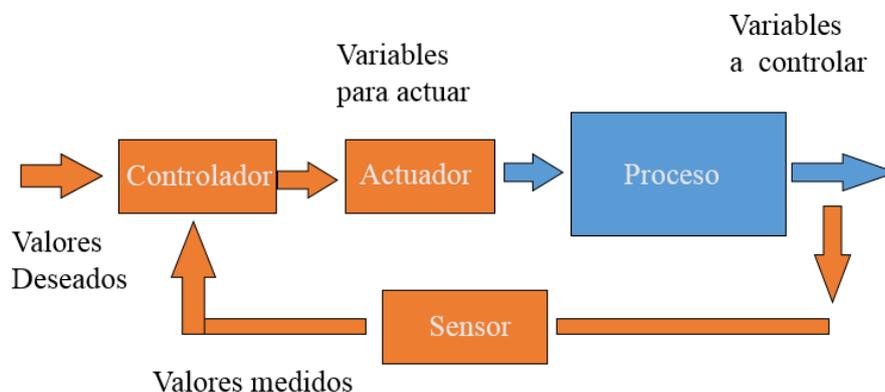


Figura 5. 4 Elementos sistema de control

5.4. SELECCIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA

FUNCIONES

- Controlar la temperatura.
- Fácil de implementar.
- Fácil instalación y mantenimiento

REQUISITOS DEL SISTEMA

- La temperatura a controlar esta en el rango de 330 a 350 °C.
- La temperatura no es crítica, no es indispensable que la temperatura este constante.
- Bajo costo implementación.

El tipo de control generalmente más utilizado en la industria es el control de dos posiciones llamado control On-Off, el cual tiene dos estados encendido y apagado, este tiene una forma simple de controlar un proceso con retroalimentación obteniendo una respuesta rápida y estable.

5.5. CONTROL ON-OFF

El control On-Off es la manera más simple para el control de temperatura, en el cual la salida del dispositivo presenta dos estados (encendido o apagado). El controlador pasa de un estado a otro cuando la variable controlada se desvía del valor deseado, es decir cuando la variable de proceso (temperatura) atraviesa el punto de consigna. (Roldán C., 2011)

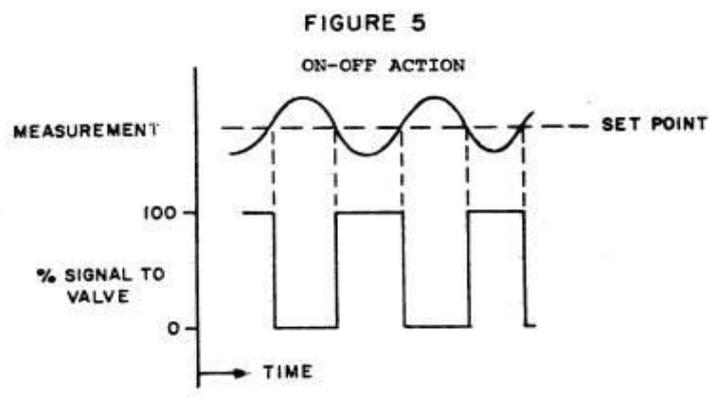


Figura 5. 5 Acción control On-Off

Fuente: http://www.sapiensman.com/automatic_control/automatic_control2.htm

Se observa que la acción On –Off solo depende del signo del error.

5.5.1. CONTROL ON-OFF SIN HISTÉRESIS

En el control On-Off sin histéresis (ideal) el cambio de estado del controlador se realiza muy rápido, por lo que los dispositivos finales de control podrían sufrir desgastes o daños, debido a esto este tipo de control no es muy utilizado.

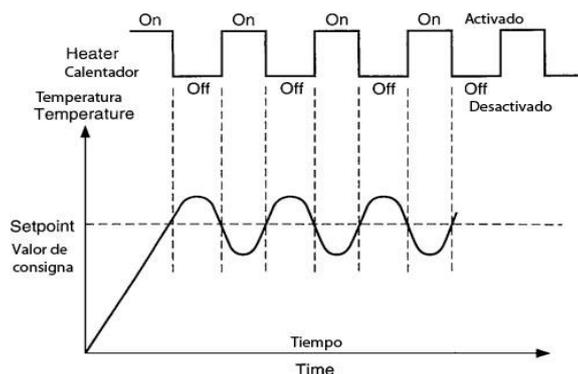


Figura 5. 6 Control On-Off sin Histéresis

Fuente: http://www.tecnoficio.com/electricidad/instrumentacion_industrial4.php

5.5.2. CONTROL ON-OFF CON HISTÉRESIS

El control On-Off con histéresis es el más utilizado debido a que existe una histéresis entre los dos estados, consiguiendo que el controlador se active a una cierta cantidad por debajo del set point y se apague a una cierta cantidad por encima del set point, evitando así que los elementos finales de control se desgasten rápidamente.

CARACTERÍSTICAS

- Este modo de control depende del signo del error.
- La variación cíclica continúa de la variable controlada.
- El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada.
- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retraso mínimo y velocidad de reacción lenta.

- Es de simple mecanismo de construcción, por consiguiente este tipo de controladores es de extenso uso, y mayormente son utilizados en sistemas de regulación de temperatura. (Roldán C., 2011)

VENTAJAS

- Es un control simple.
- Tiene un bajo precio de instalación.
- Fácil instalación, ajuste y mantenimiento.
- Se utiliza en procesos de baja precisión.

DESVENTAJAS

- Tiene mínima precisión.
- Desgaste de los actuadores.
- Poca calidad con el producto final.
- No recomendable para procesos de alto riesgo. (Roldán C., 2011)

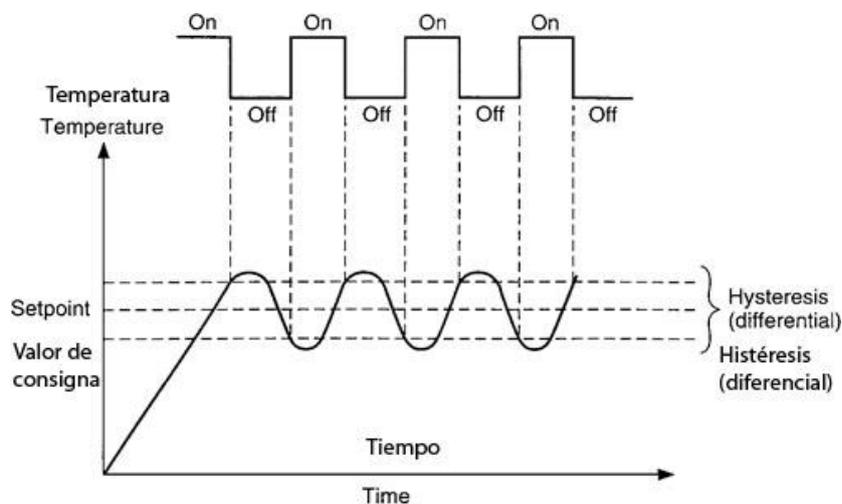


Figura 5. 7 Control On-Off con Histéresis

Fuente: http://www.tecnoficio.com/electricidad/instrumentacion_industrial4.php

Para este sistema se selecciona un control de temperatura ON-OFF con histéresis, para reducir el desgaste de los elementos de conmutación, extender su vida útil y disminuir el consumo de energía eléctrica.

5.5.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

Para realizar las mediciones de la temperatura se utilizó una termocupla adaptada a la paredes del cilindro, la cual es la encargada de enviar las señales al controlador, el controlador a su vez es el encargado de activar o desactivar los elementos calefactores (resistencias eléctricas).

El sistema implementado funciona de la siguiente forma: existe un valor inferior de temperatura, cuando la temperatura se acerca a este valor, el sistema de calefacción debe activarse para evitar que la temperatura baje; de la misma manera existe un valor superior, por lo que al acercarse a ese valor, el sistema debe desconectarse para evitar que la temperatura aumente. Consiguiendo que la temperatura se mantenga en el rango deseado.

5.6. SELECCIÓN ELEMENTOS DE SISTEMA DE CONTROL

5.6.1. TERMOCUPLA

Las termocuplas son los sensores de temperatura más utilizados en la industria, constan de dos alambres de diferente material unidos en un extremo.

TERMOCUPLA TIPO J

Este tipo de termocupla resultan convenientes para trabajar en forma continua bajo atmosferas oxidantes, reductoras e inertes su rango de medición en grados centígrados va desde 0 a 700. La principal ventaja es su bajo costo. En la siguiente figura se muestra la termocupla tipo J.



Figura 5. 8 Termocupla tipo J.

Fuente: http://refriairesa.com/img/productos/foto_022-0001_c351f131.JPG

Debido a que para el proceso de briqueteado se va a trabajar en un rango de temperatura de 20 a 360 °C este tipo de termocupla se ajusta a las necesidades.

5.6.2. CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Un controlador de temperatura es un instrumento que se utiliza para monitorear y controlar la temperatura de un medio ambiente deseado.

Por comodidad, economía y facilidad de uso se utilizara un pirómetro digital TE4RB10w (Ver Anexo I-1), el cual controlara a las resistencias eléctricas por medio de un control On-Off con histéresis; además este es idóneos para realizar las mediciones de temperatura de alguna sustancia sin tener contacto con ella. En la siguiente figura se muestra el pirómetro digital.



Figura 5. 9 Pirómetro digital

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

5.7. SISTEMA ELÉCTRICO

5.7.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DEL MOTOR

De acuerdo con la norma NEC en la sección 430-22, establece que el conductor que alimenta a un único motor de corriente alterna no debe ser menor al 125% de la corriente nominal del motor.

Las especificaciones del motor están (Ver Anexo B-1). Aplicando la siguiente ecuación se tiene:

$$I = I_c * 125\%$$

Ecuación 5. 11 Corriente en los conductores del motor

Donde:

I_c = corriente nominal del motor (A).

Remplazando los valores da como resultado.

$$I = 49 A$$

Para el cableado del motor se utilizó un cable flexible tripolar # 8 AWG de acuerdo con la tabla del Anexo I-2.

5.7.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Se debe seleccionar de acuerdo a la intensidad de corriente que circula por cada resistencia, dicha intensidad se calcula con la siguiente expresión.

$$I = \frac{P_r}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi}$$

Ecuación 5. 12 Corriente en los conductores de las resistencias

Donde:

P_r = potencia de las resistencias.

$\cos \varphi$ = factor de potencia.

Remplazando los valores se obtiene.

$$I = 14,76 A$$

Para el cableado de las resistencias eléctricas se utilizó un cable flexible tripolar # 12 AWG de acuerdo con la tabla del Anexo I-2.

5.7.3. DIMENSIONAMIENTO DE CONTACTORES DEL MOTOR Y RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

CONTACTOR DEL MOTOR

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

La fuente de alimentación del motor es trifásica de 220V, y por criterios de seguridad el contactor se sobredimensionara 1.2 de la corriente del motor.

$$I = 1.2 * 39.2 = 47 \text{ A}$$

Para dimensionar el contactor se debe tomar en cuenta los requerimientos del sistema y otras características como:

- Tipo de accionamiento.
- Numero de polos.
- Intensidad nominal.
- Frecuencia.
- Tipo de anclaje.
- Voltaje de accionamiento de la bobina.
- Costo.
- Disponibilidad en el mercado.

De acuerdo con esto se seleccionó un contactor Metasol LS Mc-50a (Ver Anexo I-3), que cumple con los requisitos anteriormente expuestos.

- Tipo de accionamiento: electromagnético.
- Numero de polos: 3 polos.
- Intensidad nominal: 50 A.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Tipo de anclaje: riel Din.
- Voltaje de accionamiento de la bobina: 220V.
- Costo: \$ 80.
- Disponibilidad en el mercado: muy comercial.

CONTACTOR DE LAS RESISTENCIAS

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para la selección del contactor de las resistencias se debe tomar en cuanta los siguientes requerimientos del sistema:

- La alimentación trifásica: 220 V.
- Intensidad de corriente 20 A.

Además de otros requisitos como:

- Tipo de accionamiento.
- Numero de polos.
- Intensidad nominal.
- Frecuencia.
- Tipo de anclaje.
- Voltaje de accionamiento de la bobina.
- Costo.
- Disponibilidad en el mercado.

De acuerdo con esto se seleccionó un contactor Metasol LS Mc-22b (Ver Anexo I-4), que cumple con los requisitos anteriormente expuestos.

- Tipo de accionamiento: electromagnético.
- Numero de polos: 3 polos.
- Intensidad nominal: 22 A.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Tipo de anclaje: riel Din.
- Voltaje de accionamiento de la bobina: 220 V.
- Costo.\$ 50.
- Disponibilidad en el mercado: muy comercial.

5.7.4. DIMENSIONAMIENTO DE BREAKERS TERMOMAGNÉTICOS DEL MOTOR Y RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

BREAKERS TERMOMAGNÉTICOS DEL MOTOR

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

La fuente de alimentación del motor es trifásica de 220V, y una corriente eléctrica de 50 A, como se determinó en la sección anterior.

Para dimensionar del breaker termomagnético se debe tomar en cuenta los requerimientos del sistema y otras características como:

- Numero de polos.
- Intensidad nominal.
- Tipo de anclaje.
- Costo.
- Disponibilidad en el mercado.

De acuerdo con esto se seleccionó un breaker termomagnético Schneider Electric C60N (Ver Anexo I-5), que cumple con los requisitos anteriormente expuestos.

- Numero de polos: 3 polos.
- Intensidad nominal: 50 A.
- Tipo de anclaje: riel Din.
- Costo: \$ 45.
- Disponibilidad en el mercado: muy comercial.

BREAKERS TERMOMAGNÉTICOS DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

La fuente de alimentación de las resistencias eléctricas es de 220V, y una corriente eléctrica de 20 A, como se determinó en la sección anterior.

Para dimensionar del breaker termomagnético se debe tomar en cuenta los requerimientos del sistema y otras características como:

- Numero de polos.
- Intensidad nominal.
- Tipo de anclaje.
- Costo.
- Disponibilidad en el mercado.

De acuerdo con esto se seleccionó un breaker termomagnético Schneider Electric C60N (Ver Anexo I-5), que cumple con los requisitos anteriormente expuestos.

- Numero de polos: 3 polos.
- Intensidad nominal: 20 A.
- Tipo de anclaje: riel Din.
- Costo: \$ 30.
- Disponibilidad en el mercado: muy comercial.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS Y PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

6.1. SIMULACIONES

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados a los elementos de la máquina mediante simulaciones, utilizando el método de elementos finitos en solidworks.

6.1.1. TORNILLO

Para comenzar se debe establecer las restricciones que presenta el elemento a analizar en este caso el tornillo, el cual va a estar restringido en la parte donde se acopla con el eje de transmisión, como se indica en la siguiente figura y tabla.

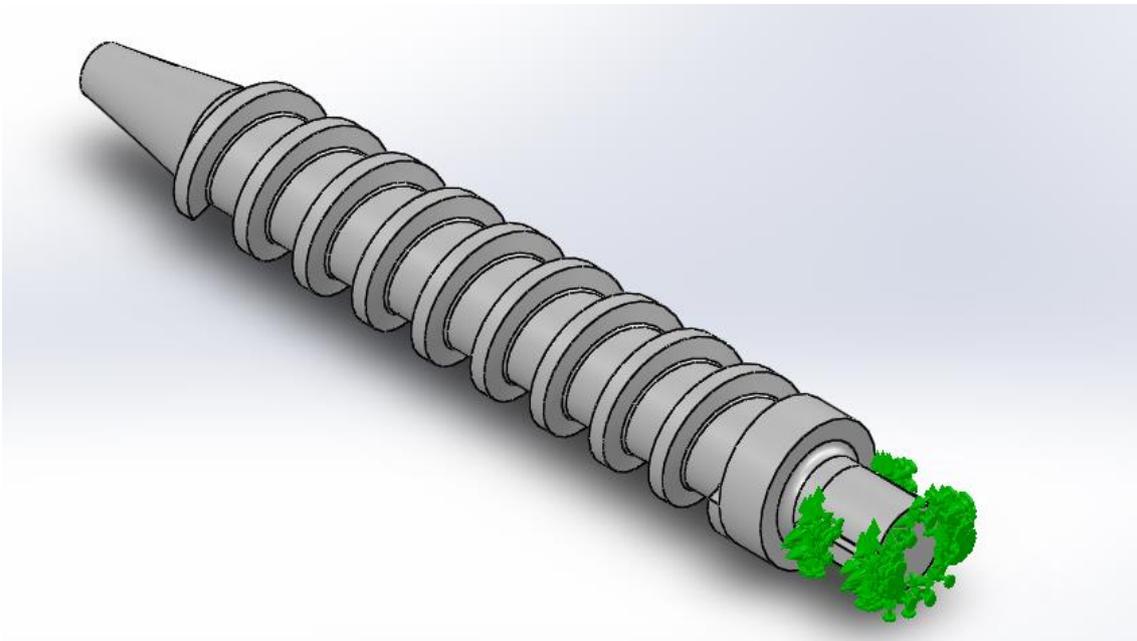
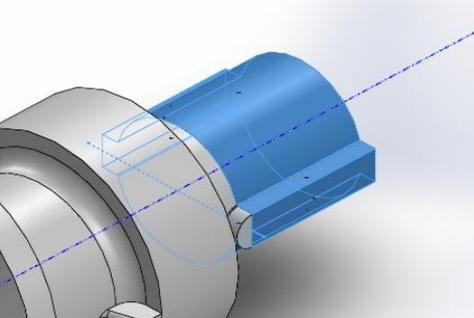


Figura 6. 1 Restricciones tornillo

Tabla 6. 1 Detalles restricción del tornillo

Fuente: Solidworks

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo		Entidades: 8 Caras Tipo: Geometría fija

Durante el proceso de bricuetado el tornillo es sometido a cargas tanto axiales como de torsión por el trabajo que realiza. En la figura se muestran la aplicación de dichas cargas.

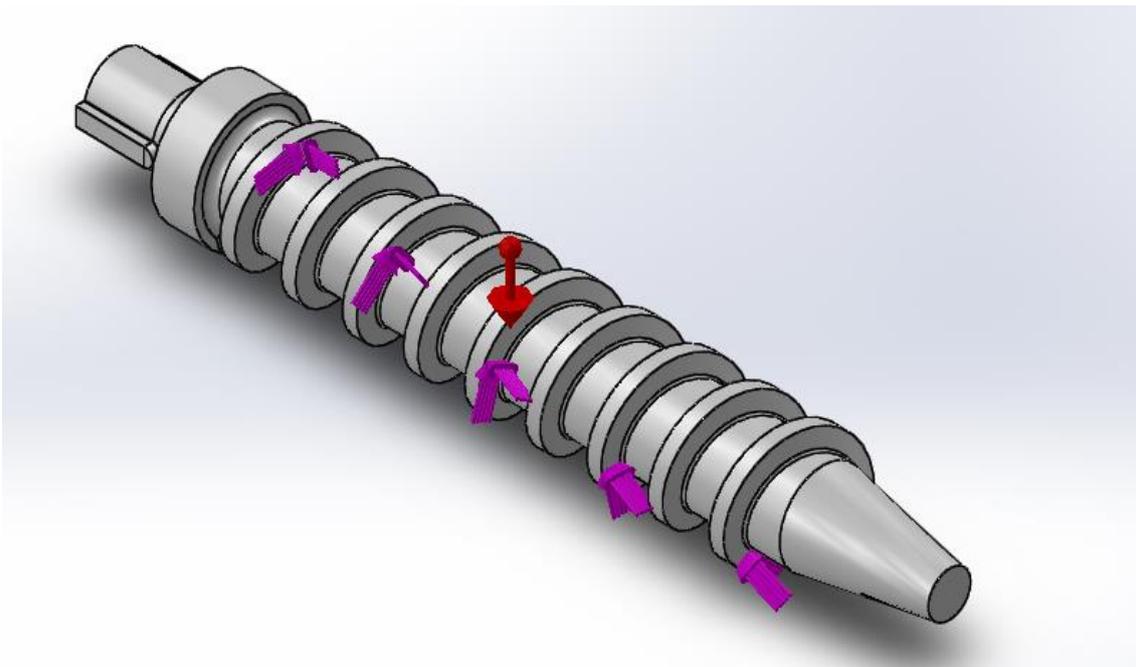
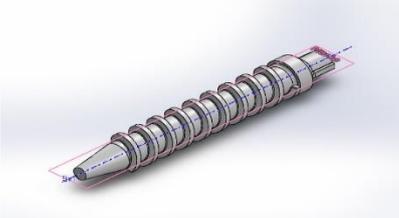


Figura 6. 2 Aplicación de cargas en el tornillo

La siguiente tabla muestra en detalle las fuerzas aplicadas al tornillo.

Tabla 6. 2 Detalles aplicación de cargas tornillo

Fuente: Solidworks

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza		Entidades: 1 cara Tipo: Aplicar fuerza normal
Gravedad		Referencia: Planta Valor: 9,81 Unidades: SI
Torsión		Entidades: 1 cara Referencia: Eje Tipo: Aplicar momento torsor

ANÁLISIS DE CONVERGENCIA

El análisis de convergencia de esfuerzos se realizó en el punto crítico del tornillo que es donde se realiza el cambio de sección como se muestra en la figura 4.9. Se realizó reduciendo la malla en esta área o sección hasta que los valores del esfuerzo converjan. La siguiente tabla muestra las iteraciones que se realizó.

Tabla 6. 3 Convergencia de esfuerzos

Iteraciones	Tamaño promedio malla [mm]	Valor del esfuerzo promedio [MPa]	Número de nodos	Variación [%]
1	10,33	148,86	102	3,65
2	5.5	154,3	174	7,95
3	5	166,57	309	-0,52
4	4	165,71	378	0,52
5	3	166,57	648	2,26
6	2	170,34	1281	2,65
7	1	174,85	4695	

La siguiente figura muestra la convergencia de esfuerzos.

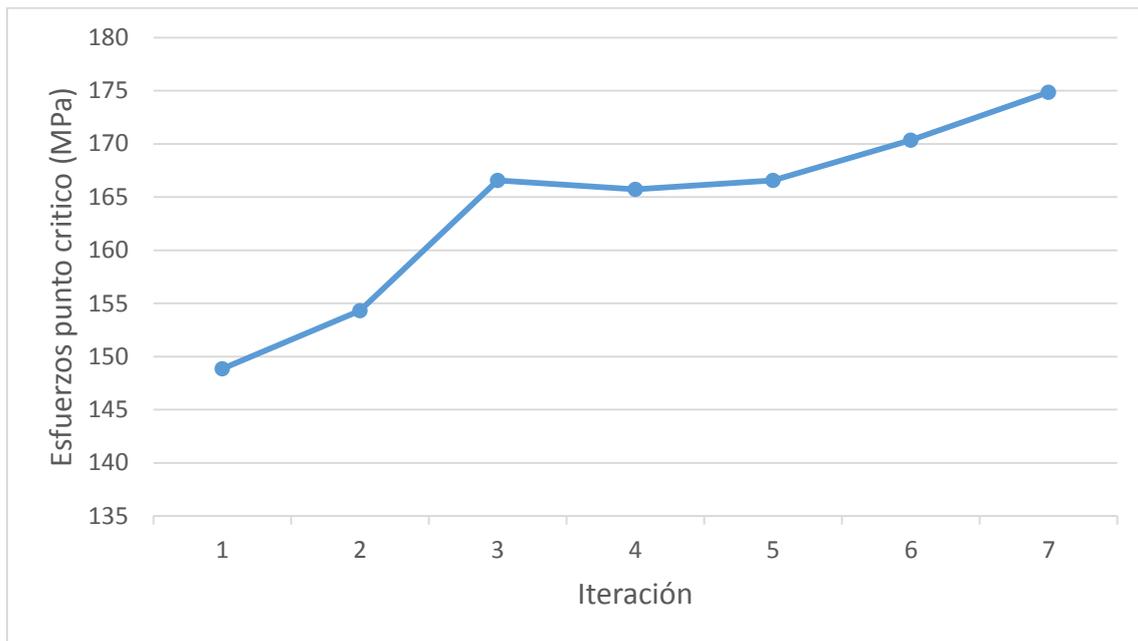


Figura 6. 3 Convergencia de esfuerzos

La convergencia de esfuerzos ocurre en la iteración 3. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

La malla generada al realizar la simulación se muestra en la siguiente figura.

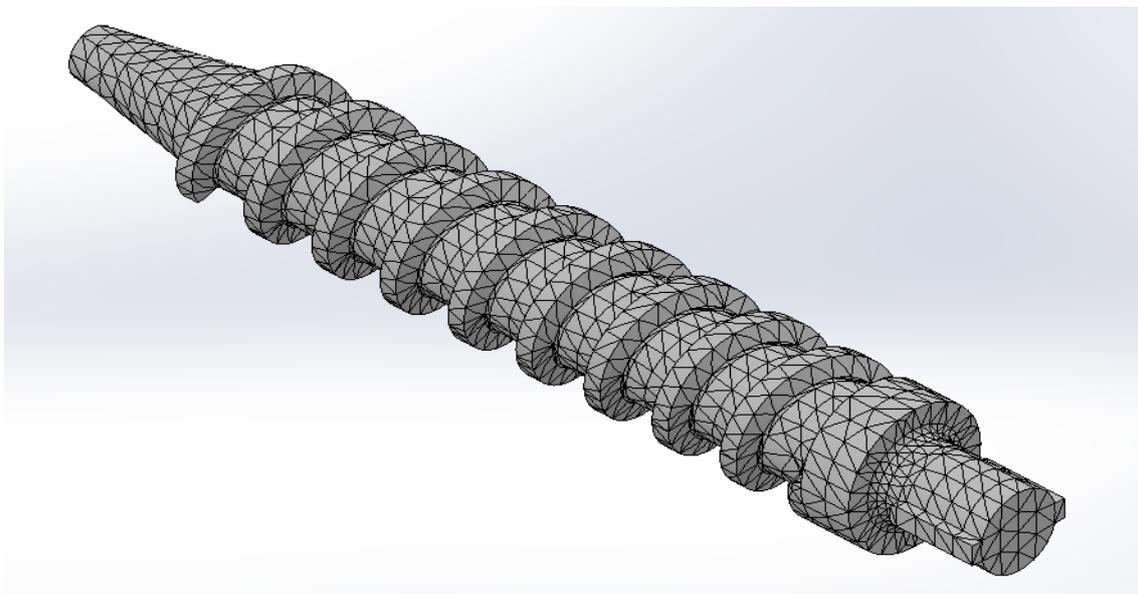


Figura 6. 4 Mallado del tornillo iteración 3

La siguiente tabla muestra las especificaciones de la malla generada.

Tabla 6. 4 Especificaciones malla del tornillo

Fuente: Solidworks.

Parámetro	Detalle
Tipo de malla	Malla solida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	10.3315 mm
Tolerancia	0.516577 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	29566
Número total de elementos	19285
Cociente máximo de aspecto	64.243
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	89.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0576
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el punto de análisis del tornillo.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Promedio
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	51.64 (MPa)	284.07 (MPa)	166.57 (MPa)

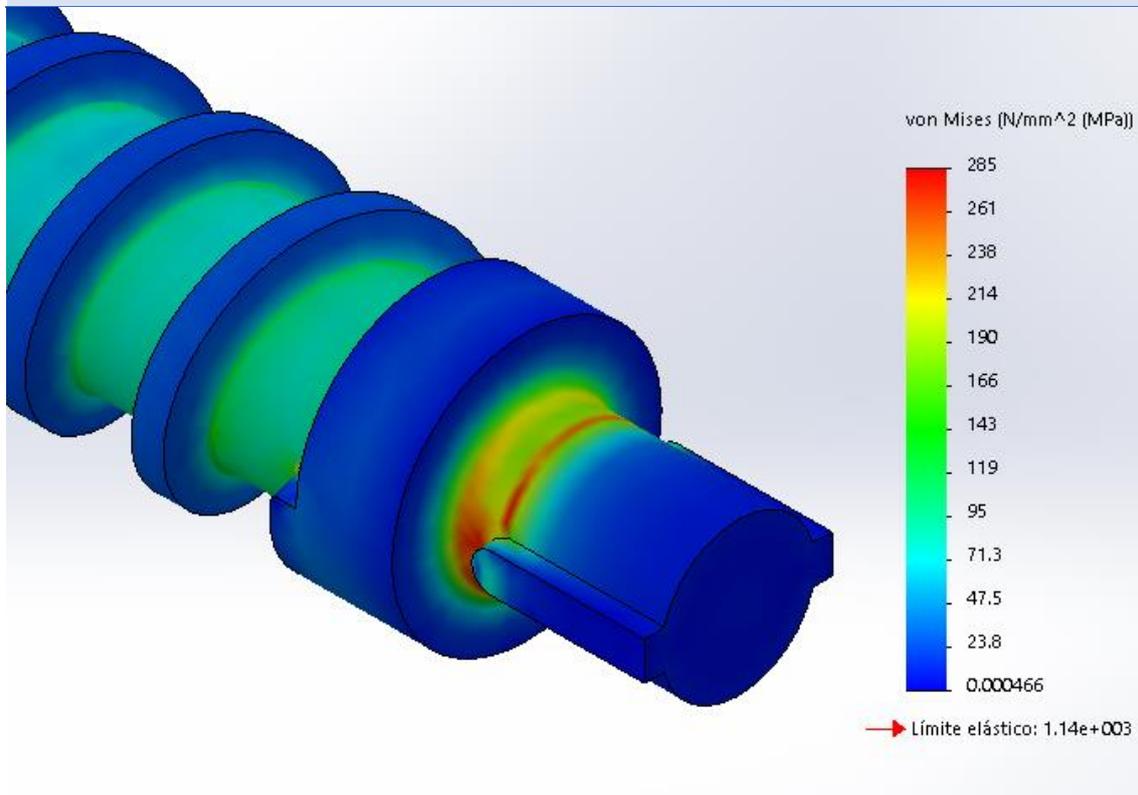


Figura 6. 5 Esfuerzos de tornillo

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Promedio
Factor de seguridad	Automático	2.43	13.36	5.48

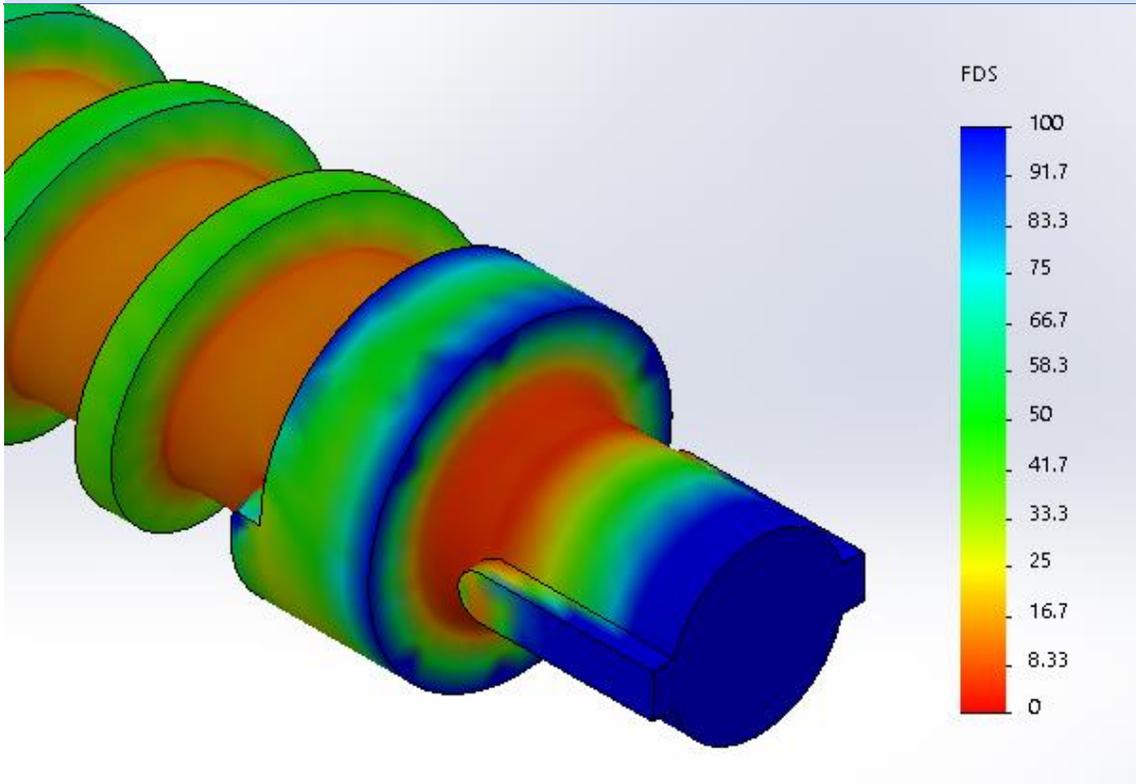


Figura 6. 6 Factor de seguridad tornillo

6.1.2. CILINDRO

Para la simulación del cilindro se va a realizar en dos partes un análisis estático y un análisis térmico.

El análisis térmico se realizó en un estado de régimen transitorio para determinar el incremento de la temperatura según el tiempo. El valor máximo programado al que va a llegar el tiempo es de 18 minutos con un incremento de tiempo de 2 segundos.

Las cargas y coeficientes determinados y calculados anteriormente para el proceso de briqueteado se aplican al cilindro las cuales son: temperatura inicial, potencia calorífica (potencia aplicada a la superficie del cilindro), el coeficiente de convección (coeficiente aplicado en la superficie del cilindro).

En la siguiente figura se muestra la aplicación de dichos valores.

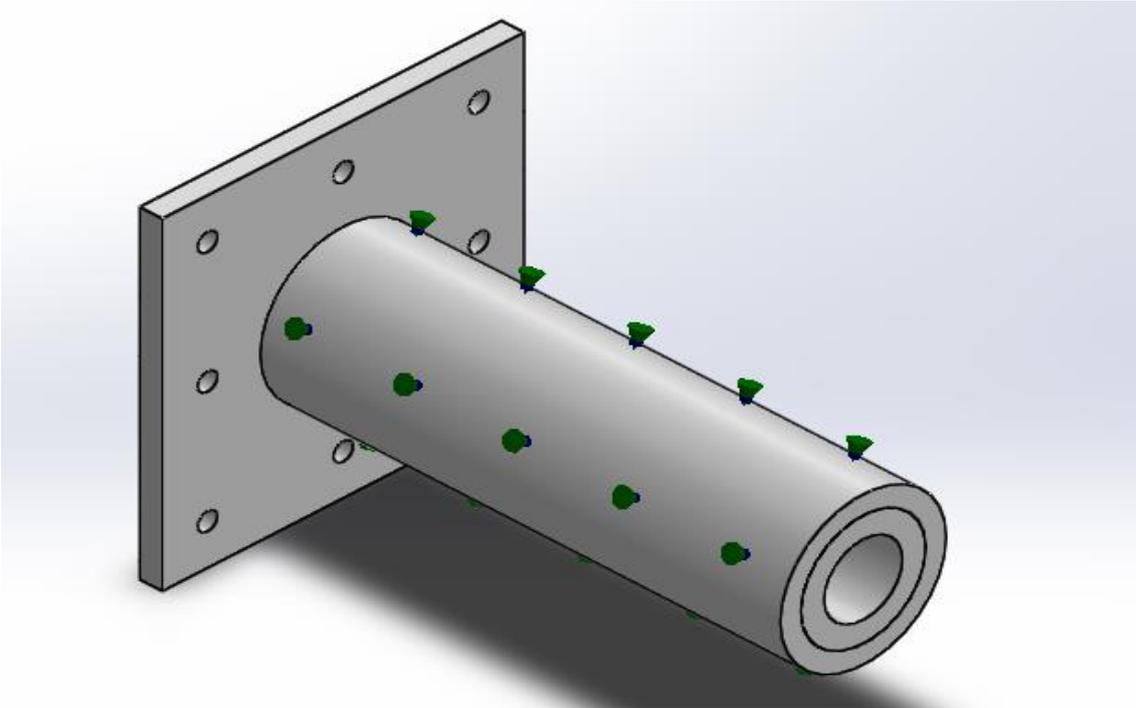


Figura 6. 7 Aplicación de cargas cilindro

La malla generada al para realizar la simulación se muestra en la siguiente figura.

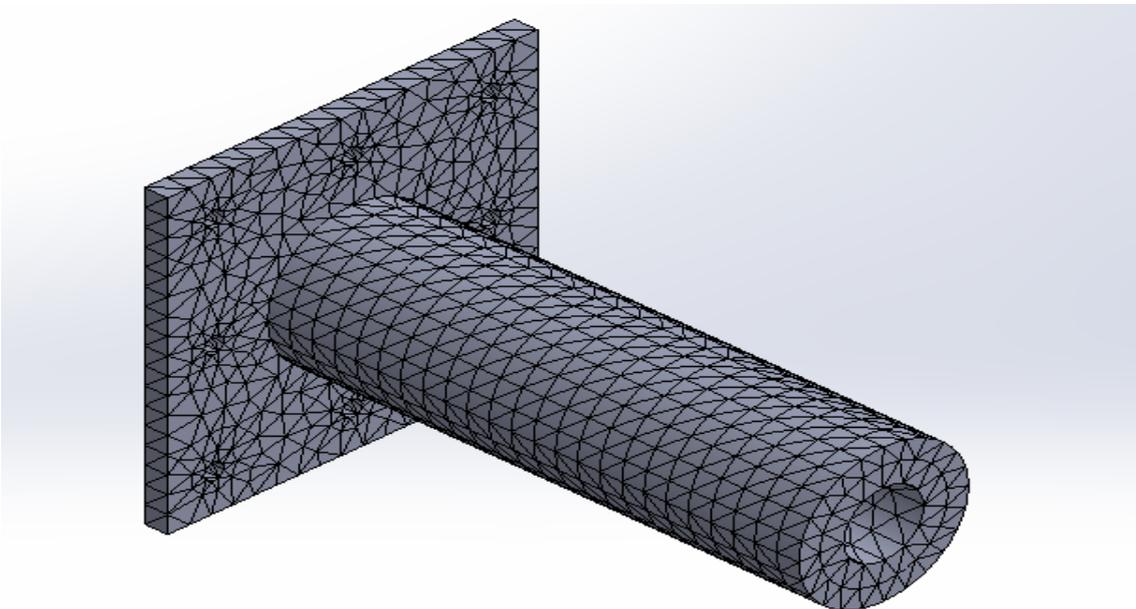


Figura 6. 8 Mallado del cilindro

La siguiente tabla muestra las especificaciones de la malla.

Tabla 6. 5 Especificaciones malla del cilindro (E. Térmico)

Fuente: Solidworks

Parámetro	Detalle
Tipo de malla	Malla solida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	14.6859 mm
Tolerancia	0.734293 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	18054
Número total de elementos	11021
Cociente máximo de aspecto	8,9008
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Los resultados obtenidos después de la simulación del análisis térmico son los siguientes:

Tiempo de 60 segundos:

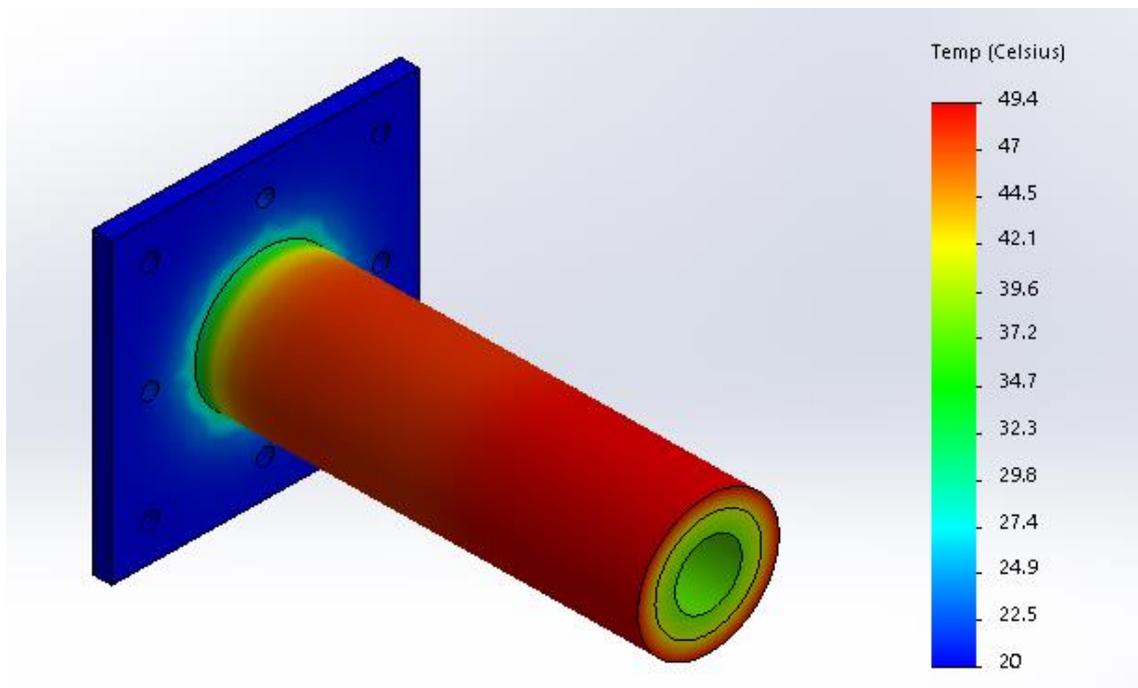


Figura 6. 9 Simulación temperatura de Cilindro t = 60s

Tiempo de 180 segundos:

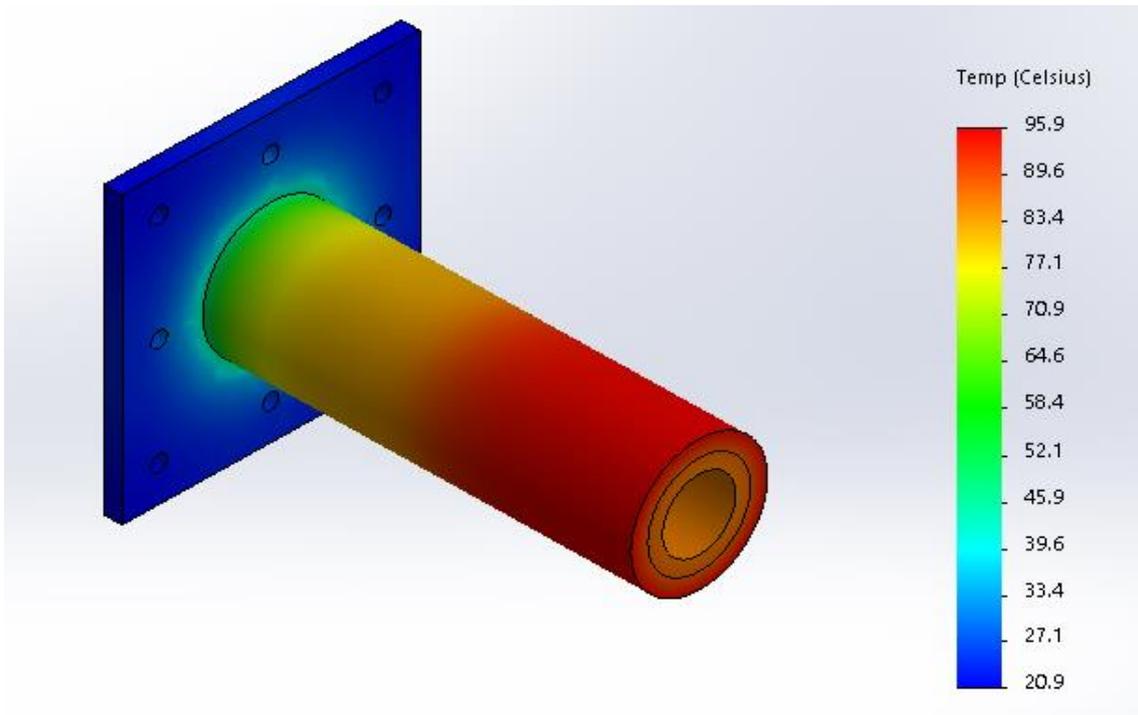


Figura 6. 10 Simulación temperatura de Cilindro t = 180s

Tiempo de 360 segundos:

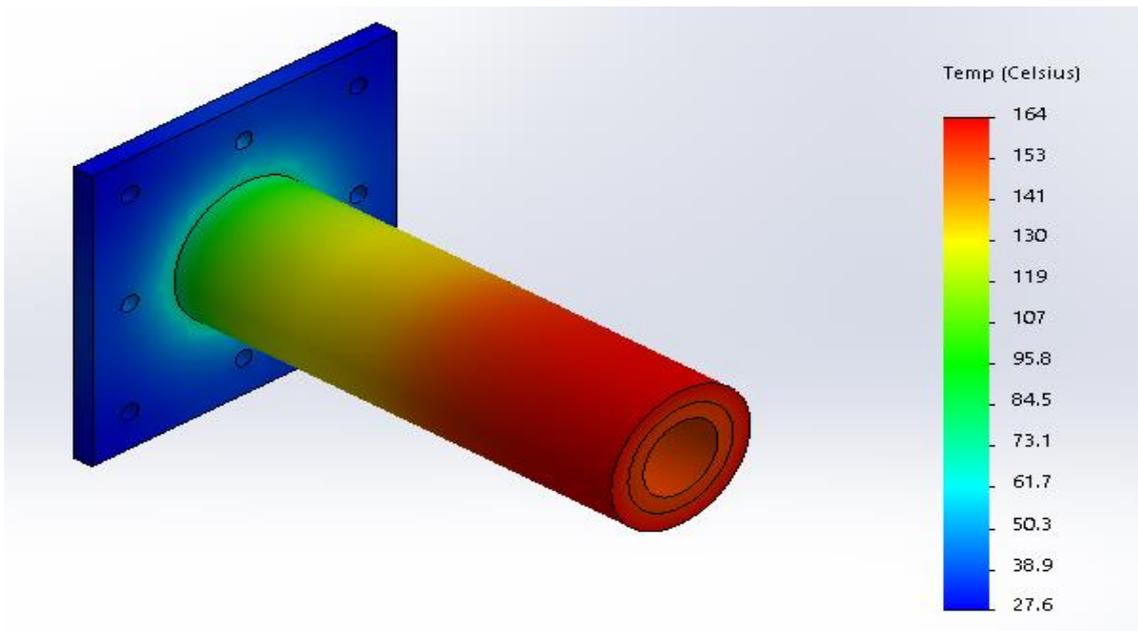


Figura 6. 11 Simulación temperatura de Cilindro t = 360s

Tiempo de 540 segundos:

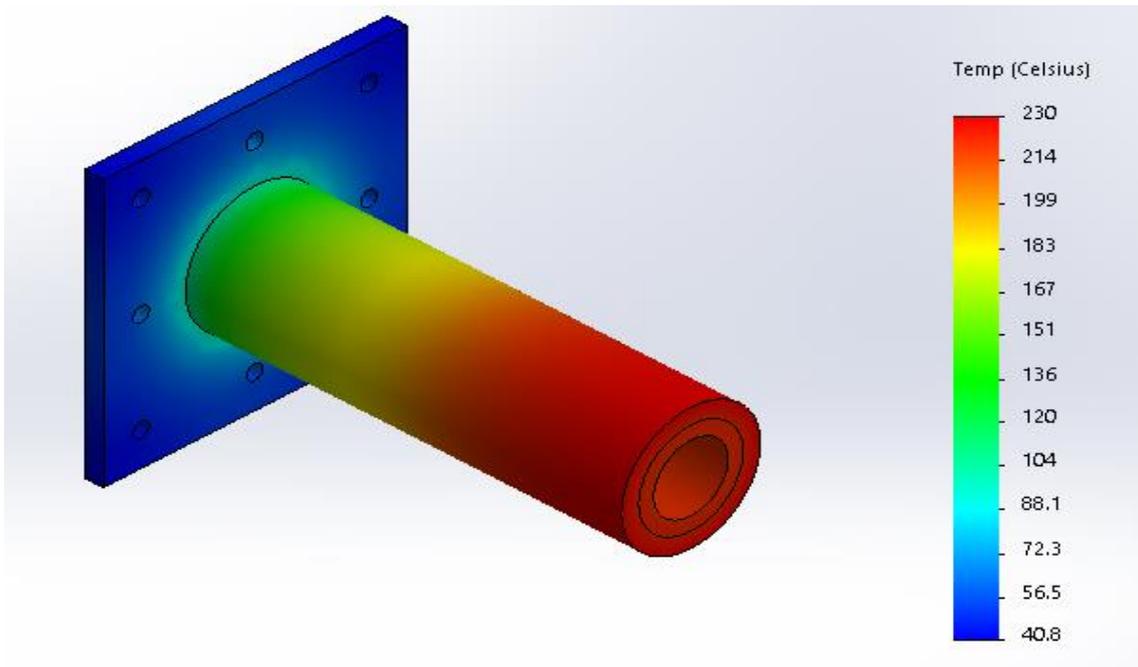


Figura 6. 12 Simulación temperatura de Cilindro $t = 540s$

Tiempo de 720 segundos:

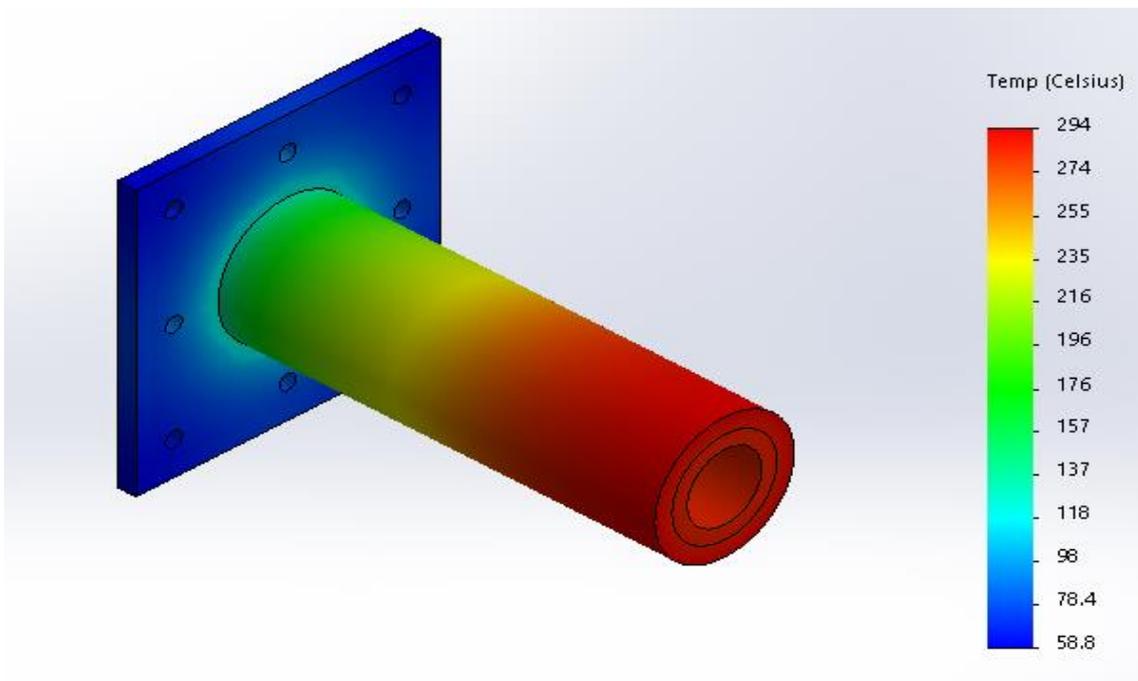


Figura 6. 13 Simulación temperatura de Cilindro $t = 720s$

Tiempo de 930 segundos:

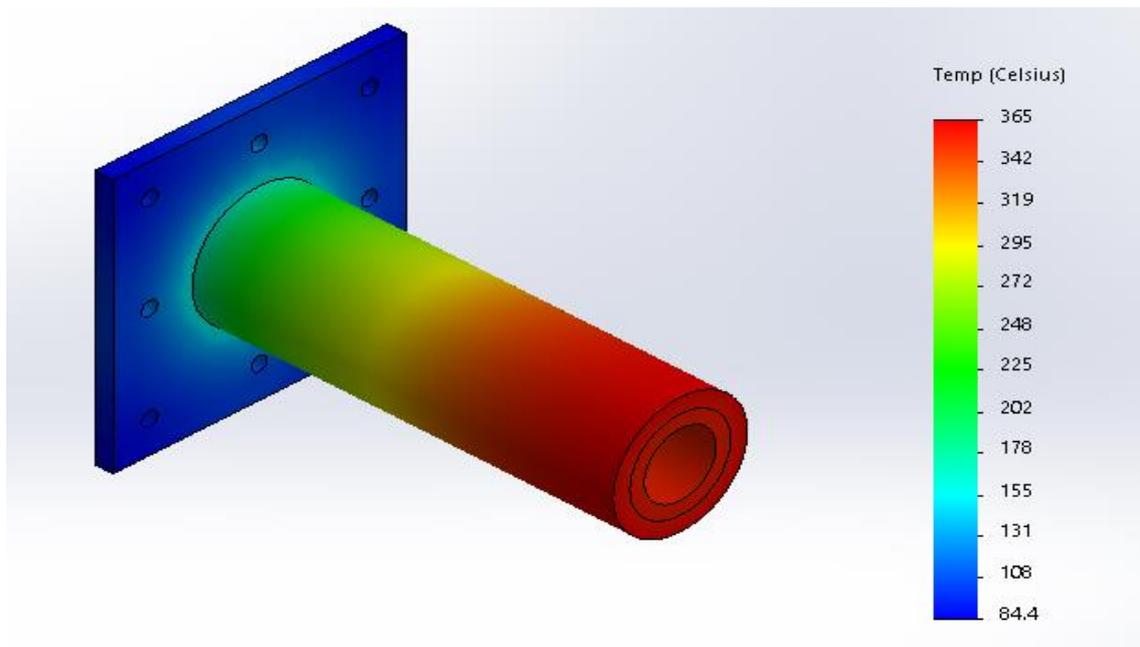


Figura 6. 14 Simulación temperatura del Cilindro $t = 930s$

Después de 930 segundos la temperatura llega al valor deseado.

Para el análisis estático del cilindro primero se establecieron las restricciones que presenta el elemento para realizar el estudio, como se muestra la siguiente figura y tabla.

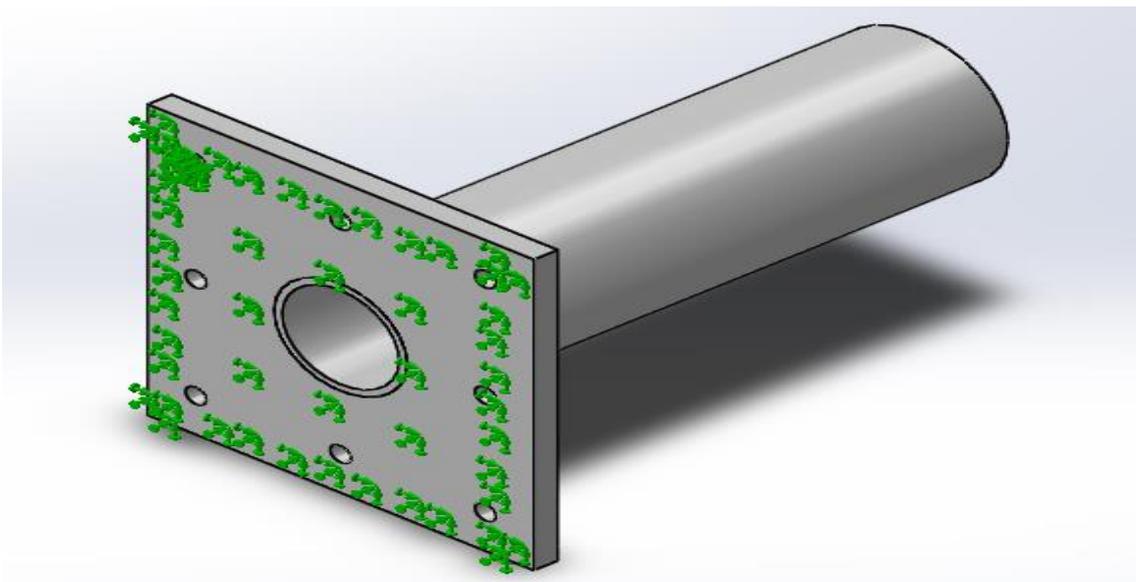
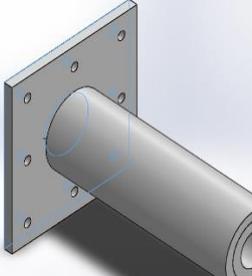


Figura 6. 15 Restricciones cilindro

Tabla 6. 6 Detalles restricciones del cilindro

Fuente: Solidworks

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo		Entidades: 1 cara Tipo: Geometría fija

La presión que se genera durante el proceso de briqueteado se aplica al cilindro, la cual ya se determinó anteriormente. Esta presión debe ser aplicada en el interior del cilindro como se muestra en la siguiente figura.

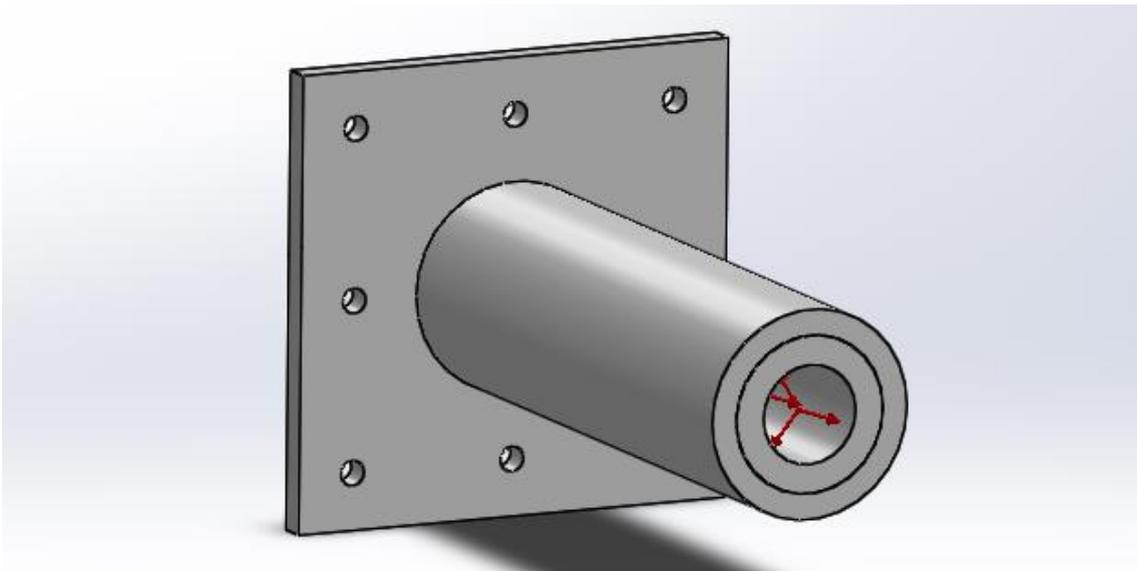


Figura 6. 16 Aplicación de cargas del cilindro

El mallado que se estableció para la simulación del elemento se presenta en la siguiente figura.

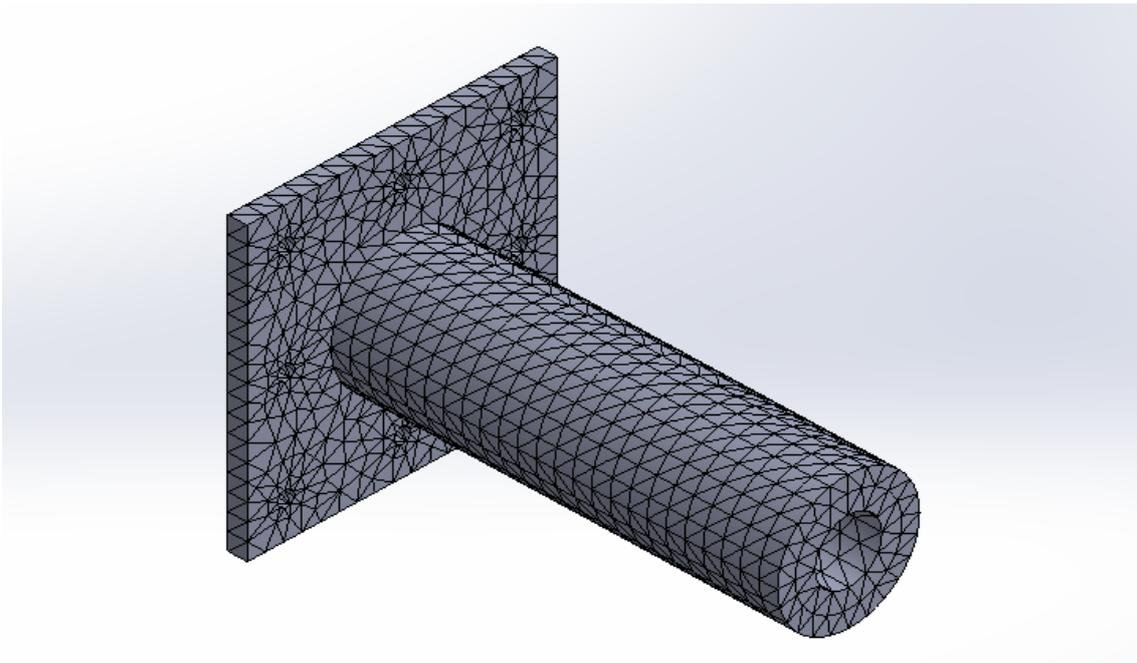


Figura 6. 17 Mallado del cilindro

Las especificaciones de la malla se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6. 7 Especificaciones malla del cilindro (E. estático)

Fuente: Solidworks.

Parámetro	Detalle
Tipo de malla	Malla solida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	14.6859 mm
Tolerancia	0.734293 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	16184
Número total de elementos	9455
Cociente máximo de aspecto	6,1729
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Tabla 6. 8 Especificaciones malla del cilindro (E. estático)

Fuente: Solidworks

Los resultados obtenidos de la simulación son los siguientes:

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0.00785137 (MPa) Nodo: 3885	227.931 (MPa) Nodo: 13321

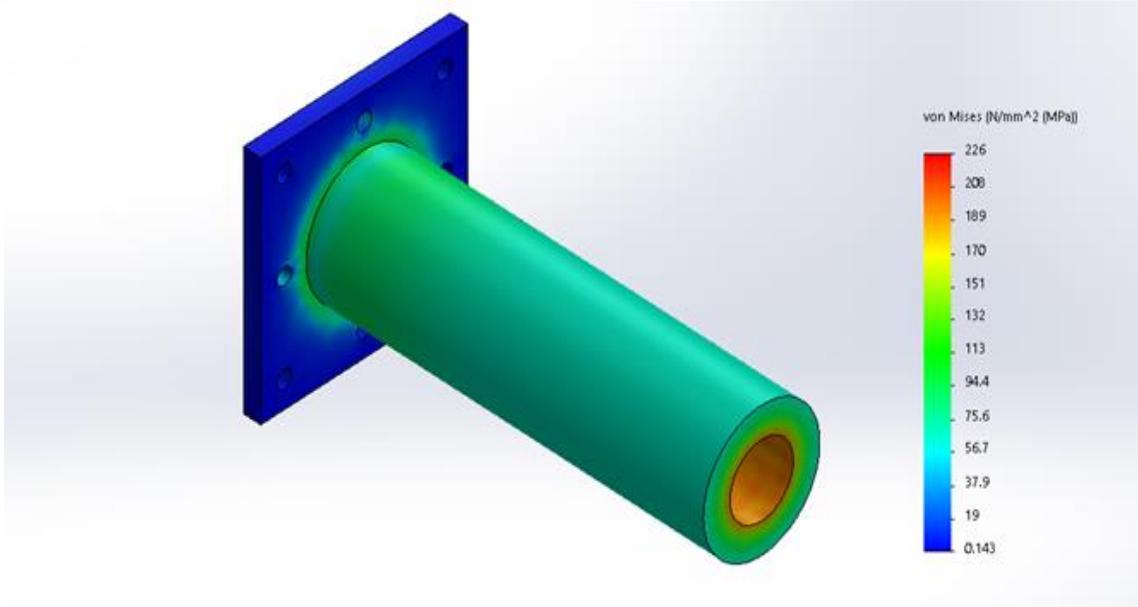


Figura 6. 18 Esfuerzo de von Mises del cilindro

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 26	0.0312995 mm Nodo: 13320

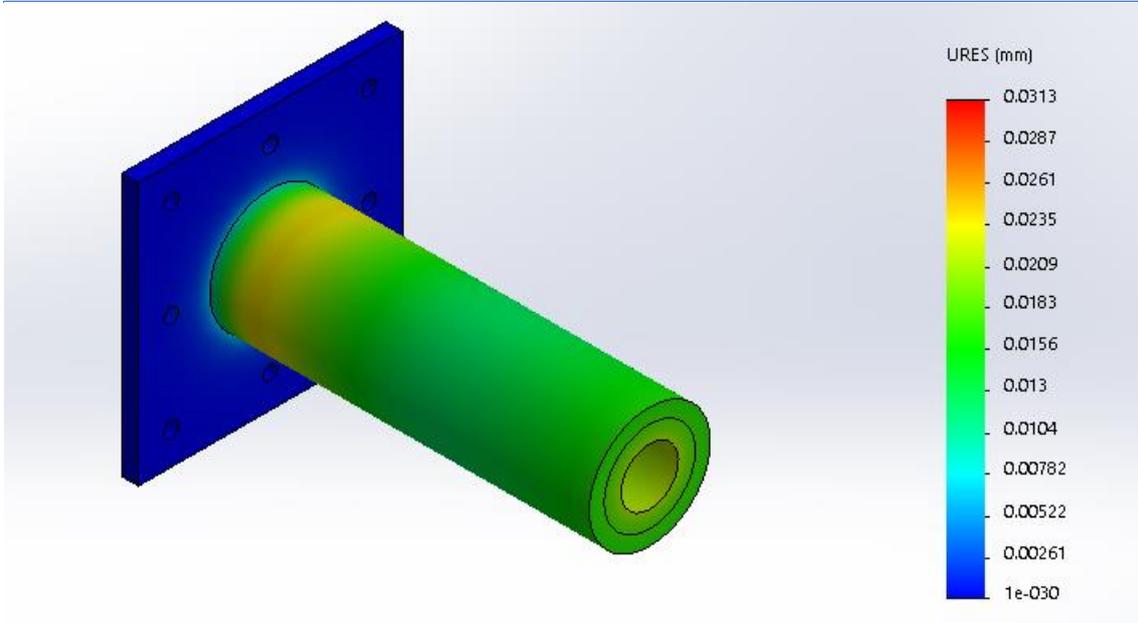


Figura 6. 19 Desplazamientos del cilindro

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Automático	2.14977 Nodo: 13321	62409.5 Nodo: 3885

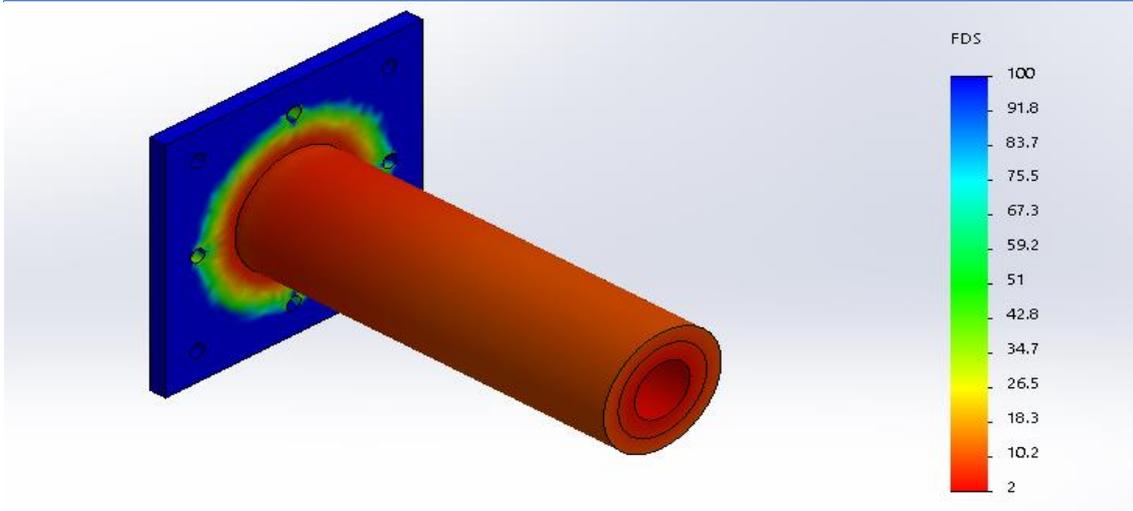


Figura 6. 20 Factor de seguridad del cilindro

6.1.3. ESTRUCTURA

Para realizar esta simulación se tomara en cuenta la viga que presenten las peores condiciones de la estructura como se indica en la siguiente figura 4.11. Las vigas que presentan las peores condiciones de carga de la máquina son las vigas AB y DC, debido a que soportan el peso del motor. Para el análisis se tomara la viga AB.

Para la simulación se debe colocar las restricciones de la viga como se muestra en la siguiente figura y tabla.

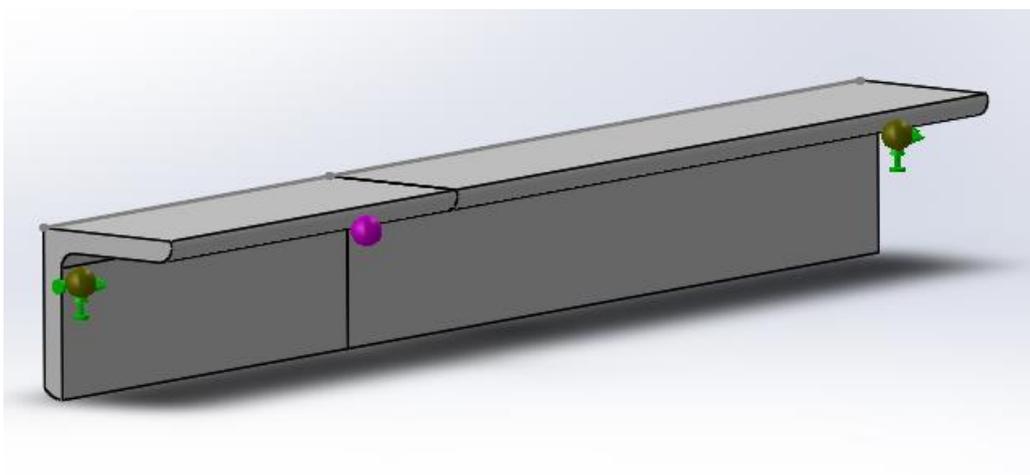
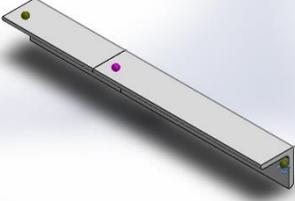


Figura 6. 21 Sujeción viga AB

Tabla 6. 9 Detalles restricción viga

Fuente: Solidworks

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo		Entidades: 2 Joints Tipo: Geometría fija

Las cargas que se aplican a la viga ya se determinaron anteriormente: la fuerza total resultante, la torsión generada por el motor y los momentos por trasladar la fuerza F_B . En la siguiente figura se indica la aplicación de estas cargas a la viga.

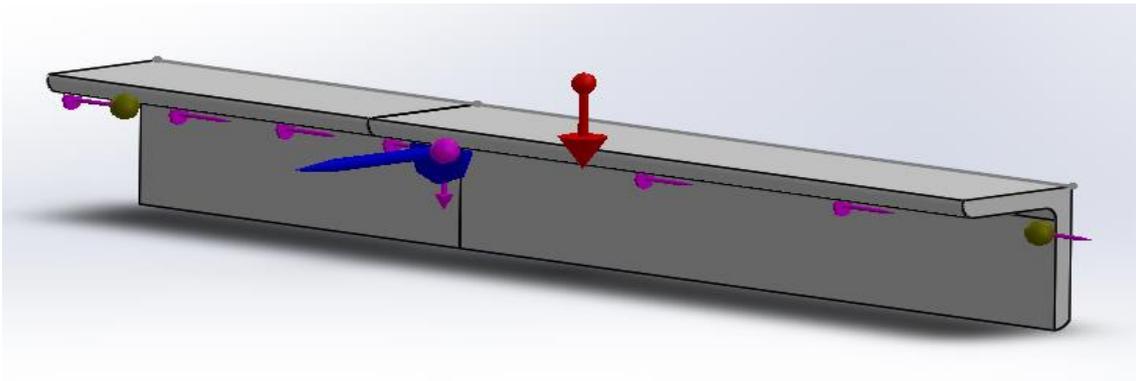


Figura 6. 22 Aplicación de cargas a la viga AB

El mallado que se estableció para la simulación del elemento se presenta en la siguiente figura.

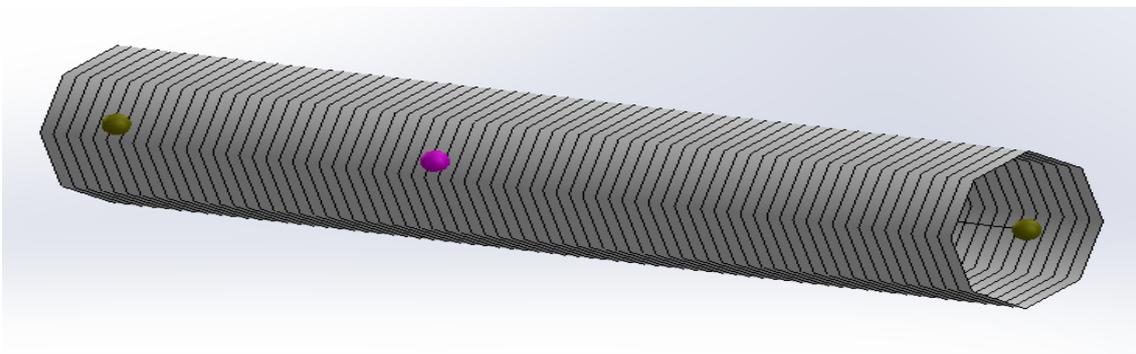


Figura 6. 23 Mallado viga

Las especificaciones de la malla se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6. 10 Especificaciones malla viga

Fuente: Solidworks

Parámetro	Valor
Número total de nodos	72
Número total de elementos	69

Los resultados obtenidos de la simulación fueron los siguientes.

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad	Automático	4,6922 Nodo: 24	87.8754 Nodo: 70

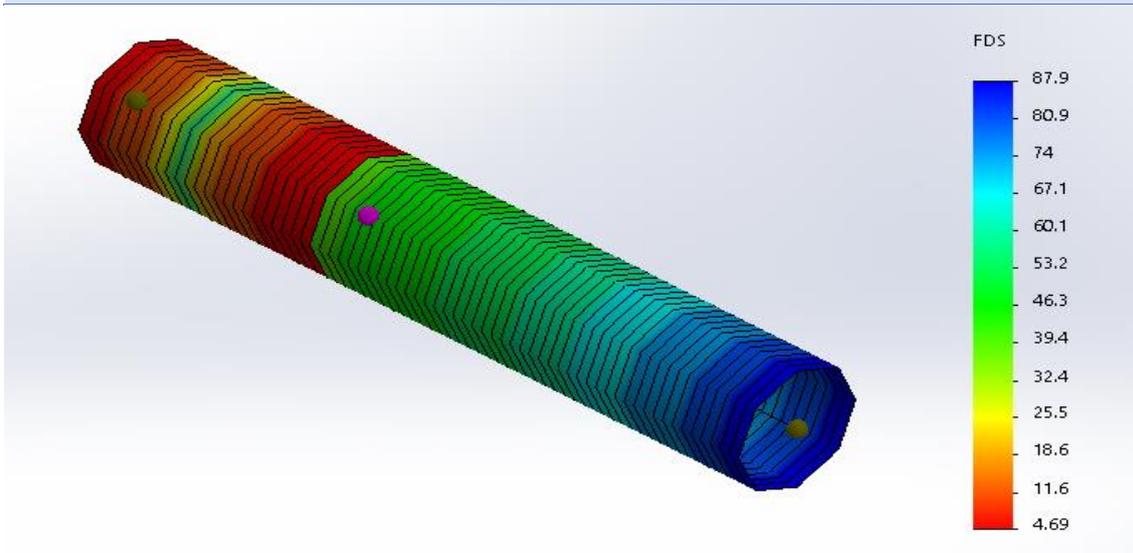


Figura 6. 24 Aplicación de cargas a la viga AB

6.2. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

La construcción o fabricación de máquina fue mediante varios procesos de mecanizado los cuales permitieron realizar la construcción de cada parte de la misma. En la siguiente tabla se detalla los mecanizados utilizados.

Tabla 6. 11 Operaciones de mecanizado

Número	Operaciones de mecanizado
1	Trazado
2	Corte del material
3	Doblado
4	Esmerilado
5	Torneado
6	Taladrado
7	Pulido
8	Soldado
9	Pintado

6.2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA MÁQUINA

El proceso de construcción de la máquina se lo realizara mediante diagramas de flujo utilizando la norma ASME (American Society of Mechanical Engineers), que es la encargada de normalizar la simbología para los diagramas de flujo en cuanto al mecanizado.

La siguiente tabla muestra los diferentes símbolos que se emplearan en los diagramas de flujo según la norma ASME.

Tabla 6. 12 Simbología de flujo gramas

Fuente: Norma ASME.

Simbología	Interpretación	Descripción de la actividad
	Operación	Indica el proceso de fabricación
	Transporte	Indica el cambio del elemento de un lugar a otro
	Inspección	Indica la inspección del trabajo realizado
	Fin del proceso	Indica la finalización del proceso

A continuación se presentan los diagramas de flujo de la construcción de las diferentes partes de la máquina.

6.2.1.1. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO

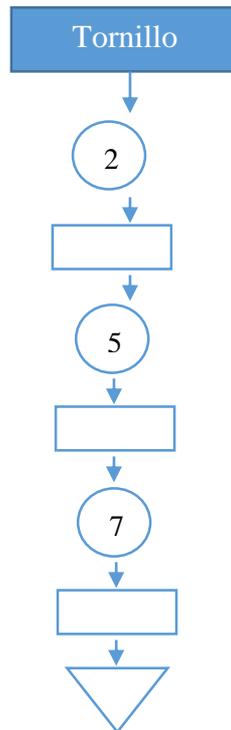


Figura 6. 25 Diagrama de flujo construcción del tornillo

6.2.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL EJE DE TRANSMISIÓN

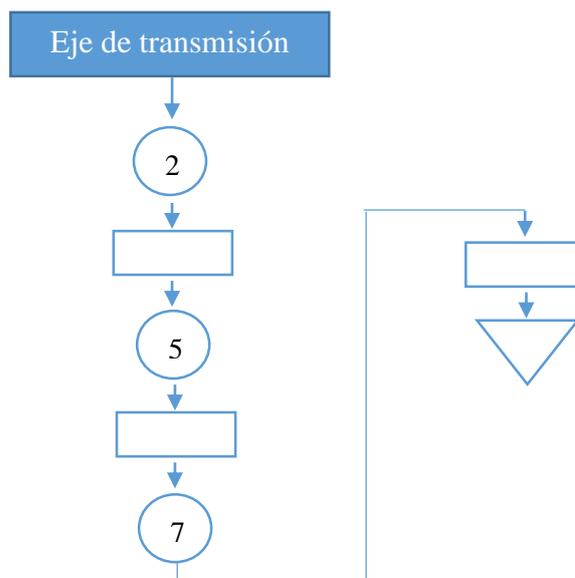


Figura 6. 26 Diagrama de flujo construcción del eje de transmisión

6.2.1.3. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL CILINDRO

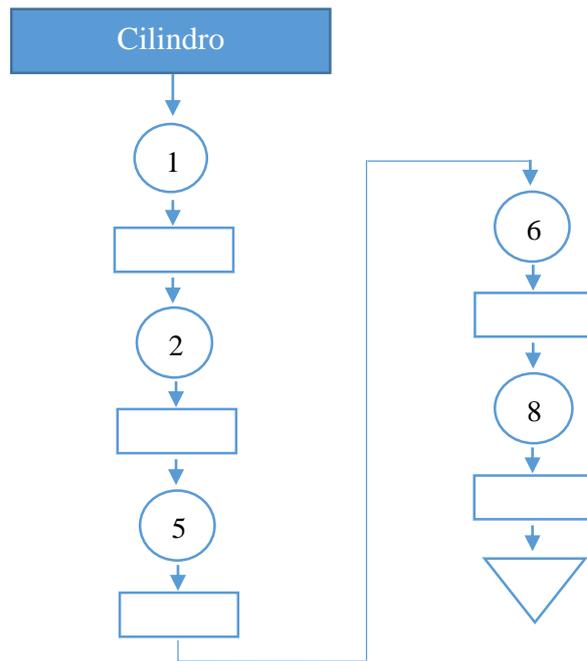


Figura 6. 27 Diagrama de flujo construcción del cilindro

6.2.1.4. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

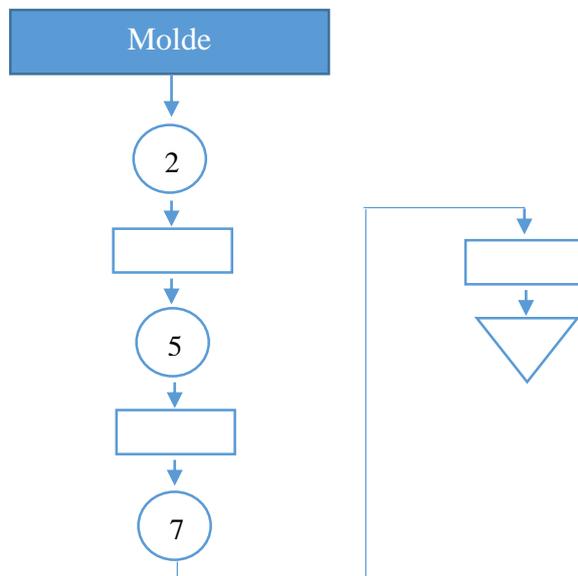


Figura 6. 28 Diagrama de flujo construcción del molde

6.2.1.5. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE LA TOLVA

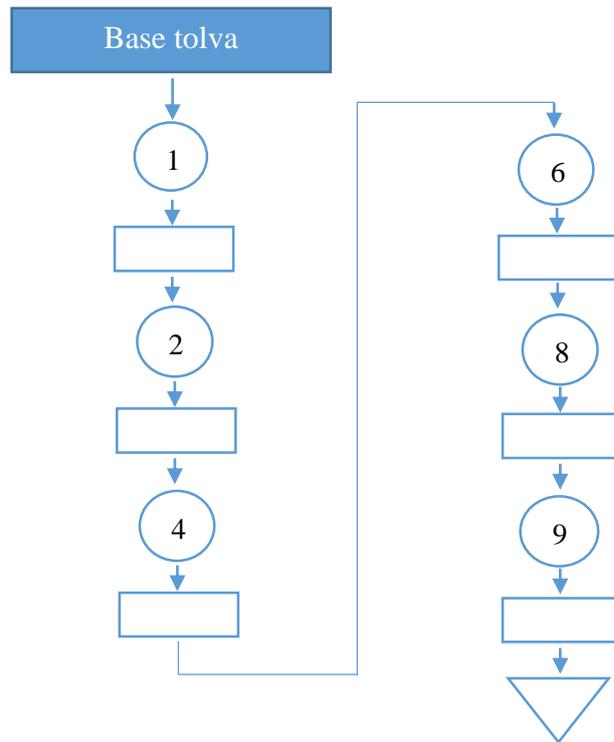


Figura 6. 29 Diagrama de flujo construcción de la base de la tolva

6.2.1.6. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA TOLVA

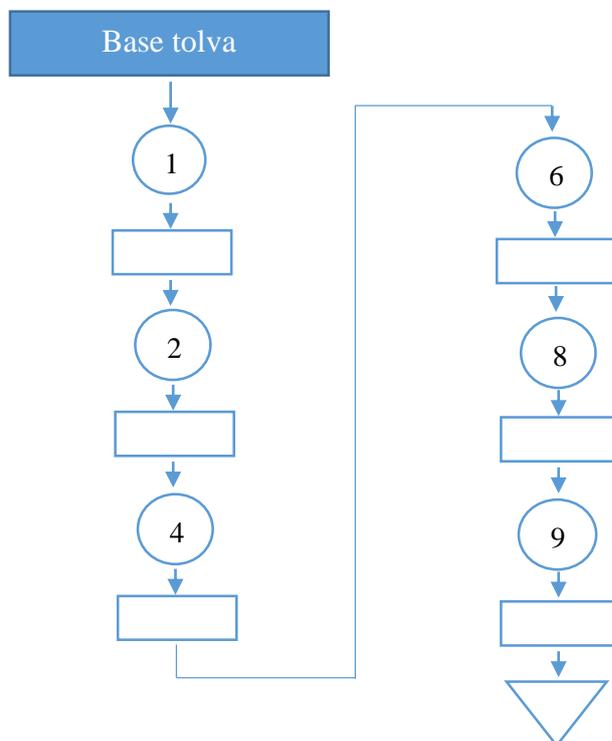


Figura 6. 30 Diagrama de flujo construcción de la tolva

6.2.1.7. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE RODAMIENTOS

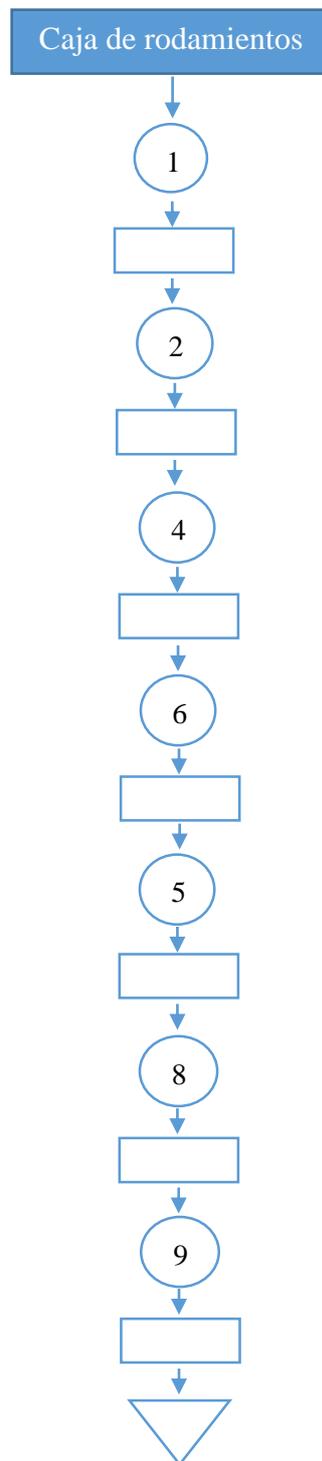


Figura 6. 31 Diagrama de flujo construcción de la caja de rodamientos

6.2.1.8. DIAGRAMA DE FLUJO CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

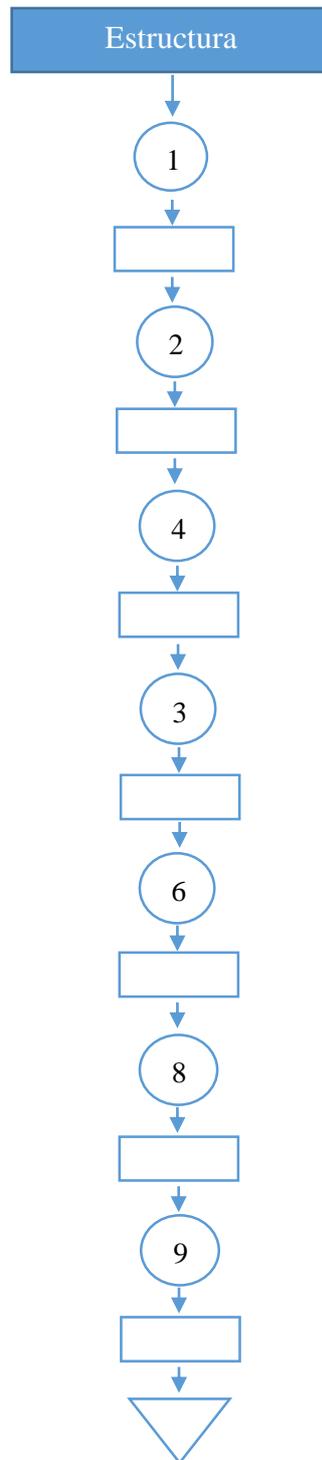


Figura 6. 32 Diagrama de flujo construcción de la estructura

CAPÍTULO VII

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento sirven para verificar el desempeño de la máquina y determinar si cumple con los objetivos y parámetros establecidos. Las pruebas realizadas fueron las siguientes.

7.1. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ASERRÍN

En esta prueba se determinó la densidad que posee el aserrín a utilizar para la fabricación de briquetas. La prueba se realizó tomando varias muestras a un volumen constante y midiendo su masa, para posteriormente calcular su densidad. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla 7. 1 Densidad del aserrín

Número de muestras	Volumen [m ³]	Masa [kg]	Densidad [kg/m ³]
1	1,63*10 ⁻³	0,352	215,91
2	1,63*10 ⁻³	0,350	214,69
3	1,63*10 ⁻³	0,348	213,46
4	1,63*10 ⁻³	0,350	214,69
5	1,63*10 ⁻³	0,352	215,91
6	1,63*10 ⁻³	0,352	215,91
7	1,63*10 ⁻³	0,350	214,69
Promedio			215,04

Se obtiene que la densidad promedio del aserrín es de 215,04 kg/m³.

7.2. PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE LA MÁQUINA

En esta prueba de calentamiento del cilindro se determinará el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura deseada. La prueba se realizó tomando el tiempo que tarda en calentar el cilindro hasta llegar a la temperatura deseada para comenzar con el proceso. La siguiente tabla muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7. 2 Prueba tiempo-temperatura

Tiempo [min]	Prueba #1 Temperatura [°C]	Prueba #2 Temperatura [°C]	Prueba #3 Temperatura [°C]	Temperatura promedio [°C]
0,0	25	18	21	21,3
0,3	26	18	21	21,7
1,0	30	22	23	25,0
1,3	37	26	30	31,0
2,0	45	33	38	38,7
2,3	55	44	50	49,7
3,0	66	56	61	61,0
3,3	77	67	73	72,3
4,0	90	80	86	85,3
4,3	103	91	97	97,0
5,0	112	100	107	106,3
5,3	124	112	119	118,3
6,0	135	123	130	129,3
6,3	147	134	138	139,7
7,0	156	142	149	149,0
7,3	165	153	159	159,0
8,0	174	160	167	167,0
8,3	182	167	173	174,0
9,0	190	174	180	181,3
9,3	193	180	185	186,0
10,0	199	186	191	192,0
10,3	203	190	197	196,7
11,0	210	197	205	204,0
11,3	215	202	208	208,3
12,0	221	207	212	213,3
12,3	227	214	218	219,7
13,0	234	220	225	226,3
13,3	241	225	231	232,3
14,0	246	232	238	238,7
14,3	252	239	246	245,7
15,0	259	245	253	252,3
15,3	267	253	261	260,3
16,0	275	261	268	268,0
16,3	282	270	276	276,0
17,0	290	277	284	283,7
17,3	298	284	291	291,0
18,0	306	290	297	297,7
18,3	313	296	303	304,0
19,0	321	304	310	311,7
19,3	329	311	318	319,3
20,0	337	320	330	329,0

20,3	345	326	339	336,7
21,0	352	335	346	344,3
21,3	356	341	351	349,3
22,0	361	347	355	354,3
22,3	366	352	360	359,3

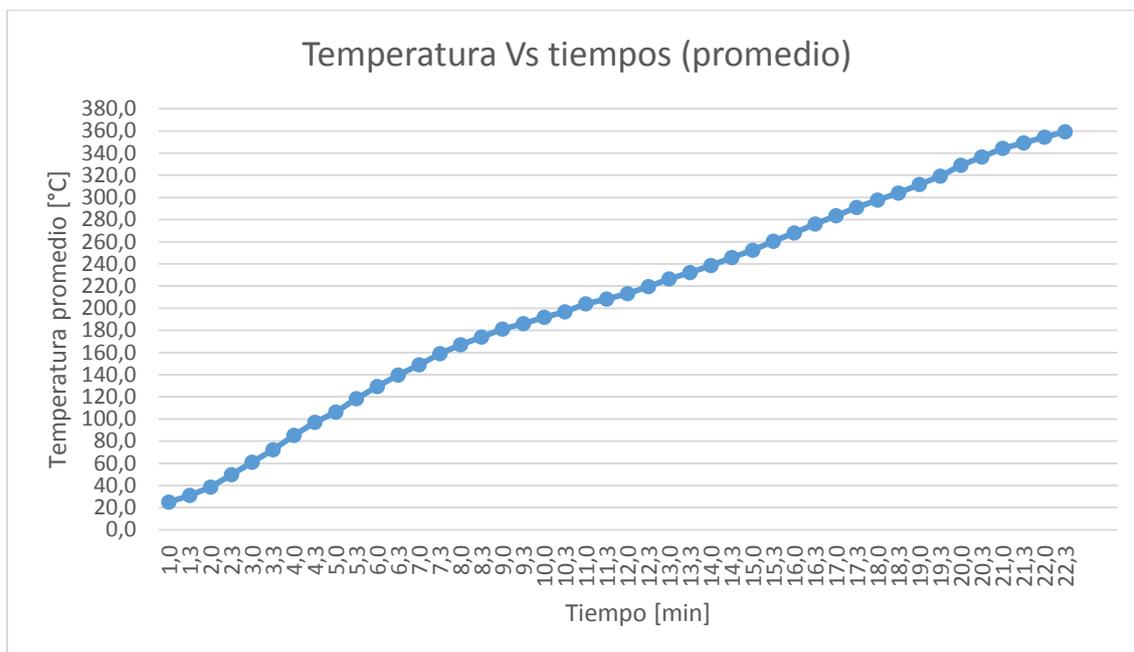


Figura 7. 1 Temperatura vs Tiempo (promedio)

El tiempo que se demoran las resistencias en calentar y llegar a la temperatura deseada es alrededor de 21 minutos.

Si las resistencias no alcanzan a llegar a la temperatura deseada dentro de este tiempo es porque no fueron ajustadas correctamente contra el cilindro, es decir entre estos existe un espacio y no están en contacto o una de las resistencias está fallando.

7.3. PRUEBA DE OBTENCIÓN DE BRIQUETAS

En esta prueba se determina la densidad final de la briqueta a varias temperaturas. Las pruebas para la obtención de briquetas se las realizaron tomando en cuenta parámetros como temperatura de calentamiento y la densidad de la briqueta. En las siguientes tablas se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 7. 3 Prueba obtención de briquetas (T=280°C)

Temperatura 280 °C				
Número de muestras	Masa [kg]	Longitud [m]	Volumen [m³]	Densidad [kg/m³]
1	0,373	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1187,130
2	0,376	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1196,678
3	0,374	0,154	3,12*10 ⁻⁰⁴	1198,042
4	0,377	0,158	3,20*10 ⁻⁰⁴	1177,078
5	0,374	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1190,313
Promedio				1189,848

Tabla 7. 4 Prueba obtención de briquetas (T=300°C)

Temperatura 300 °C				
Número de muestras	Masa [kg]	Longitud [m]	Volumen [m³]	Densidad [kg/m³]
1	0,374	0,16	3,24*10 ⁻⁰⁴	1153,115
2	0,373	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1187,130
3	0,369	0,147	2,98*10 ⁻⁰⁴	1238,312
4	0,372	0,156	3,16*10 ⁻⁰⁴	1176,358
5	0,377	0,161	3,26*10 ⁻⁰⁴	1155,145
Promedio				1182,012

Tabla 7. 5 Prueba obtención de briquetas (T=320°C)

Temperatura 320 °C				
Número de muestras	Masa [kg]	Longitud [m]	Volumen [m³]	Densidad [kg/m³]
1	0,374	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1190,313
2	0,368	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1171,217
3	0,370	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1177,582
4	0,367	0,153	3,10*10 ⁻⁰⁴	1183,302
5	0,370	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1177,582
Promedio				1179,999

Tabla 7. 6 Prueba obtención de briquetas (T=330°C)

Temperatura 330 °C				
Número de muestras	Masa [kg]	Longitud [m]	Volumen [m³]	Densidad [kg/m³]
1	0,364	0,153	3,10*10 ⁻⁰⁴	1173,630
2	0,372	0,156	3,16*10 ⁻⁰⁴	1176,358
3	0,360	0,15	3,04*10 ⁻⁰⁴	1183,947
4	0,367	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1168,034
5	0,370	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1177,582
Promedio				1175,910

Tabla 7. 7 Prueba obtención de briquetas (T=340°C)

Temperatura 340 °C				
Número de muestras	Masa [kg]	Longitud [m]	Volumen [m³]	Densidad [kg/m³]
1	0,360	0,152	3,08*10 ⁻⁰⁴	1168,369
2	0,372	0,157	3,18*10 ⁻⁰⁴	1168,865
3	0,367	0,154	3,12*10 ⁻⁰⁴	1175,619
4	0,364	0,153	3,10*10 ⁻⁰⁴	1173,630
5	0,358	0,150	3,04*10 ⁻⁰⁴	1177,370
Promedio				1172,770

Tabla 7. 8 Prueba obtención de briquetas (T=350°C)

Temperatura 350 °C				
Número de muestras	Masa [kg]	Longitud [m]	Volumen [m³]	Densidad [kg/m³]
1	0,344	0,145	2,94*10 ⁻⁰⁴	1170,339
2	0,357	0,150	3,04*10 ⁻⁰⁴	1174,081
3	0,361	0,155	3,14*10 ⁻⁰⁴	1148,938
4	0,350	0,148	3,00*10 ⁻⁰⁴	1166,615
5	0,356	0,150	3,04*10 ⁻⁰⁴	1170,792
Promedio				1166,153

Tabla 7. 9 Obtención briquetas (Observaciones)

Temperatura [°C]	Densidad promedio [kg/m³]	Observaciones
240	No se pudo determinar	No se forma la briqueta.
260	No se pudo determinar	No se forma la briqueta.
280	1189,848	Se obtiene la briqueta, sale con dificultad con una contextura muy frágil.
300	1182,012	Se obtiene la briqueta, sale con dificultad con una contextura frágil.
320	1179,999	Se obtiene la briqueta, sale con dificultad con una contextura normal.
330	1175,910	Se obtiene la briqueta, sale sin dificultad con una contextura normal.
340	1172,770	Se obtiene la briqueta, sale sin dificultad con una contextura normal.
350	1166,153	Se obtiene la briqueta, sale sin dificultad con una contextura frágil.

La temperatura adecuada para la fabricación de briquetas se encuentra entre 330 y 340 °C con una densidad de 1175,910, 1172,770 Kg/m³ respectivamente. Estos valores pueden variar, está en función del tipo madera utilizado para fabricar la briqueta.

Según la norma DIN 51731 para la fabricación de briquetas la densidad que deben tener éstas como mínimo es de 1000 Kg/m³ y máximo de 1400 Kg/m³, según los resultados obtenidos las briquetas cumplen con esta norma.

7.4. PRUEBA DE PRODUCCIÓN DE LA MÁQUINA

La realización de esta prueba tuvo como objeto determinar la producción de briquetas de la máquina. Esta prueba se realiza midiendo la masa de las briquetas después de un tiempo determinado (1 hora). La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla 7. 10 Producción de la máquina

Número de muestras	Tiempo [hr]	Masa de briquetas [kg]
1	1	82,1
2	1	81,5
3	1	81,8
4	1	81,6
Promedio		81,75

La máquina tiene una producción promedio de 81,75 kg/hr; cumpliendo con el alcance de diseño que es de 80 kg/hr.

7.5. PRUEBA DE CORTE

Las pruebas que se realizaron al sistema de corte fueron para verificar el porcentaje de error que tiene el tamaño final de la briqueta respecto a la distancia deseada: 15 cm. Para esto se tomaron varias briquetas y se prosiguió a realizar la medición de su longitud. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla 7. 11 Prueba corte briquetas

Número de muestra	Longitud deseada [cm]	Longitud medida [cm]	Porcentaje de error [%]
1	15	15,3	2
2	15	15,5	3.33
3	15	16,5	10
4	15	16,5	10
5	15	16	6.67
6	15	14,5	3.33
7	15	15,8	5.33
8	15	16,5	10
9	15	16	6.67
10	15	14,8	1.33

El porcentaje de error promedio del sistema de corte de briquetas es del 3,2%, siendo un porcentaje bajo y aceptable.

7.6. ANÁLISIS DE PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE CONSUMO

PODER CALORÍFICO

Para el análisis del poder calorífico de las briquetas frente a la leña se realiza mediante la siguiente prueba experimental. Se calienta un determinado volumen de agua con una masa de leña por un tiempo establecido; y con una masa de briquetas (igual a la de la leña), la misma cantidad de agua durante el mismo tiempo. Para la prueba se utilizó leña de espino.

La siguiente tabla muestra los datos iniciales para la realización de la prueba con leña.

Tabla 7. 12 Datos iniciales para prueba

Parámetro	Unidades	Valor
Masa de leña	[kg]	1
Masa de briquetas	[kg]	1
Volumen inicial de agua	[l]	0,5
Tiempo de calentamiento	[min]	15

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos tras realizar las pruebas.

Tabla 7. 13 Resultados prueba de evaporación de agua con leña

Número de muestras	Volumen final trascurrido el tiempo [l]	Volumen de agua evaporada [l]
1	0,350	0,150
2	0,330	0,170
3	0,340	0,160
Promedio	0,340	0,160

Tabla 7. 14 Resultados prueba de evaporación de agua con briquetas

Número de muestras	Volumen final trascurrido el tiempo [l]	Volumen de agua evaporada [l]
1	0,250	0,250
2	0,270	0,230
3	0,260	0,240
Promedio	0,260	0,240

Con estos resultados se determinó cual pudo evaporar más agua; se observa que las briquetas son capaces de evaporar más agua, teniendo un potencial energético mayor (1,5 veces mayor). Este valor puede variar, está en función del tipo de leña y el material utilizado para fabricar la briketa.

TIEMPO DE CONSUMO

Para determinar el tiempo de consumo de briquetas y leña se realiza la siguiente prueba experimental. Se enciende una misma cantidad de leña y briquetas, en este caso 1 kg, y se determina el tiempo en que se consume cada una de ellas. Para la prueba se utilizó leña de espino, como combustible un volumen de 50 ml de aceite de cocina empapada en una servilleta de papel. Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7. 15 Resultados prueba de tiempo de consumo de leña

Número de muestras	Tiempo de consumo [min]
1	38,17
2	37,09
3	35,55
Promedio	36,93

Tabla 7. 16 Resultados prueba de tiempo de consumo de briquetas

Número de muestras	Tiempo de consumo [min]
1	57,52
2	59,03
3	58,45
Promedio	58,33

Se obtiene que las briquetas se consumen en un período más largo de tiempo que la leña (1,57 veces mayor), además de poseer una combustión constante. Este valor puede variar, está en función del tipo de leña y el material utilizado para fabricar la briqueta.

7.7. ANÁLISIS DE TIEMPO DE ENCENDIDO Y PORCENTAJE DE RESIDUOS

TIEMPO DE ENCENDIDO

Para determinar el tiempo de encendido tanto para la leña como para las briquetas, se realiza la siguiente prueba experimental. Con una misma cantidad de leña y briquetas, en este caso 1 kg, se determina el tiempo que tardan en encender cada una de ellas. Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos. Para la prueba se utilizó leña de espino, como combustible un volumen de 50 ml de aceite de cocina empapada en una servilleta de papel

Tabla 7. 17 Resultados prueba de tiempo de encendido de leña

Número de muestras	Tiempo de encendido [min]
1	26,59
2	25,4
3	27,12
Promedio	26,37

Tabla 7. 18 Resultados prueba de tiempo de encendido de briquetas

Número de muestras	Tiempo de encendido [min]
1	8,25
2	10,25
3	9,04
Promedio	9,18

Mediante estos resultados obtenidos se determinó que las briquetas tardan un tiempo menor en encender (9,18 minutos) en comparación con la leña (26,37 minutos). Este valor puede variar, está en función del tipo de leña y el material utilizado para fabricar la briqueta.

PORCENTAJE DE RESIDUOS

Para determinar el porcentaje se realiza la siguiente prueba experimental. Una vez consumida en su totalidad una determinada cantidad de leña y briquetas (1 kg), se pesa la cantidad de residuos de cada una de ellas y se calcula su porcentaje. Para la prueba se utilizó leña de espino. Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7. 19 Resultados prueba de porcentaje de residuos con leña

Número de muestras	Masa de residuos [kg]
1	0,058
2	0,067
3	0,060
Promedio	0,062
Porcentaje [%]	6,167

Tabla 7. 20 Resultados prueba de porcentaje de residuos con briquetas

Número de muestras	Masa de residuos [kg]
1	0,017
2	0,015
3	0,020
Promedio	0,017
Porcentaje [%]	1,73

El porcentaje de residuos generados por la leña es de 6,17% a diferencia de las briquetas que generan 1,73 %.

7.8. CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE VOLUMEN

Con la realización de esta prueba se determinó el porcentaje de volumen que se reduce al compactar el aserrín mediante el proceso de briqueteado. La prueba se realizó determinando el volumen de aserrín que se utiliza para fabricar una briqueta, finalmente se realiza una relación entre los volúmenes obtenidos. La siguiente tabla muestra los resultados.

Tabla 7. 21 Reducción de volumen

Masa briqueta [kg]	Volumen briqueta [m³]	Masa aserrín [kg]	Volumen de aserrín [m³]
0,365	$3,11 \cdot 10^{-4}$	0,365	$1,70 \cdot 10^{-3}$

Con la realización de esta prueba experimental se pudo determinar la reducción de volumen que se produce siendo aproximadamente de 5,44 veces.

7.9. ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS

Este análisis es importante para establecer la rentabilidad que posee el proyecto en base a la fabricación y comercialización de briquetas. Para este análisis se tomaron en cuenta los siguientes parámetros.

- Energía eléctrica (1 kW/hr): \$ 0.08
- Costo total de la máquina: \$ 6000
- Mano de obra (1 operario): \$ 500
- Costo materia prima (28 kg): \$ 2

Con estos parámetros se calcula el costo de fabricación de briquetas por hora. La siguiente tabla muestra los resultados.

Tabla 7. 22 Costos de producción por hora

Costos por hora	
Parámetro	Valor [\$]
Energía eléctrica	1,09
Costo de la máquina	1,25
Mano de obra	3,13
Costo materia prima	6,00
Sub total	11,47
Más un 10 % de imprevistos	1,15
Costo total por hora	12,61

El costo total de producción de 80 kg de briquetas es de \$ 12,61 dólares; con este resultado se calculó el costo de 1 kg dando un valor de \$ 0,15 centavos de dólar.

CONCLUSIONES

- Con la realización del presente trabajo se logró diseñar y construir una máquina briqueteadora de aserrín por extrusión, para la producción de briquetas utilizando como materia prima el desecho maderero aserrín.
- El método para la fabricación de briquetas se seleccionó tomando en cuenta algunos parámetros como capacidad de producción, tipo de proceso, densidad, mantenimiento, facilidad de trabajo y el método de aglutinación. El método que se determinó para la fabricación de briquetas fue por extrusión en el cual no se utiliza ningún aglutinante lo que permite reducir el costo de producción de las briquetas.
- El tornillo extrusor fue diseñado para que la máquina tenga una producción de 82 kg/h. Debido a las cargas a las que va estar expuesto el tornillo, el material utilizado para la su construcción es un acero AISI 4140 el cual presenta buenas propiedades de resistencia, desgaste y capacidad de soportar altas temperaturas.
- El sistema de transmisión de potencia se realizó mediante bandas en V y poleas las cuales transmiten la potencia de motor de 15 HP al eje de transmisión, además de reducir la velocidad del motor de 1755 rpm a 220 rpm, también ayudará a que el tornillo o el motor no sufran daños en caso de que exista una sobrecarga.
- El cilindro fue diseñado para soportar la presión que se genera de 80 MPa al momento de compactar el aserrín y formar las briquetas. El material utilizado para su construcción es el acero 1518 (barra perforada), el cual facilito su mecanizado.
- Para el control de temperatura se seleccionó un control On-Off con histéresis, debido que no se necesita que la temperatura sea constante, además es fácil de implementar y aumentando la histéresis se aumenta el tiempo de conmutación del contactor aumentando así su vida útil.
- Mediante la realización de pruebas se pudo determinar que la temperatura adecuada para la fabricación de briquetas se encuentra entre el rango de 330 a 340 °C.

- El método de corte seleccionado es mecánico, el cual utiliza una placa inclinada para realizar el corte de aproximadamente 15 cm de largo, obteniendo un error promedio de corte del 3,2%, siendo un error bajo y aceptable.
- Con el proceso de briqueteado se logró aumentar la densidad de la materia prima de 215 kg/m³ a 1172,77 kg/m³ mediante la elaboración de briquetas de aserrín.
- La elaboración de un manual de usuario y mantenimiento de la máquina es de gran utilidad para que el operario pueda manejar la máquina de una manera eficiente, además de conocer sus partes constitutivas, las advertencias de seguridad y el mantenimiento adecuado que se debe realizar.
- Mediante la fabricación de briquetas se pudo dar un mejor uso al desperdicio de las industrias madereras, el aserrín de madera, mediante el reciclaje, además de obtener un producto con mejores características. Mediante las pruebas experimentales se pudo determinar que el tiempo de consumo es mayor (aproximadamente 1,57 veces mayor), tiempo de encendido y porcentaje de residuos menor que la leña, además de tener una reducción de volumen de 5,44 veces.

RECOMENDACIONES

- Para obtener un proceso más completo de fabricación de briquetas se puede incluir el secado y triturado de la materia prima.
- Con la gran cantidad de desechos madereros generados por las industrias la creación de una empresa de fabricación de briquetas sería necesaria para aprovechar este desperdicio y reutilizarlo.
- Para la utilización, manejo y mantenimiento de la máquina se debe basarse en el manual de usuario para evitar cualquier tipo de accidente hacia el operario o daños a la máquina.

- Para obtener una mejor eficiencia energética es recomendable aislar las resistencias eléctricas para no perder energía hacia el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahn, H., Sauer, T., Richard, T., & Glanville, T. D. (2009). Determination of thermal properties of composting.
- Alegsa, L. (12 de Mayo de 2010). Alegsa.com.rar. Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema%20de%20control.php>
- Arian. (s.f.). Arian Control & Instrumentacion. Obtenido de <http://www.arian.cl/espanol/about.htm>
- Automatización y control. (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/industriaedwinortiz/automatizacion-1/sistema-de-control-1>
- Barreara, J. A. (s.f.). La mejor forma de reutilizar los residuos forestales. Revista el mueble y la madera, 66-72.
- Basauré, P. (23 de Octubre de 2008). Aserrín de madera/compsta -2. Obtenido de <http://www.manualdelombricultura.com/foro/dat.pl?cl=c&n=16676&>
- Blesa, J. (2002). Briqueteado de lignitos con aditivos. seguimiento físico-químico del proceso. Obtenido de http://digital.csic.es/bitstream/10261/5559/1/Tesis_MJesus.pdf
- Botta, A. (3 de Octubre de 2012). Red Proteger. Obtenido de http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. McGraw-Hill.
- Castillo, J. R. (25 de Mayo de 2011). El control On Off. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/56282416/El-Control-On-Off>
- Cengel, Y. A. (2004). Transferencia de calor. Mexico: McGraw-Hill.
- Champs, M. (2008). Los Biocombustibles. España: Mundi-Prensa.
- Chillán, P. P. (s.f.). Use pellets premium. Obtenido de <http://pelletschillan.cl/pellets-2/>
- Cyclopaedia. (s.f.). Bloque sólido combustible. Obtenido de <http://www.cyclopaedia.es/wiki/Bloque-solido-combustible>
- Departamento de Montes. (s.f.). Depositos de documentos de la FAO. Obtenido de Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales: <http://www.fao.org/docrep/t0269s/t0269S10.htm>
- Ecocof. (s.f.). Ventajas de las briquetas, frente a la leña. Obtenido de <http://ecocof.es/ventajas-de-las-briquetas-frente-a-la-lena>
- Faires, V. M. (s.f.). Diseño de elementos de máquina. Montaner y Simon S.A. Barcelona.

- Fonseca, E., & Tierra T., L. (2011). Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción de gas pobre. Riobamba. Recuperado el 17 de 10 de 2014
- Gallipoliti1 , V., Martina, P., Corace, J., Aeberhardt, R., & García Sola, E. (s.f.). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino análisis inmediato Y obtención de su poder calorífico. pág. 6.
- Gover, P. (1996). Biomass briquetting: technology and practices. Bangkok.
- Karlekar, B., & Desmond, R. (s.f.). Transferencia de calor (Vol. Segunda edición). Mexico: Interamericana.
- Leñas Oliver. (s.f.). Tienda biomasa. Obtenido de <http://tiendabiomasa.com/briqueta>
- Martín, F. (s.f.). Pelets y briquetas. Obtenido de infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf
- Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. Pearson.
- Nanjing Pellet Mill Co., Ltd (NPM) . (s.f.). NPM. Obtenido de <http://www.plantadepellets.com/FAQ/como-fabricar-pellets-combustibles.html>
- Norton, R. L. (2011). Diseño de máquinas (Cuarta edición ed.). Mexico: Pearson.
- Omega. (s.f.). Introducción a los controladores de temperatura. Obtenido de <http://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>
- Ortiz Torres, L. (2008). Producción de Biocombustibles sólidos de alta densidad en España. Boletín del CIDEU 5, 17.
- Ortiz, L. (2008). Aprovechamiento de la Biomasa Forestal. CIS-Madera, 17.
- Pasache , M., & Sánchez , E. (2013). Análisis de caso de estudio del uso de briquetas de aserrín en familias que usan leña y carbón en la zona de Piura y Sullana-Perú. Mexico.
- Riva, C. (2002). Diseño concurrente.
- Roldán C., J. (25 de Mayo de 2011). El Control On Off. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/56282416/El-Control-On-Off>
- Rubiel, R., & M. Patiño. (2008). Diseño y Construcción de un Controlador de Temperatura Programable. Revista colombiana de Fisica, 3.
- Sanches, C. N. (s.f.). slideshare. Obtenido de <http://es.slideshare.net/cotty2601/estructuras-y-mquinas-simples1>
- Sato, A. T. (18 de Junio de 2012). Informe de Control on-Off Con Histeresis. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis>
- Savgorodny, V. K. (s.f.). Transformación de plasticos. Barcelona: Gustavo Gili.

- Solis , B. (29 de Mayo de 2014). Efectos aglutinantes briquetas. Obtenido de <https://prezi.com/uztiqhv231-v/efectos-aglutinantes-briquetas/>
- Soto, G., & Núñez, M. (s.f.). SciElo. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2008000200005&script=sci_arttext
- Suministros tecnicos S.A. (s.f.). Sumitec. Obtenido de http://www.sumiteccr.com/navegadores/esp/productos_esp.shtml
- UAB UMP Technuka. (s.f.). PMF. Obtenido de <http://www.briquette.lt/index.php/pageid/823>
- Young, W. C., & Budynas, R. G. (2011). Roark's Formulas for Stress and Strain. McGraw-Hill.
- Zhanbin, C. (2003). Normal Temperature Briquetting Technology for Biomass with Original. Dalian, China.

ANEXOS

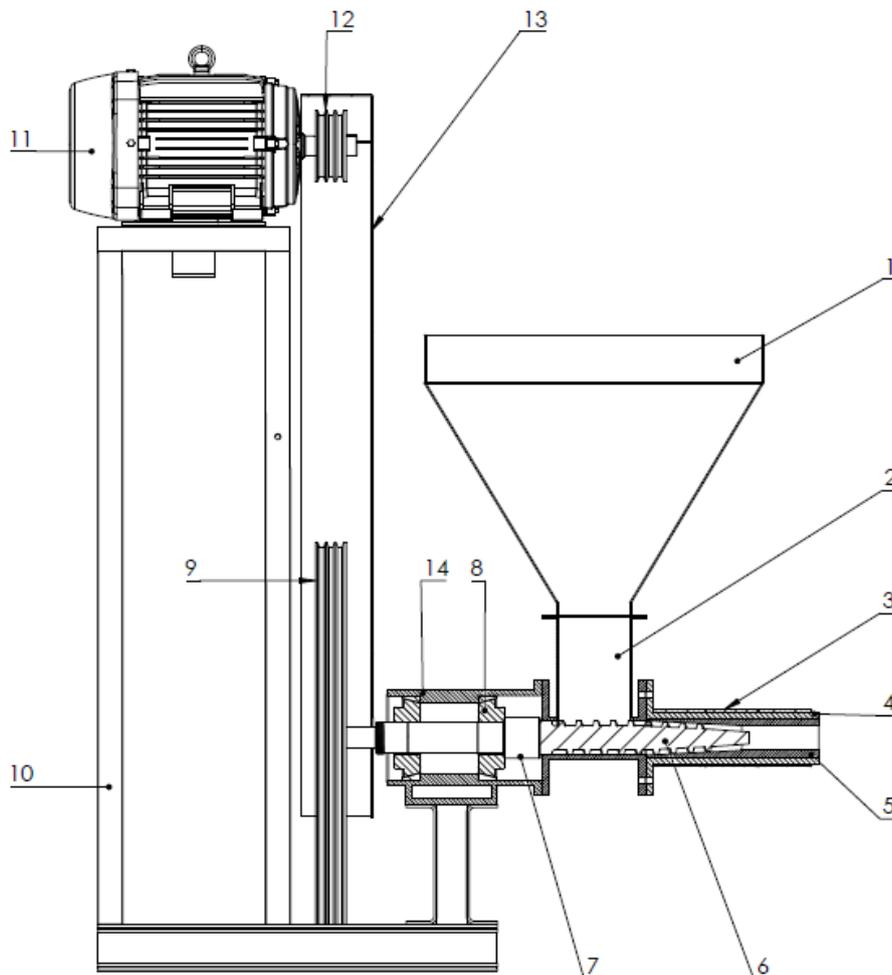
Anexo A: MANUAL DE USUARIO

INTRODUCCION

El presente instructivo está dirigido a dar a conocer las diferentes pautas de operación de la máquina briqueteadora de aserrín, como la instalación, encendido, puesta en marcha, apagado, precauciones y mantenimiento, para garantizar el buen funcionamiento de la misma; además de ayudar al usuario a realizar un buen trabajo al momento de operar la máquina.

PARTES DE LA MAQUINA

A continuación se presentan las diferentes partes que conforman la máquina briqueteadora de aserrín.



Número	Denominación
1	Tolva
2	Base tolva
3	Resistencias eléctricas
4	Cilindro
5	Molde
6	Tornillo
7	Eje de transmisión
8	Rodamientos
9	Polea conducida
10	Estructura
11	Motor
12	Polea conductora
13	Protección poleas
14	Caja de rodamientos

INSTALACIÓN

Para la puesta en marcha la máquina debe ser instalada mediante los siguientes requerimientos.

1. La máquina debe ser instalada en un ambiente estable y fresco, es decir que tenga una buena ventilación y que el piso sea nivelado.
2. El lugar de instalación debe ser amplio para evitar que se susciten accidentes y para poder realizar un mantenimiento fácil y rápido.
3. Para la alimentación eléctrica es necesario de luz trifásica de 220 V con su respectiva puesta a tierra

INDICADORES TABLERO DE CONTROL

Los botones e indicadores en el tablero de control son los siguientes:



ENCENDIDO

A continuación se explican los pasos para encender la máquina.

1. Verificar si el indicador visual del paro de emergencia (luz roja) del tablero esta encendido. En el exterior del tablero se encuentra el botón de PARO (rojo), el cual no debe estar presionado.
2. Verificar la dirección de rotación del motor o del tornillo, el cual debe girar en sentido anti horario, antes de continuar con el encendido de la máquina.
3. Activar el selector para encender el pirómetro de temperatura y las resistencias calefactoras.
4. Verificar que el SET-POINT se encuentre en 340 °C en el pirómetro, caso contrario corregir el valor (temperatura).
5. Las resistencias calefactoras comienzan a funcionar y calentar el cilindro, hasta llegar a la temperatura deseada, tiempo que demora aproximadamente 15 a 20 minutos.
6. Activar el pulsador de encendido del motor.
7. Verificar que no existan anomalías o ruidos extraños.

8. Comenzar con el proceso de briqueteado

ARRANQUE DEL PROCESO

Una vez que la máquina se ha encendido se comienza con el proceso de briqueteado en el cual se debe seguir los siguientes pasos:

1. Verificar que el material a procesar (aserrín) sea el correcto, es decir que cumpla con los parámetros de humedad y tamaño establecidos.
2. Se debe asegurar que el aserrín no contenga materiales extraños como metales, piedras, basura, etc.; los cuales dañen el tornillo o cilindro de la máquina.
3. Introducir el material a la tolva de alimentación, teniendo la precaución de no llenarla en su totalidad para evitar taponamientos.
4. Ir llenando la tolva del material para que la máquina no pierda la continuidad del proceso.
5. Colocar las briquetas en un ambiente fresco para su enfriamiento y posteriormente almacenarlas.

APAGADO

Para el apagado de la máquina se sigue los siguientes pasos:

1. Esperar a que el material existente en la tolva sea procesado.
2. Apagar las resistencias calefactoras y el pirómetro.
3. Apagar el motor eléctrico.

4. Pulsar el botón de paro de emergencia.
5. En caso de que haya quedado materia prima en la tolva sacarlo después de que se haya enfriado.

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD.

Es importante tener en cuenta las siguientes advertencias para evitar accidentes.

1. Utilizar un equipo de protección para las manos (guantes) y para el rostro (mascarilla y gafas).
2. No tocar ni acercarse a la protección de las resistencias calefactoras porque pueden causar quemaduras.
3. No colocarse enfrente de la máquina, debido a que si la materia prima no cumple con los parámetros requeridos pueden ocasionar explosiones y por consiguiente la salida de la briqueta como un proyectil.
4. Dejar enfriar las briquetas en un lugar fresco y lejos de materiales inflamables para evitar incendios.
5. Nunca arrancar la máquina en frío debido a que el material residual en el interior de cilindro impedirá el movimiento del tornillo trabándolo ocasionando que este se dañe o dañe alguna otra parte de la máquina.
6. El lugar donde funcione la máquina debe tener una buena ventilación para evitar la acumulación de humo producido por la máquina
7. Esta máquina ha sido fabricada exclusivamente para fabricación de briquetas de aserrín, por lo que utilizarla para otro motivo se considera indebido y por consiguiente peligroso.

MANTENIMIENTO

Para evitar daños o fallas prematuras de los diferentes componentes de la máquina, es recomendable dar un buen mantenimiento y mantener en óptimas condiciones cada parte para alargar su vida útil mediante la revisión, lubricación y limpieza periódica.

Frecuencia	Detalles	Diario	Mensual	Semestral	Anual
Sistema					
SISTEMA MECÁNICO					
Motor	Revisión funcionamiento motor			X	
	Revisiones de las aberturas del ventilador despejadas. La limpieza debe ser mediante aspiración para remover el polvo o partículas de aserrín	X			
	Comprobación de ruidos extraños durante el funcionamiento del motor es decir comprobar auditivamente si ha cambiado la suavidad de marcha del motor	X			
	Verificar que la carcasa del motor no se sobrecaliente, esto se lo puede realizar con el tacto o con algún instrumento de medida.	X			
Poleas	Verificar que estén correctamente alineadas,	X			
	Asegurarse que la protección y las poleas estén limpias y libres de escombros adquiridos mediante el proceso, limpiarlas correctamente, para evitar daños en las poleas.	X			
	Revisión estado de las poleas		X		
Bandas	Verificar que las bandas tengan la tensión necesaria para minimizar el deslizamiento bajo carga y velocidad		X		

	Identificar cortaduras o deshilachas de las bandas		X		
Rodamientos	Verificar ruidos o vibraciones extrañas	X			
	Lubricación				X
Cilindro_ molde y tornillo	Realizar una limpieza y pulido para eliminar cualquier residuo que se encuentre adherido a las paredes			X	
	Verificar si existe desgaste o agrietamientos y comprobar sus dimensiones (llevar un registro)				X
SISTEMA ELÉCTRICO					
Tablero de control cableado y resistencias	Limpieza del tablero de control		X		
	Revisión de las conexiones y los terminales de los cables estén en buen estado y correctos dentro del tablero			X	
	Revisión del estado físico de los diferentes componentes del tablero y eliminar cualquier impureza o residuo de material de ellos, si es necesario utilizar limpia contactos			X	
	Revisión el estado de los cables, especialmente los que salen del tablero de control hacia las resistencias y el motor, observando que no estén pelados o cortocircuitados		X		
	Revisión del estado resistencias eléctricas			X	

Anexo B

Anexo B-1(Motor eléctrico)

Fuente. Catálogo WEG

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I _L /I _n	Par con rotor trabado T _L /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	220 V							
								RPM	% de la potencia nominal			Corriente nominal I _n (A)							
									Rendimiento				Factor de potencia						
kW	HP							Caliente	Frio			50	75	100	50	75	100		
N Polos																			
0,09	0,12	63	0,051	5,2	3,2	3,4	0,0003	22	48	7,0	48	1725	45,0	53,0	55,0	0,44	0,52	0,61	0,704
0,12	0,16	63	0,068	4,5	2,1	2,4	0,0004	25	55	7,0	48	1710	49,0	55,0	58,0	0,45	0,57	0,66	0,830
0,18	0,25	63	0,103	4,7	2,2	2,4	0,0004	16	35	7,5	48	1710	51,0	58,0	62,0	0,45	0,58	0,67	1,14
0,25	0,33	63	0,142	4,5	2,3	2,5	0,0006	20	44	8,0	48	1720	50,0	58,0	62,0	0,44	0,55	0,64	1,65
0,37	0,5	71	0,215	4,3	2,1	2,2	0,0007	12	26	10,0	47	1680	60,0	66,0	67,0	0,46	0,59	0,69	2,10
0,55	0,75	71	0,317	5,3	2,5	2,5	0,0008	12	26	11,5	47	1690	65,0	68,0	69,0	0,46	0,67	0,69	3,05
0,75	1	80	0,422	6,8	2,4	2,7	0,0032	9	20	12,5	48	1730	75,0	78,0	78,2	0,63	0,76	0,82	3,07
1,1	1,5	80	0,627	6,4	2,5	2,8	0,0030	9	20	14,0	48	1710	76,0	79,0	79,2	0,61	0,74	0,81	4,50
1,5	2	90S	0,845	6,4	2,1	2,6	0,0049	10	22	18,5	51	1730	80,5	81,5	82,0	0,59	0,71	0,79	6,08
2,2	3	90L	1,25	5,7	2,1	2,4	0,0060	9	20	22,0	51	1720	82,0	83,0	83,1	0,62	0,74	0,81	8,58
3	4	100L	1,70	6,8	2,4	2,7	0,0097	7	15	30,0	54	1720	83,5	84,0	84,1	0,63	0,77	0,83	11,3
3,7	5	100L	2,11	6,4	2,7	2,9	0,0097	11	24	33,0	54	1710	85,0	85,5	85,5	0,63	0,75	0,81	14,0
4,5	6	112M	2,50	7,2	2,1	2,8	0,0182	8	18	42,0	58	1750	84,5	86,0	86,2	0,63	0,75	0,81	16,6
5,5	7,5	112M	3,08	6,0	2	2,7	0,0167	11	24	43,0	58	1740	86,0	87,0	87,0	0,61	0,74	0,80	20,6
7,5	10	132S	4,15	7,2	2	2,8	0,0528	8	18	63,0	61	1760	86,5	88,0	87,5	0,67	0,78	0,83	27,2
9,2	12,5	132M	5,11	6,4	1,9	2,5	0,0642	8	18	70,0	61	1755	88,0	88,5	88,0	0,69	0,79	0,84	33,0
11	15	132M	6,10	8,3	2,3	2,8	0,0563	6	13	73,0	61	1755	87,0	88,5	88,6	0,68	0,80	0,83	39,2
15	20	160M	8,28	6,2	2,1	2,6	0,1046	9	20	105	64	1765	89,0	90,2	90,2	0,68	0,79	0,84	52,0
18,5	25	160L	10,2	6,3	2,2	2,7	0,1258	9	20	122	64	1765	89,5	91,0	91,0	0,68	0,79	0,84	63,6
22	30	180M	12,2	6,0	2,2	2,5	0,1392	12	26	150	64	1760	89,6	91,0	91,1	0,68	0,79	0,84	75,4
30	40	200M	16,5	6,0	2	2,4	0,2406	12	26	195	68	1770	91,0	91,8	91,8	0,71	0,80	0,85	101
37	50	200L	20,4	6,0	2	2,4	0,2918	12	26	222	68	1770	92,0	92,5	92,5	0,71	0,81	0,85	123
45	60	225S/M	24,7	6,8	2,3	2,6	0,4914	10	22	367	70	1775	92,3	93,1	93,1	0,75	0,83	0,87	146
55	75	225S/M	30,2	6,9	2,3	2,6	0,5632	9	20	386	70	1775	92,8	93,4	93,3	0,75	0,83	0,87	178
75	100	250S/M	41,2	7,0	2,4	2,7	0,8767	10	22	470	70	1775	93,0	93,6	93,6	0,75	0,84	0,88	238
90	125	280S/M	49,2	6,5	1,9	2,5	1,47	17	37	625	73	1780	93,0	93,9	94,0	0,74	0,82	0,86	292
110	150	280S/M	60,0	7,3	2,2	2,7	1,87	16	35	684	73	1785	93,2	94,1	94,3	0,74	0,83	0,86	356
132	180	315S/M	71,8	6,5	2	2,3	2,33	24	53	880	75	1790	93,0	94,3	94,6	0,73	0,81	0,85	430
132	180	315S/M	71,8	6,5	2	2,3	2,33	24	53	880	75	1790	93,0	94,3	94,6	0,73	0,81	0,85	430
150	200	315S/M	81,6	6,8	2	2,4	2,88	20	44	947	75	1790	93,5	94,5	94,7	0,74	0,83	0,86	484
185	250	315S/M	101	6,6	2,1	2,3	3,42	17	37	1018	75	1790	94,0	94,6	94,8	0,75	0,83	0,86	596
200	270	315S/M	109	7,3	2,3	2,3	3,76	18	40	1062	75	1790	94,2	94,8	95,0	0,76	0,83	0,86	642
220	300	315L	120	6,6	2,3	2,4	5,80	16	35	1180	79	1790	94,4	94,9	95,2	0,75	0,83	0,86	706
260	350	315L	141	7,6	2,6	2,6	6,86	13	29	1287	79	1790	94,6	95,2	95,4	0,75	0,83	0,87	822
300	400	315L	163	7,7	2,7	2,6	8,12	14	31	1398	79	1790	94,8	95,3	95,6	0,76	0,84	0,87	946
330	450	355M/L	180	7,0	2,1	2,3	8,61	19	42	1662	81	1790	95,2	95,6	95,7	0,77	0,83	0,86	1050
370	500	355M/L	201	7,6	2,6	2,6	10,2	12	26	1833	81	1790	95,3	95,7	95,8	0,75	0,82	0,85	1190
400	550	355M/L	218	7,3	2,5	2,6	11,1	14	31	1916	81	1790	95,4	95,8	95,9	0,74	0,82	0,86	1270
440	600	355M/L	239	7,1	2,2	2,5	11,6	16	35	1966	81	1790	95,5	95,9	96,0	0,74	0,82	0,86	1430

Anexo C

Anexo C-1(Factor de servicio)

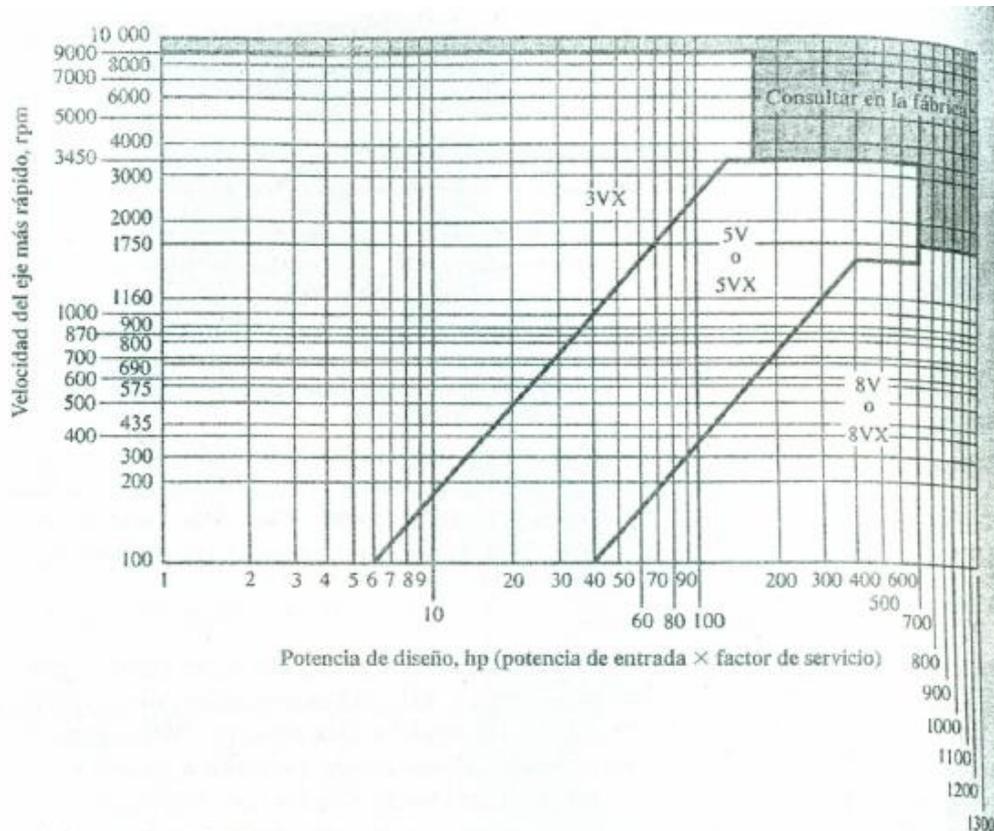
Fuente. (Mott, 2006)

TABLA 7-1 Factores de servicio para bandas V

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Anexo C-2 (Tipo de banda V)

Fuente. (Mott, 2006)



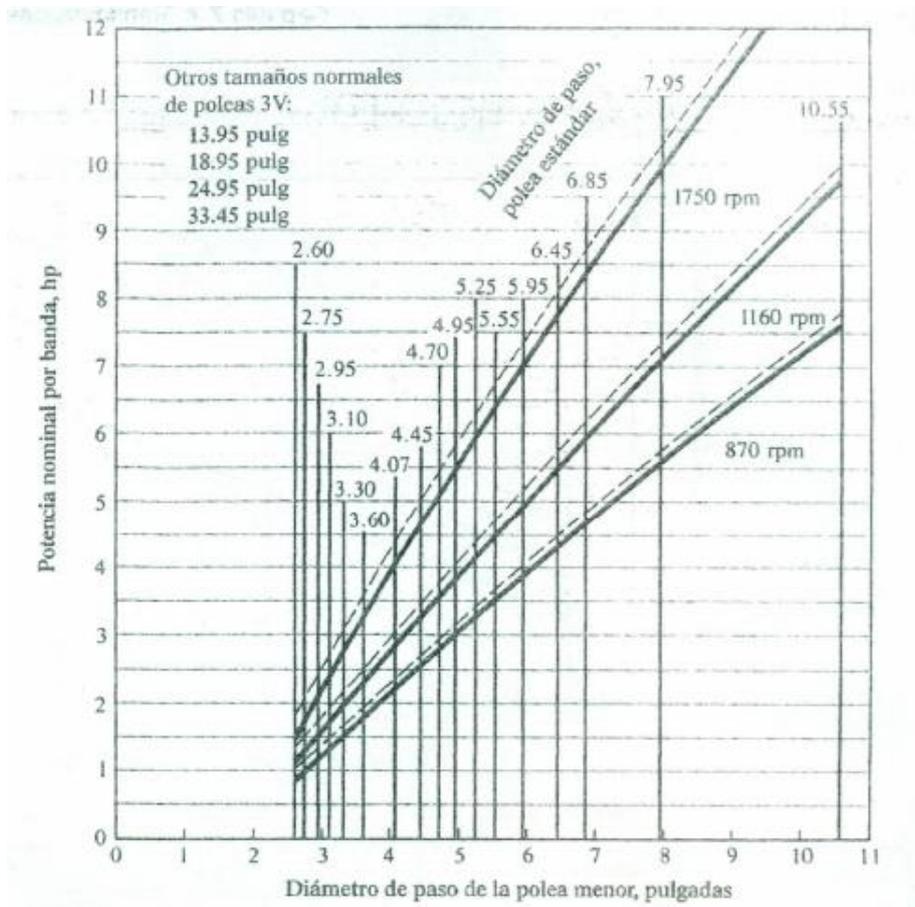
Anexo C-3 (Diámetro polea conductora)

Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)

POTENCIA DEL MOTOR HP	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*
* 30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

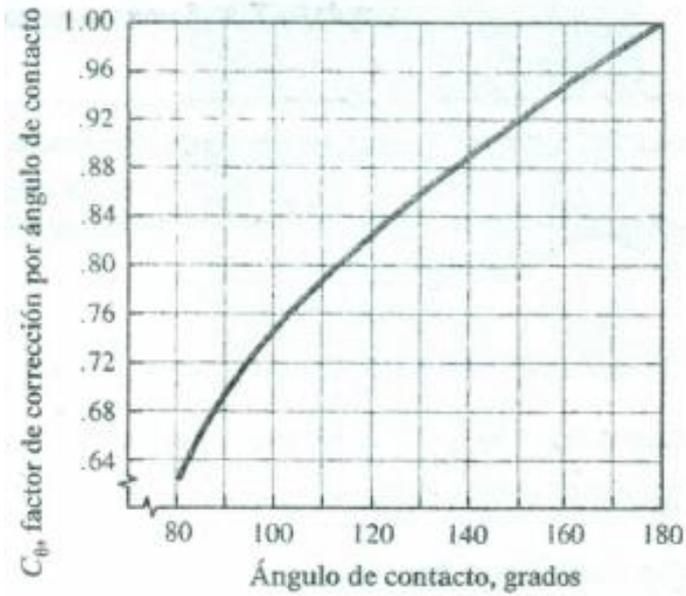
Anexo C-4 (Potencia nominal por banda)

Fuente. (Mott, 2006)



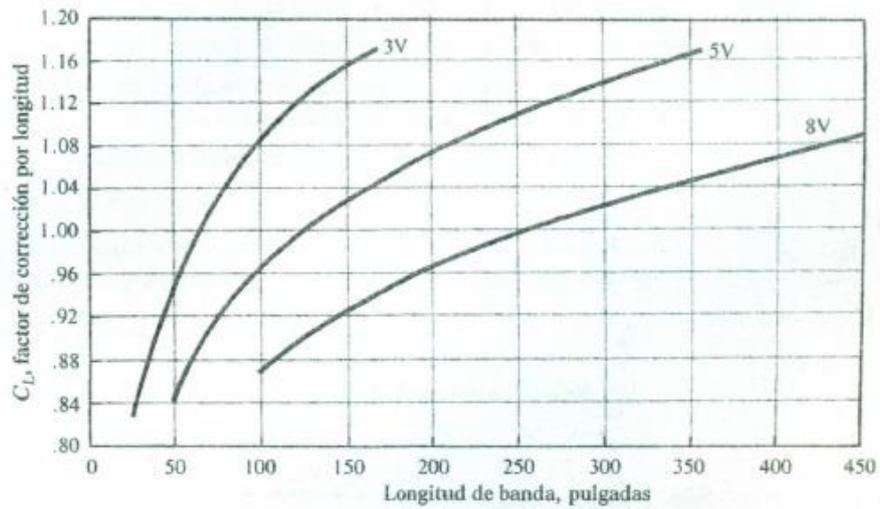
Anexo C-5 (Factor de corrección de ángulo de contacto)

Fuente. (Mott, 2006)



Anexo C-6 (Factor de corrección por longitud)

Fuente. (Mott, 2006)



Anexo D

Anexo D-1 (Parámetros del factor de superficie)

Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)

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

Anexo D-2 (Factor de temperatura)

Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Anexo D-3 (Factor de confiabilidad)

Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)

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

Anexo D-4 (Factor de diseño)

Fuente. (Mott, 2006)

1. $N = 1.25$ a 2.0 . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2. $N = 2.0$ a 2.5 . Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro.
3. $N = 2.5$ a 4.0 . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4. $N = 4.0$ o más. Diseño de 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. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

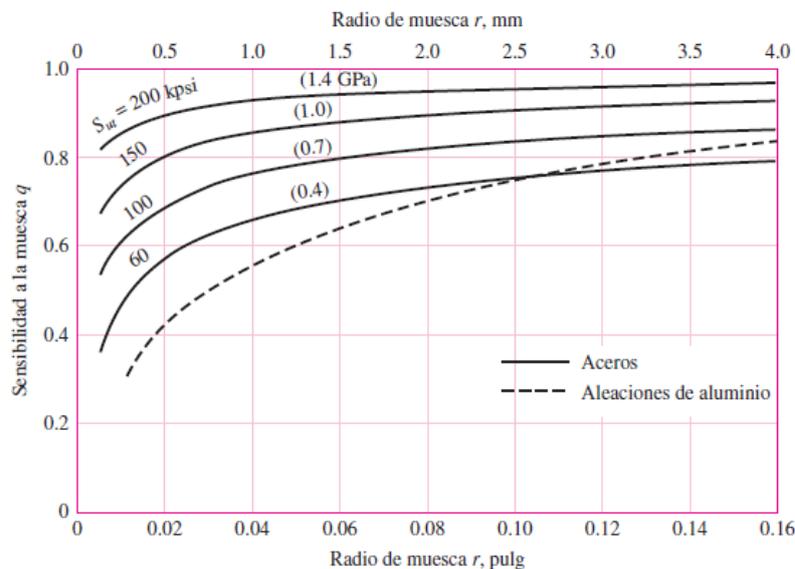
Anexo D-5 (Factores de concentración de esfuerzos)

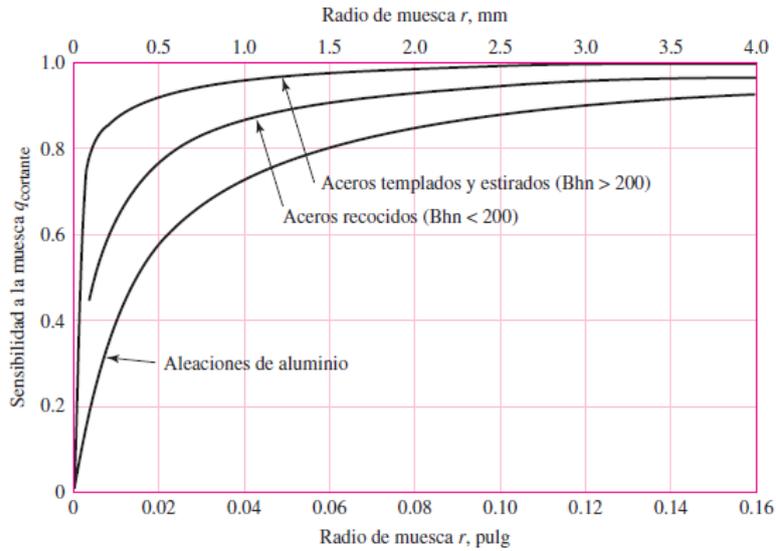
Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Anexo D-6 (Sensibilidad a la muesca)

Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)





Anexo D-7 (Tamaño de la cuña)

Fuente. (Mott, 2006)

TABLA 11-1 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

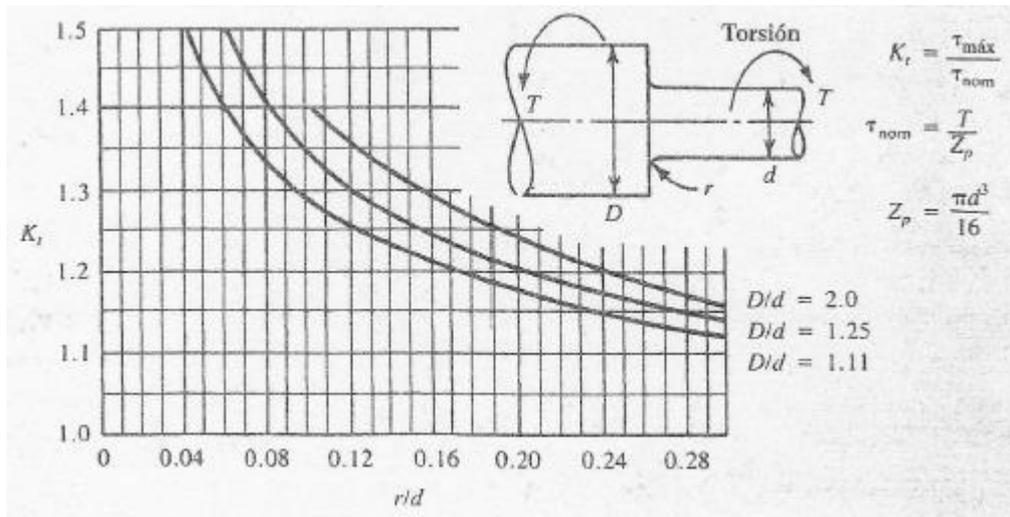
Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
		Altura, H		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/4	1/4	1/4	3/16
1 1/8	1 1/8	5/16	5/16	1/4
1 1/8	1 1/4	3/8	3/8	1/4
1 1/4	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 1/4	5/8	5/8	7/16
2 1/4	3 1/2	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 1/4	7/8	7/8	5/8
3 1/2	4 1/2	1	1	3/4
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	7/8
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1
6 1/2	7 1/2	1 3/4	1 3/4	1 1/8
7 1/2	9	2	2	1 1/4
9	11	2 1/2	2 1/2	1 1/2
11	13	3	3	2
13	15	3 1/2	3 1/2	2 1/2
15	18	4		3
18	22	5		3 1/2
22	26	6		4
26	30	7		5

Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

Nota: Se prefieren los valores en las áreas no sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.

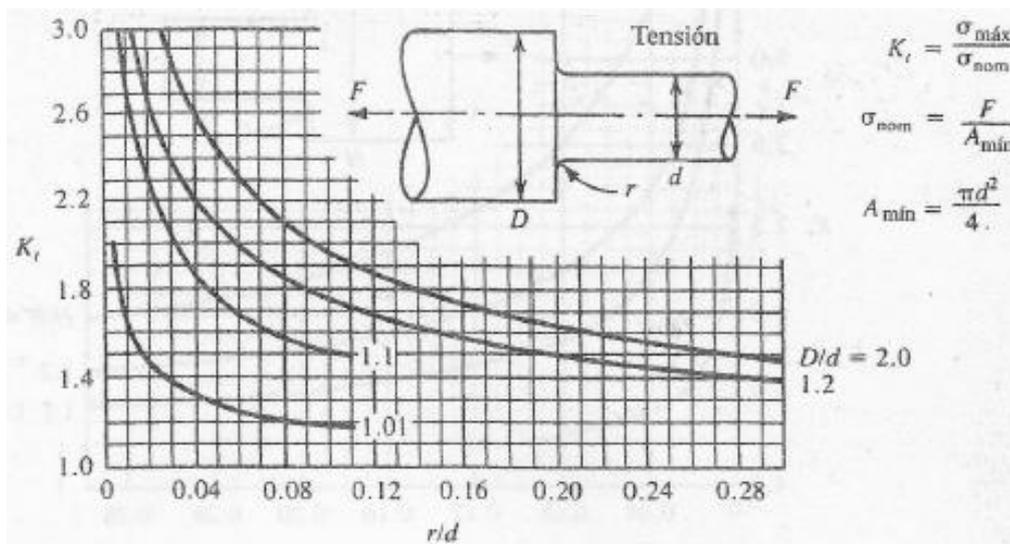
Anexo D-8 (Factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo)

Fuente. (Mott, 2006)



Anexo D-9 (Factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo)

Fuente. (Mott, 2006)

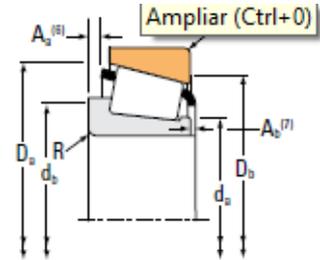
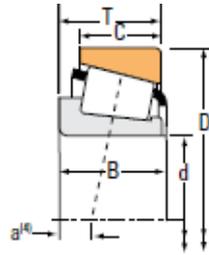


Anexo E

Anexo E-1 (selección rodamiento)

Fuente. Catálogo Timken

TYPE TS



Bearing Dimensions			Load Ratings							Part Number		
Bore d	O.D. D	Width T	Dynamic ⁽¹⁾		Factors ⁽²⁾		Dynamic ⁽³⁾		Factors ⁽²⁾	Static C ₀	Inner	Outer
			C ₁	e	Y	C ₉₀	C ₂₀₀	K	C ₀			
mm in.	mm in.	mm in.	N lbf			N lbf	N lbf			N lbf		
66.675 2.6250	152.400 6.0000	53.975 2.1250	339000 76100	0.49	1.23	87800 19700	73200 16500	1.20		423000 95000	HH814547	HH814510
66.675 2.6250	177.800 7.0000	57.150 2.2500	451000 101000	0.80	0.75	117000 26300	160000 35900	0.73		413000 92900	HH914449	HH914412
68.262 2.6875	110.000 4.3307	22.000 0.8661	98900 22200	0.40	1.49	25600 5760	17600 3970	1.45		125000 28100	399A	394A
68.262 2.6875	110.000 4.3307	22.000 0.8661	98900 22200	0.40	1.49	25600 5760	17600 3970	1.45		125000 28100	399AS	394A
68.262 2.6875	111.125 4.3750	22.000 0.8661	98900 22200	0.40	1.49	25600 5760	17600 3970	1.45		125000 28100	399A	393AS
68.262 2.6875	112.712 4.4375	26.967 1.0617	98900 22200	0.40	1.49	25600 5760	17600 3970	1.45		125000 28100	399AS	3920
68.262 2.6875	112.712 4.4375	26.967 1.0617	98900 22200	0.40	1.49	25600 5760	17600 3970	1.45		125000 28100	399A	3920
68.262 2.6875	120.000 4.7244	29.002 1.1418	143000 32200	0.38	1.56	37200 8360	24500 5500	1.52		186000 41900	480	472A
68.262 2.6875	120.000 4.7244	29.794 1.1730	143000 32200	0.38	1.56	37200 8360	24500 5500	1.52		186000 41900	480	473
68.262 2.6875	120.000 4.7244	29.794 1.1730	138000 31100	0.44	1.38	35900 8060	26800 6020	1.34		197000 44300	33269	33472
68.262 2.6875	120.000 4.7244	29.795 1.1730	143000 32200	0.38	1.56	37200 8360	24500 5500	1.52		186000 41900	480	472
68.262 2.6875	123.825 4.8750	34.912 1.3745	191000 42900	0.35	1.73	49400 11100	29300 6590	1.69		248000 55700	560-S	552-S
68.262 2.6875	123.825 4.8750	38.100 1.5000	191000 42900	0.35	1.73	49400 11100	29300 6590	1.69		248000 55700	560-S	552A
68.262 2.6875	123.825 4.8750	38.100 1.5000	191000 42900	0.35	1.73	49400 11100	29300 6590	1.69		248000 55700	560-S	552
68.262 2.6875	127.000 5.0000	36.512 1.4375	196000 44100	0.36	1.65	50900 11400	31700 7130	1.61		262000 58900	570	563
68.262	130.048	36.512	196000	0.36	1.65	50900	31700	1.61		262000	570	562

Anexo F

Anexo F-1 (Material AISI 1518)

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

ACERO AISI-SAE 1518 (UNS G15180)

1. *Descripción:* acero al carbono con alto contenido de manganeso. Para fabricación de componentes de maquinaria que requieran alta resistencia. La forma de tubo le permite ahorro de material cuando requiera fabricar piezas que deben tener hueco en su centro. Es adecuado para el proceso de cementación dejando una capa superficial dura y su núcleo tenaz.

2. *Normas involucradas:* ASTM A29

3. *Propiedades mecánicas:*

- Dureza 190 - 220 HB (92 - 97 HRb)
- Esfuerzo de fluencia 490 MPa (71 KSI)
- Esfuerzo máximo 657 MPa (95 KSI)
- Elongación máxima 18%
- Reducción de área 60%

4. *Propiedades químicas:*

- 0.15 – 0.21% C
- 1.10 – 1.40 % Mn
- 0.04 % P máx
- 0.05 % S máx

5. *Usos:* se pueden fabricar bujes, acoples, piñones, y ejes de transmisión. Con el tratamiento de cementación se pueden fabricar engranajes, levas, ejes y tornillos.

6. *Tratamientos térmicos:* este acero puede ser sometido a la cementación. Se puede normalizar (900 – 920°C) y se puede endurecer por austenizado (860 – 890 °C) y templar en agua.

Anexo G

Anexo G-1 Perfil estructura

Fuente. (Mott, 2006)

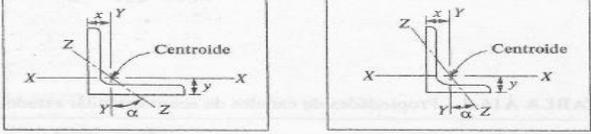


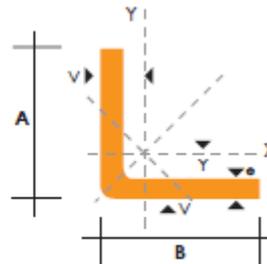
TABLA A16-1 Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales y lados desiguales*

Designación	Área (pulg ²)	Peso por pie (lb)	Eje X-X			Eje Y-Y			Eje Z-Z	
			I (pulg ⁴)	S (pulg ³)	y (pulg)	I (pulg ⁴)	S (pulg ³)	x (pulg)	r (pulg)	α (deg)
L8 × 8 × 1	15.0	51.0	89.0	15.8	2.37	89.0	15.8	2.37	1.56	45.0
L8 × 8 × 1/2	7.75	26.4	48.6	8.36	2.19	48.6	8.36	2.19	1.59	45.0
L8 × 4 × 1	11.0	37.4	69.6	14.1	3.05	11.6	3.94	1.05	0.846	13.9
L8 × 4 × 1/2	5.75	19.6	38.5	7.49	2.86	6.74	2.15	0.859	0.865	14.9
L6 × 6 × 3/4	8.44	28.7	28.2	6.66	1.78	28.2	6.66	1.78	1.17	45.0
L6 × 6 × 3/8	4.36	14.9	15.4	3.53	1.64	15.4	3.53	1.64	1.19	45.0
L6 × 4 × 3/4	6.94	23.6	24.5	6.25	2.08	8.68	2.97	1.08	0.860	23.2
L6 × 4 × 3/8	3.61	12.3	13.5	3.32	1.94	4.90	1.60	0.941	0.877	24.0
L4 × 4 × 1/2	3.75	12.8	5.56	1.97	1.18	5.56	1.97	1.18	0.782	45.0
L4 × 4 × 1/4	1.94	6.6	3.04	1.05	1.09	3.04	1.05	1.09	0.795	45.0
L4 × 3 × 1/2	3.25	11.1	5.05	1.89	1.33	2.42	1.12	0.827	0.639	28.5
L4 × 3 × 1/4	1.69	5.8	2.77	1.00	1.24	1.36	0.599	0.896	0.651	29.2
L3 × 3 × 1/2	2.75	9.4	2.22	1.07	0.932	2.22	1.07	0.932	0.584	45.0
L3 × 3 × 1/4	1.44	4.9	1.24	0.577	0.842	1.24	0.577	0.842	0.592	45.0
L2 × 2 × 3/8	1.36	4.7	0.479	0.351	0.636	0.479	0.351	0.636	0.389	45.0
L2 × 2 × 1/4	0.938	3.19	0.348	0.247	0.592	0.348	0.247	0.592	0.391	45.0
L2 × 2 × 1/8	0.484	1.65	0.190	0.131	0.546	0.190	0.131	0.546	0.398	45.0

Fuente. Catálogo DIPAC

PERFILES ESTRUCTURALES ANGULOS "L" DOBLADO Especificaciones Generales

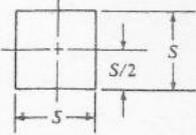
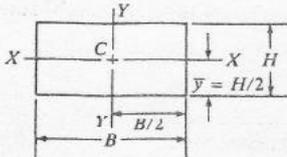
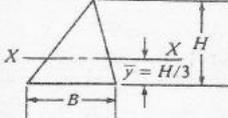
- Norma** INEN 1 623: 2000
- Otras calidades** Previa consulta
- Largo normal** 6,00 m
- Otros largos** Previa consulta
- Espesores** Desde 1,5 hasta 12 mm
- Acabado** Natural
- Otro acabado** Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			EJE X-X = EJE Y-Y					
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	I	W	i	X=Y	EJE U-U	EJE V-V
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm2	cm4	cm3	cm	cm	cm	cm
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72	0.99	0.47
25	25	3	6.36	1.06	1.35	0.79	0.44	0.76	0.77	0.98	0.44
30	30	2	5.34	0.89	1.13	1.00	0.46	0.94	0.84	1.20	0.58
30	30	3	7.80	1.30	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89	1.18	0.55
30	30	4	10.08	1.88	2.14	1.80	0.88	0.92	0.94	1.17	0.52
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09	1.61	0.78
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14	1.59	0.76
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.78
40	40	5	19.62	2.82	3.59	5.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.56	1.43	1.98	0.94
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09	1.54	1.48	1.97	0.93
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62	1.53	1.53	1.96	0.90
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.84	1.89	1.64	2.41	1.16
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13
60	60	6	31.68	5.28	6.80	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11

Anexo G-2 Propiedades de las áreas

Fuente. (Mott, 2006)

<p>c) Cuadrado</p> 	$A = S^2 \quad r = S/\sqrt{12}$ $I = S^4/12$ $S = S^3/6$
<p>d) Rectángulo</p> 	$A = BH \quad r_x = H/\sqrt{12}$ $I_x = BH^3/12 \quad r_y = B/\sqrt{12}$ $S_x = BH^2/6$
<p>e) Triángulo</p> 	$A = BH/2 \quad r = H/\sqrt{18}$ $I = BH^3/36$ $S = BH^2/24$

Anexo G-3 Grado SAE de aceros para sujetadores

Fuente. (Mott, 2006)

TABLA 18-1 Grados SAE de aceros para sujetadores

Grado número	Tamaños de perno (pulg)	Resistencia a la tensión (ksi)	Resistencia de fluencia (ksi)	Resistencia de prueba (ksi)	Marcas en la cabeza
1	1/4 - 1½	60	36	33	Ninguna
2	1/4 - 3/4	74	57	55	Ninguna
	>3/4 - 1½	60	36	33	
4	1/4 - 1½	115	100	65	Ninguna
5	1/4 - 1	120	92	85	
	>1 - 1½	105	81	74	
7	1/4 - 1½	133	115	105	
8	1/4 - 1½	150	130	120	

Anexo G-4 Dimensiones de roscas estándar

Fuente. (Mott, 2006)

TABLA 18-4 Dimensiones de roscas estándar americanas

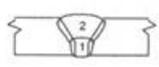
A. Tamaños numerados					
Tamaño	Diámetro mayor básico (pulg)	Roscas gruesas: UNC		Roscas finas: UNF	
		Roscas por pulg	Área de esfuerzo de tensión (pulg ²)	Roscas por pulg	Área de esfuerzo de tensión (pulg ²)
0	0.0600			80	0.001 80
1	0.0730	64	0.00263	72	0.002 78
2	0.0860	56	0.00370	64	0.003 94
3	0.0990	48	0.00487	56	0.005 23
4	0.1120	40	0.00604	48	0.006 61
5	0.1250	40	0.00796	44	0.008 30
6	0.1380	32	0.00909	40	0.010 15
8	0.1640	32	0.0140	36	0.014 74
10	0.1900	24	0.0175	32	0.0200
12	0.2160	24	0.0242	28	0.0258
B. Tamaños fraccionarios					
1/4	0.2500	20	0.0318	28	0.0364
5/16	0.3125	18	0.0524	24	0.0580
3/8	0.3750	16	0.0775	24	0.0878
7/16	0.4375	14	0.1063	20	0.1187
1/2	0.5000	13	0.1419	20	0.1599
9/16	0.5625	12	0.182	18	0.203
5/8	0.6250	11	0.226	18	0.256
3/4	0.7500	10	0.334	16	0.373
7/8	0.8750	9	0.462	14	0.509
1	1.000	8	0.606	12	0.663
1 1/8	1.125	7	0.763	12	0.856
1 1/4	1.250	7	0.969	12	1.073
1 3/8	1.375	6	1.155	12	1.315
1 1/2	1.500	6	1.405	12	1.581
1 5/8	1.750	5	1.90		
2	2.000	4 1/2	2.50		

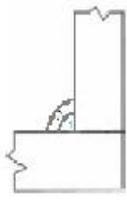
Anexo G-5 Tamaño de tuercas

Fuente. (Budynas & Nisbett, 2008)

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca
1/4	7/16	7/32	9/32	5/32
5/16	1/2	17/64	21/64	3/16
3/8	9/16	21/64	13/32	7/32
7/16	11/16	3/8	29/64	1/4
1/2	3/4	7/16	9/16	5/16
9/16	7/8	31/64	39/64	5/16
5/8	15/16	35/64	23/32	3/8
3/4	1 1/8	41/64	13/16	27/64
7/8	1 5/16	3/4	29/32	31/64
1	1 1/2	55/64	1	35/64
1 1/8	1 11/16	31/32	1 5/32	39/64
1 1/4	1 7/8	1 1/16	1 1/4	23/32
1 3/8	2 1/16	1 11/64	1 3/8	25/32
1 1/2	2 1/4	1 9/32	1 1/2	27/32

Anexo G-6 WPS

WPS		ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nombre de la Empresa: <u>Tesis</u>		Identificación No.: <u>1</u>		Proceso(s) de soldadura: <u>SMAW</u>		Soporte del PQR No.: _____		Revisión: _____ Fecha: _____ Por: _____		
TIPO: MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>		Soldador: _____		Autorizado por: _____						
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN					
Tipo de Unión: <u>A tope</u>					RANURA <u>2G</u> FILETE _____					
Tipo de soldadura: <u>Ranura en V</u> SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>					PLANCHA <input checked="" type="checkbox"/> TUBERÍA <input type="checkbox"/>					
Abertura de Raíz: _____ Longitud de cara de Raíz: _____					CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):					
Ángulo de ranura: <u>60°</u> Radio (J/U): _____										
Soporte: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material del soporte: _____										
Limpieza de raíz: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Método: _____										
METALES BASE					CORRIENTE: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/>					
Grupo: _____					PULSO <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>					
Especificación del Acero: <u>ASTM A36</u> <u>ASTM A36</u>					TÉCNICA					
Grado: _____										
Espesor: <u>6,35 mm</u> <u>6,35 mm</u>										
Diámetro (tubería): _____										
METAL DE APORTE					APORTACIÓN: RECTA <input checked="" type="checkbox"/> OSCILANTE <input type="checkbox"/>					
Especificación AWS: <u>A5.1</u>					PASE: SIMPLE <input type="checkbox"/> MÚLTIPLE <input checked="" type="checkbox"/>					
Clasificación AWS: <u>E7018</u>					Limpieza entre pases: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: <u>Amoladora</u>					
Marca: _____					PRECALENTAMIENTO					
Tamaño del electrodo: <u>3,2 mm</u>										
PROTECCIÓN					POSTCALENTAMIENTO					
Fundente: <u>Revestimiento</u> Gas: _____										
Composición: _____ Velocidad de flujo: _____ Tamaño de la boquilla: _____										
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de alimentación del alambre (mm/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)			
1	SMAW		E7018	3,2	DCPE	100-150	19-21		89	
2	SMAW		E7018	3,2	DCPE	100-150	19-21		89	
ELABORADO POR: _____					FECHA: _____					
APROVADO POR: _____					COMPAÑÍA: _____					

WPS		ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nombre de la Empresa: <u>Tesis</u>		Identificación No.: <u>1</u>		Proceso(s) de soldadura: <u>SMAW</u>		Soporte del PQR No.: _____		Revisión: _____ Fecha: _____ Por: _____		
TIPO: MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>		Soldador: _____		Autorizado por: _____						
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN						
Tipo de Unión: <u>En esquina</u>				RANURA _____ FILETE <u>5F</u>						
Tipo de soldadura: <u>Filete</u> SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>				PLANCHA <input checked="" type="checkbox"/> TUBERÍA <input type="checkbox"/>						
Abertura de Raíz: _____ Longitud de cara de Raíz: _____				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
Ángulo de ranura: _____ Radio (J/U): _____										
Soporte: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material del soporte: _____										
Limpieza de raíz: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Método: _____										
METALES BASE				MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):						
		MB 1	MB 2							
Grupo:		_____	_____							
Especificación del Acero:		<u>ASTM A36</u>	<u>AISI 1518</u>							
Grado:		_____	_____	CORRIENTE: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> PULSO <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>						
Espesor:		<u>15 mm</u>	<u>19 mm</u>							
Diámetro (tubería):		_____	_____							
METAL DE APORTE				TÉCNICA						
Especificación AWS: <u>A5.1</u>										
Clasificación AWS: <u>E7018</u>				APORTACIÓN: RECTA <input checked="" type="checkbox"/> OSCILANTE <input type="checkbox"/>						
Marca: _____				PASE: SIMPLE <input type="checkbox"/> MÚLTIPLE <input checked="" type="checkbox"/>						
Tamaño del electrodo: <u>3,2 mm</u>				Limpieza entre pases: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: <u>Amoladora</u>						
PROTECCIÓN				PRECALENTAMIENTO						
Fundente: <u>Revestimiento</u> Gas: _____				Temperatura de precalentamiento: _____						
Composición: _____				Temperatura de interpase: _____						
Velocidad de flujo: _____				POSTCALENTAMIENTO						
Tamaño de la boquilla: _____				Temperatura: _____						
				Tiempo: _____						
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de alimentación del alambre (mm/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)			
1	SMAW		E7018	3,2	DCPE	100-150	19-21		89	
2	SMAW		E7018	3,2	DCPE	100-150	19-21		89	
ELABORADO POR: _____					FECHA: _____					
APROVADO POR: _____					COMPAÑÍA: _____					

Anexo H

Anexo H-1 (Propiedades del aire)

Fuente. (Cengel, 2004)

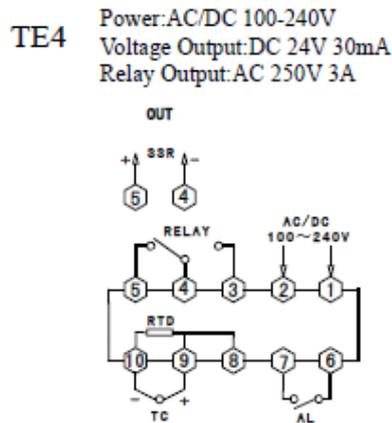
emp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $C_p, \text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986

Anexo I

Anexo I-1 (Pirómetro digital)

Fuente: Manual de usuario

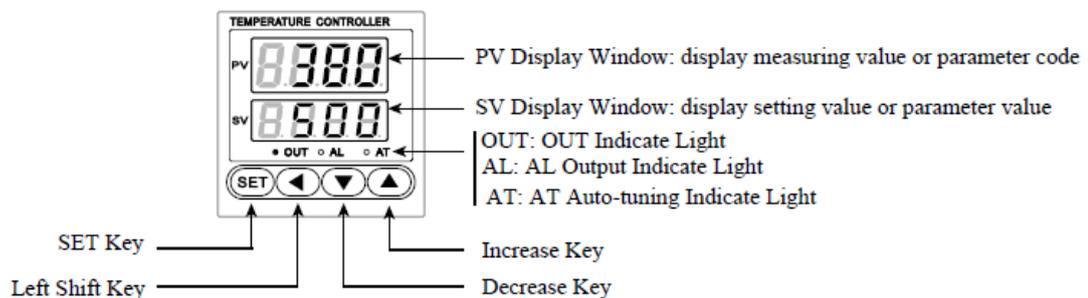
Conexiones pirómetro



Características generales

Resolution	TC: 1°C RTD: 0.1°C.
Output Function and Capacity	Relay Output: Capacity 3A/250VAC SSR Output: (TE6/7/8/9/80/16: 12V Voltage, Load 30mA), (TE4: 24V Voltage Load 30mA)
Power Supply	TE6/7/8/9/80/16: AC 110/220V±10% TE4: AC/DC 100-240V
Total Current	<30mA (AC 220V)
Working Condition	0-50°C 45-85%RH

Pantalla pirómetro



Anexo I-2 (Tabla de conductores)

Fuente: Electro cables Ecuador

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION No. de Hilos por diámetro en mm.	ESPESOR ^o AISLAM.	ESPESOR ^o NYLON	DIAMETRO CHAQUETA	DIAMETRO EXTERNO	PESO ^o TOTAL ^o Kg/Km	Cap. de Corriente	embal.
			mm	mm	mm	mm		Para un cable al aire libre Amp.	
2 x 14	2.08	19 x 0,38	0.38	0.10	1.14	10.80 ^o	94.11	20	A, Z
2 x 12	3.31	19 x 0,47	0.38	0.10 ^o	1.14 ^o	12.30	129.17	25 ^o	A, Z
2 x 10	5.26	19 x 0,60	0.51	0.10	1.14	13.80	191.73	35 ^o	A, Z
2 x 8	8.37	7 x 1,23	0.76	0.13	1.52	18.50	322.44	55 ^o	A, Z
2 x 6	13.30	7 x 1,55	0.76	0.13	1.52	21.50	472.54	70 ^o	A, Z
2 x 4	21.15	7 x 1,96	1.02	0.15	2.03	25.60	720.45	95 ^o	A, Z
2 x 2	33.62	7 x 2,47	1.02	0.15	2.03	25.60	1090.83	130 ^o	A, Z
2 x 1/0	53.49	19 x 1,89	1.27	0.18	2.03	29.80	1651.78	170 ^o	A, Z
3 x 14	2.08	19 x 0,38	0.38	0.10	1.14	11.80	116.71	15 ^o	A, Z
3 x 12	3.31	19 x 0,47	0.38	0.10	1.14	12.80	163.38	20 ^o	A, Z
3 x 10	5.26	19 x 0,60	0.51	0.10	1.52	15.60	245.45	30 ^o	A, Z
3 x 8	8.37	7 x 1,23	0.76	0.13	1.52	20.00	411.08	50	A, Z
3 x 6	13.30	7 x 1,55	0.76	0.13	2.03	23.60	607.09	65	A, Z
3 x 4	21.15	7 x 1,96	1.02	0.15	2.03	27.60	933.18	85	A, Z
3 x 2	33.62	7 x 2,47	1.02	0.15	2.03	27.60	1421.00	115	A, Z
3 x 1/0	53.49	19 x 1,89	1.27	0.18	2.03	31.50	2172.00	150	A, Z ^o
4 x 14	2.08	19 x 0,38	0.38	0.10	1.14	12.80	142.19	12	A, Z
4 x 12	3.31	19 x 0,47	0.38	0.10	1.52	15.10	201.20	16	A, Z
4 x 10	5.26	19 x 0,60	0.51	0.10	1.52	17.10	303.93	25	A, Z
4 x 8	8.37	7 x 1,23	0.76	0.13	1.52	21.70	533.13	40	A, Z
4 x 6	13.30	7 x 1,55	0.76	0.13	2.03	25.50	752.70	55	A, Z
4 x 4	21.15	7 x 1,96	1.02	0.15	2.03	29.60	1162.30	70	A, Z
4 x 2	33.62	7 x 2,47	1.02	0.15	2.03	29.50	1773.00	95	A, Z
4 x 1/0	53.49	19 x 1,89	1.27	0.18	2.03	33.70	2724.00	125	A, Z

Anexo I-3 (Contactor Motor)

Fuente: Catálogo LS



Tamaño	40A		65A		
	MC-32a	MC-40a	MC-50a	MC-65a	
Tipo	Terminales de tornillos				
Número de polos	3 polos				
Tensión nominal, Ue	690V				
Tensión de aislamiento, Ui	1000V				
Frecuencia nominal	50/60Hz				
Máxima tensión de pico, Uimp	8kV				
Número máximo de operaciones por hora (AC 3)	1800 operaciones por hora				
Durabilidad	Mecánica	12 mil. operaciones			
	Eléctrica	2 mil. operaciones			
Intensidad y tensión	AC-1	A	50	60	
	AC-3	200/240V	kW	7.5	11
			A	32	40
		380/440V	kW	15	18.5
			A	32	40
		500/550V	kW	18.5	22
			A	28	32
	690V	kW	18.5	22	
		A	20	23	
Clasificación UL (50/60Hz)	Corriente continua	A	50	60	
	Una	110-120V	HP	2	3
	Fases	220-240V	HP	5	7.5
		200-208V	HP	7.5	15
	220-240V	HP	10	15	
	Tres Fases	440-480V	HP	20	30
	550-600V	HP	25	30	
Tipo NEMA			1	1	
Tamaño y peso	CA control	Peso	0.55		
		Tamaño (An x Al x P)	69 x 83 x 93		
	CC control	Peso	0.77		
		Tamaño (An x Al x P)	69 x 83 x 120		
Auxiliar (Estándar)	UA-1				
Auxiliar	Montaje lateral Montaje frontal				
	UA-1 AU-2, AU-4				

Nota) Intensidad mínima del contacto auxiliar CC 17V 5mA.

Anexo I-4 (Contactor Resistencias eléctricas)

Fuente: Catálogo LS



Tamaño				18A				22A				
Tipo				MC-6a	MC-9a	MC-12a	MC-18a	MC-9b	MC-12b	MC-18b	MC-22b*	
Terminales de tornillos				●	●	●	●	●	●	●	●	
Número de polos				3 polos				3 polos				
Tensión nominal, Ue				690V				690V				
Tensión de aislamiento, Ui				690V				690V				
Frecuencia nominal				50/60Hz				50/60Hz				
Máxima tensión de pico, Uimp				6kV				6kV				
Número máximo de operaciones por hora (AC 3)				1800 operaciones por hora				1800 operaciones por hora				
Durabilidad				15 mil. operaciones				15 mil. operaciones				
Mecánica				2.5 mil. operaciones				2.5 mil. operaciones				
Eléctrica				2.5 mil. operaciones				2.5 mil. operaciones				
Intensidad y tensión				A				A				
AC-1				25	25	25	32	25	25	32	40	
AC-3				kW				kW				
200/240V				2.5	2.5	3.5	4.5	2.5	3.5	4.5	5.5	
380/440V				9	11	13	18	11	13	18	22	
500/550V				3	4	5.5	7.5	4	5.5	7.5	11	
690V				7	9	12	18	9	12	18	22	
A				3	4	7.5	7.5	4	7.5	7.5	15	
A				6	7	12	13	7	12	13	20	
A				3	4	7.5	7.5	4	7.5	7.5	15	
A				4	5	9	9	6	9	9	18	
A				25	25	25	32	25	25	40	40	
Clasificación UL (50/60Hz)				A				A				
Comiente continua				25	25	25	32	25	25	40	40	
Una				110-120V	HP	0.5	0.5	0.75	1	0.5	0.75	1
Fases				220-240V	HP	1.5	1.5	2	3	1.5	2	3
200-208V				HP	2	2	3	5	2	3	5	
Tres				220-240V	HP	3	3	5	7.5	3	5	7.5
Fases				440-480V	HP	5	5	7.5	10	5	7.5	10
550-600V				HP	7.5	7.5	10	15	7.5	10	15	
Tipo NEMA				00	00	0	0	00	00	0	1	
Tamaño y peso				kg				kg				
CA control				0.33				0.34				
Tamaño (An x Al x P) mm				45 x 73.5 x 79				45 x 73.5 x 86				
CC control				0.5				0.51				
Tamaño (An x Al x P) mm				45 x 73.5 x 113.7				45 x 73.5 x 117.7				
Auxiliar (Estándar)				1a or 1b				1a1b				
Auxiliar				UA-1				UA-1				
Montaje lateral				AU-2, AU-4				AU-2, AU-4				
Montaje frontal				AU-2, AU-4				AU-2, AU-4				

Nota) Intensidad mínima del contacto auxiliar CC 17V 5mA.

Anexo I-5 (Breake termomagnético)

Fuente: Catálogo Schneider Electric



C60N 3 Polos

Referencia	Parte	Descripción	Ancho en Pasos de 9 mm
C60N 3P 1A curva C	24344	3 Polos, 1 A	6
C60N 3P 2A curva C	24345	3 Polos, 2 A	6
C60N 3P 3A curva C	24346	3 Polos, 3 A	6
C60N 3P 4A curva C	24347	3 Polos, 4 A	6
C60N 3P 6A curva C	24348	3 Polos, 6 A	6
C60N 3P 10A curva C	24349	3 Polos, 10 A	6
C60N 3P 16A curva C	24350	3 Polos, 16 A	6
C60N 3P 20A curva C	24351	3 Polos, 20 A	6
C60N 3P 25A curva C	24352	3 Polos, 25 A	6
C60N 3P 32A curva C	24353	3 Polos, 32 A	6
C60N 3P 40A curva C	24354	3 Polos, 40 A	6
C60N 3P 50A curva C	24355	3 Polos, 50 A	6
C60N 3P 63A curva C	24356	3 Polos, 63 A	6

Anexo J: Planos Eléctricos

Anexo K Planos Mecánicos