



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA QUE  
UTILICE RESIDUOS DE MADERA PARA LA EMPRESA DECOR  
PARQUÉT EN LA CIUDAD DE AMBATO.”**

---

**AUTORES:**

Bryan Alexis Ponce Ramos

Jorge Esteban Viteri Caiza

**TUTOR:** Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis

**AMBATO – ECUADOR**

**Septiembre - 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA QUE UTILICE RESIDUOS DE MADERA PARA LA EMPRESA DECOR PARQUÉT EN LA CIUDAD DE AMBATO”**, elaborado por los señores Bryan Alexis Ponce Ramos portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805098892 y Jorge Esteban Viteri Caiza portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1803691896, estudiantes de la Carrera de Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



.....  
**Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, **Bryan Alexis Ponce Ramos** con C.I. 1805098892 y **Jorge Esteban Viteri Caiza** con C.I. 1803691896, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA QUE UTILICE RESIDUOS DE MADERA PARA LA EMPRESA DECOR PARQUÉT EN LA CIUDAD DE AMBATO”**, así como también las ideas de diseño, criterio, análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



.....  
**Bryan Alexis Ponce Ramos**  
**C.I. 1805098892**  
**AUTOR**



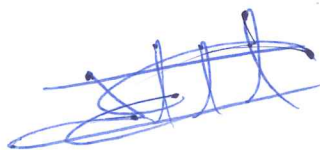
.....  
**Jorge Esteban Viteri Caiza**  
**C.I. 1803691896**  
**AUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que realice de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial y se realice respetando nuestros derechos de autor

Ambato, septiembre 2022



.....  
**Bryan Alexis Ponce Ramos**

**C.I. 1805098892**

**AUTOR**



.....  
**Jorge Esteban Viteri Caiza**

**C.I. 1803691896**

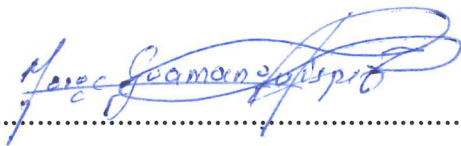
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Ponce Ramos Bryan Alexis y Viteri Caiza Jorge Esteban de la carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA QUE UTILICE RESIDUOS DE MADERA PARA LA EMPRESA DECOR PARQUÉT EN LA CIUDAD DE AMBATO.”**

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firma:



.....  
Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa  
MIEMBRO CALIFICADOR



.....  
Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba  
MIEMBRO CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación dedico principalmente a mis padres Oscar Ponce y Teresa Ramos que con su apoyo incondicional en estos años de carrera me han brindado toda su fortaleza, confianza, consejos y ayuda económica para poder concluir con mis estudios.*

*A mis abuelitos Emma, Luz, José que me han acompañado en esta etapa de mi vida con sus consejos y su sabiduría, también a mis abuelitos que desde el cielo han estado siempre conmigo Manuel y Dolores.*

*A mi tía Beatriz que se convirtió en un pilar importante en mi preparación universitaria, a mi segunda madre Verito que desde el cielo estará orgullosa de lo que he logrado, a mis hermanos Santiago y Doménica que entre juegos y risas siempre me motivaron a no rendirme y culminar mi preparación.*

***Bryan Alexis Ponce Ramos***

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto va dedicado a Dios el cual me ha brindado salud y fuerzas durante todo este periodo académico, me ha protegido durante todo este tiempo y ahora me permite culminar un gran paso en mi vida el cual es llegar a ser un profesional.*

*A mis padres Mónica y Carlos quienes me han apoyado desde el inicio de la carrera a seguir mis sueños y siempre han estado presentes para cualquier necesidad que requiera, de igual forma quiero dedicarles el esfuerzo de este proyecto ya que me han ayudado en cualquier adversidad y siempre han estado presentes en mi vida sin darme la espalda.*

*A mis abuelitos Roció y José quienes me han inspirado a ser una persona grande en la vida y que no me quede conforme con algo simple y que siempre salga adelante, me han inspirado a ser una mejor persona, me han dado el ejemplo de cómo llegar a ser un gran profesional y siempre me han dado su apoyo en cualquier necesidad ya que ellos me han enseñado los valores y principios con los que me he ido formando en toda mi vida.*

*A mi hermana Carla para llenarla de inspiración y que sirva de ejemplo que todo con dedicación se puede culminar y no hay que dejar las cosas a la mitad.*

*A mi enamorada Andrea quien me ha acompañado en todo este proceso y me ha dado su apoyo incondicional para poder llegar a culminar esta etapa de mi vida.*

*A mis amigos con los que he compartido grandes momentos y poder demostrarles que si podemos llegar a superarnos en la vida y llegar a cumplir nuestros sueños*

***Jorge Estaban Viteri Caiza***

## AGRADECIMIENTO

*Agradecer a Dios por permitirme culminar mis estudios universitarios, por darme la fortaleza y la inteligencia de continuar en tiempos donde lo más fácil era tirar la toalla.*

*A mi padre Oscar por su consejos y reprimendas fuertes que lograron guiarme por el camino de bien, a mi madre Teresa que con su amor y cariño incondicional supieron sacarme adelante, a mi hermano Santiago que siempre fue mi cómplice, a mi hermana Doménica que con sus regaños constantes me han hecho saber lo que está bien y lo que está mal, sin cada uno de ustedes no podría haber llegado a este momento.*

*A toda mi familia tíos, primos, ahijada y demás integrantes, quienes con sus consejos y experiencia me han animado a culminar mi vida profesional, especialmente agradezco a mi tía Beatriz que con su apoyo moral y económico me han permitido una persona centrada y correcta.*

*Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica que me acogió durante cinco años de carrera dentro de sus aulas, a los docentes de la carrera de Mecánica quienes compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo.*

*A mi docente tutor Ing. Gonzalo López quien nos supo guiar y siempre estar predispuesto a brindarnos consejos para la correcta culminación del presente trabajo de titulación.*

*A mis amigos que conjuntamente nos exigíamos al máximo para poder superarnos dentro y fuera de las aulas.*

***Bryan Alexis Ponce Ramos***



## AGRADECIMIENTO

*Agradezco en primer lugar a Dios por darme la sabiduría y fuerzas para llegar a culminar con una etapa que comenzó como un sueño y ahora hecho realidad poder llegar a culminar la carrera, de igual forma por cuidar de mí y de mis familiares dándonos salud para poder estar presentes todos los días en la vida de las personas que nos aman*

*Agradezco a mis padres por darme el apoyo necesario en todo este proceso de mi vida, nunca me han negado nada y siempre han estado dispuestos a ayudarme en cualquier necesidad que requiera a pesar de cualquier adversidad que tengan, por darme su confianza y hacerles saber que no les fallaré en esta etapa de la vida.*

*Agradezco a mis abuelitos quienes me han dado los ánimos de superarme y llegar a ser un gran profesional y formar una buena vida como la de ellos, también quienes me han dado las palabras de aliento para poder llegar tan lejos y jamás rendirme en el proceso, por el conocimiento y apoyo que me han brindado en toda la vida.*

*Agradezco a la carrera de mecánica que con sus ingenieros me han dado la guía de cómo aplicar los conocimientos vistos en el aula a la vida real, a los ingenieros que han estado presentes y dispuestos a ayudarme con cualquier duda que se haya presentado en el camino del conocimiento y a los ingenieros que siempre han estado aconsejándome para llegar a ser un gran profesional.*

*A mis amigos y compañeros con los que pase buenos y malos momentos en esta etapa de mi vida, pensando en llegar lejos una vez culminado la etapa universitaria y siempre estar presente para esas personas que con su apoyo me ayudaron a llegar a culminar la carrera.*

**Jorge Estaban Viteri Caiza**

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos .....	1
1.1.1 Investigaciones previas .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 Objetivo General .....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Fundamentación teórica.....	8
1.4.1 Pellets .....	8
1.4.2 Tipos de pellets .....	10

1.4.3	Leña vs Pellets como fuente de energía .....	11
1.4.4	Normativa de los pellets.....	17
1.4.5	Aglutinantes .....	18
1.4.6	Máquina peletizadora.....	18
1.4.7	Partes de la peletizadora.....	22
1.4.8	Tipos de peletizadoras.....	24
1.4.9	Fallas más comunes que se presentan en máquinas peletizadoras.....	28
1.4.10	Dimensionamiento de la máquina.....	28
1.4.11	Materiales para la construcción de la máquina peletizadora.....	53
CAPÍTULO II .....		57
2	METODOLOGÍA .....	57
2.1	Modalidad de investigación.....	57
2.2	Nivel o tipo de investigación.....	57
2.3	Materiales y Recursos.....	58
2.3.1	Lista de materiales para el modelado y simulado de la máquina.....	58
2.3.2	Lista de materiales para la construcción de la máquina.....	60
2.3.3	Recursos Humanos.....	62
2.3.4	Recursos Institucionales.....	63
2.3.5	Recursos Económicos .....	63
2.4	Métodos .....	64
2.4.1	Alternativas de la matriz para la construcción de la máquina.....	64
2.4.2	Ponderación de alternativas .....	65
2.4.3	Selección de la matriz para la construcción de la máquina.....	65
2.4.4	Alternativas del material para la construcción de la máquina.....	66
2.4.5	Ponderación de alternativas .....	66
2.4.6	Selección del material para la construcción de la máquina.....	67
2.4.7	Selección de medidas del pellet .....	67

2.4.8	Diagrama de flujo para el diseño y construcción del prototipo .....	69
CAPÍTULO III.....		71
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	71
3.1	Dimensionamiento de la máquina .....	71
3.1.1	Dimensionamiento de la capacidad de la peletizadora .....	71
3.1.2	Dimensionamiento de la tolva.....	71
3.1.3	Dimensionamiento de los rodillos de compresión .....	74
3.1.4	Dimensionamiento de la matriz .....	78
3.1.5	Dimensionamiento de las cuchillas de corte .....	80
3.1.6	Dimensionamiento del sistema de transmisión .....	81
3.1.7	Dimensionamiento del eje principal.....	88
3.1.8	Dimensionamiento del eje de los rodillos .....	100
3.1.9	Dimensionamiento de la chaveta para el eje principal.....	105
3.1.10	Selección de rodamientos para los ejes.....	107
3.2	Diseño de la máquina en software especializado. ....	113
3.3	Simulación de las partes crítica de la máquina por elementos finitos.....	114
3.3.1	Estructura metálica.....	114
3.3.2	Eje principal .....	115
3.3.3	Eje secundario o de rodillos .....	118
3.3.4	Soporte inferior fijo.....	119
3.4	Construcción de la máquina peletizadora.....	122
3.4.1	Mecanizado del eje principal .....	122
3.4.2	Mecanizado de los rodillos.....	123
3.4.3	Mecanizado del eje secundario .....	124
3.4.4	Mecanizado del soporte fijo inferior .....	125
3.4.5	Mecanizado de la matriz plana.....	126
3.4.6	Mecanizado de bocines .....	127

3.4.7	Preparación del cubo .....	127
3.4.8	Construcción de la mesa de soporte .....	128
3.4.9	Construcción de la cuchilla de corte .....	129
3.4.10	Torneado de las poleas para el eje principal y eje motriz .....	129
3.4.11	Ensamble final de todas las partes y piezas de la máquina .....	130
3.5	Financiamiento de la máquina peletizadora .....	142
3.5.1	Costos directos del proyecto .....	142
3.5.2	Costos indirectos del proyecto .....	143
3.5.3	Costo total del proyecto .....	144
3.6	Verificación del funcionamiento de la peletizadora .....	144
3.7	Manual de uso y mantenimiento.....	147
CAPÍTULO IV.....		154
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	154
4.1	Conclusiones .....	154
4.2	Recomendaciones .....	154
MATERIALES DE REFERENCIA .....		156
Referencias bibliográficas.....		156
Anexos .....		161

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logo de la empresa.....	1
Figura 2. Pellets de madera.....	9
Figura 3. Tolva de alimentación.....	19
Figura 4. Sistema de compactación.....	20
Figura 5. Sistema de corte.....	20
Figura 6. Motor trifásico.....	21
Figura 7. Sistema de transmisión.....	21
Figura 8. Sistema de transmisión.....	22
Figura 9. Peletizadora de matriz plana.....	26
Figura 10. Peletizadora de matriz plana estática con rodillos giratorios.....	26
Figura 11. Peletizadora de matriz plana giratoria con rodillos estáticos.....	27
Figura 12. Peletizadora de matriz anular.....	27
Figura 13. Zona de compresión.....	31
Figura 14. Vista inferior de cuchillas de corte.....	39
Figura 15. Dimensiones del pellet.....	68
Figura 16. Medidas de la tolva.....	73
Figura 17. Tensiones en los ramales de la banda.....	86
Figura 18. Representación gráfica del eje principal.....	88
Figura 19. Análisis de cargas del eje principal.....	89
Figura 20. Diagrama de cuerpo libre del eje principal.....	89
Figura 21. Representación del primer corte en el eje principal.....	90
Figura 22. Representación del segundo corte en el eje principal.....	91
Figura 23. Deformación del eje principal.....	92

Figura 24. Reacciones en los apoyos del eje principal.....	92
Figura 25. Diagrama de fuerza cortante en el eje principal. ....	93
Figura 26. Diagrama de momento flector en el eje principal.....	93
Figura 27. Diagrama de torque en el eje principal. ....	94
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje secundario.....	101
Figura 29. Representación del primer corte eje secundario. ....	101
Figura 30. Representación del segundo corte en el eje secundario.....	101
Figura 31. Deformación del eje secundario. ....	102
Figura 32. Reacciones obtenidas en el eje secundario. ....	102
Figura 33. Diagrama de fuerza cortante del eje secundario. ....	103
Figura 34. Diagrama de momento flector del eje secundario. ....	103
Figura 35. Dimensiones de la chaveta para el eje principal.....	105
Figura 36. Peletizadora de madera (Esquema).....	113
Figura 37. Modelado de la estructura metálica. ....	114
Figura 38. Factor de seguridad de la estructura metálica.....	115
Figura 39. Modelado del eje principal. ....	115
Figura 40. Factor de seguridad estático del eje principal.....	116
Figura 41. Factor de seguridad a fatiga del eje principal. ....	117
Figura 42. Modelado del eje secundario. ....	118
Figura 43. Factor de seguridad del eje secundario.....	118
Figura 44. Modelado del soporte inferior fijo.....	119
Figura 45. Factor de seguridad del soporte inferior fijo.....	119
Figura 46. Factor de seguridad del primer perno. ....	120
Figura 47. Factor de seguridad del segundo perno. ....	120
Figura 48. Factor de seguridad del tercer perno.....	121

Figura 49. Factor de seguridad del cuarto perno.....	121
Figura 50. Pieza de acero antes del torneado. ....	122
Figura 51. Eje principal mecanizado.....	123
Figura 52. Rodillo mecanizado. ....	123
Figura 53. Eje de acero AISI SAE 1018. ....	124
Figura 54. Eje secundario mecanizado.....	124
Figura 55. Cilindro central del soporte fijo inferior.....	125
Figura 56. Placas circulares del soporte. ....	125
Figura 57. Soporte fijo inferior mecanizado. ....	126
Figura 58. Matriz plana mecanizada. ....	126
Figura 59. Bocines mecanizados.....	127
Figura 60. Tubo de petróleo. ....	127
Figura 61. Cubo de la peletizadora mecanizado. ....	128
Figura 62. Tubos de acero A36. ....	128
Figura 63. Estructura metálica construida.....	129
Figura 64. Cuchillas de corte construidas. ....	129
Figura 65. Polea motriz y motor eléctrico.....	130
Figura 66. Polea conducida. ....	130
Figura 67. Partes de la máquina peletizadora.....	131
Figura 68. Proceso de soldadura de las cuchillas. ....	131
Figura 69. Ubicación y prueba de la polea motriz. ....	132
Figura 70. Colocación de la matriz en el cubo.....	132
Figura 71. Colocación de rodillos con rodamientos en el eje secundario.....	133
Figura 72. Colocación de rodamientos en el eje principal. ....	133
Figura 73. Ensamble inicial del mecanismo del equipo.....	134



Figura 74. Montaje del mecanismo en la estructura metálica.....	134
Figura 75. Acople del motor eléctrico. ....	135
Figura 76. Nivelación de las poleas. ....	135
Figura 77. Colocación de las bandas tipo A.....	136
Figura 78. Ensamble parcial de la peletizadora. ....	136
Figura 79. Forrado de la estructura metálica.....	137
Figura 80. Tolva de alimentación.....	137
Figura 81. Pintado a horno de la estructura metálica. ....	138
Figura 82. Fijación de partes por pernos.....	138
Figura 83. Pintado del cubo de la peletizadora. ....	139
Figura 84. Ajustes de bandas tipo A. ....	139
Figura 85. Peletizadora de madera. ....	140
Figura 86. Muestra de pellets fabricados por la máquina. ....	140
Figura 87. Presentación en feria de proyectos Autor 1. ....	141
Figura 88. Presentación en feria de proyectos Autor 2. ....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características recomendadas de los pellets. ....	4
Tabla 2. Materiales para la construcción de la peletizadora. ....	5
Tabla 3. Propiedades térmicas de la leña a 20% de humedad.....	12
Tabla 4. Propiedades térmicas de los pellets.....	16
Tabla 5. Comparación entre biocombustibles (Leña vs Pellet). ....	16
Tabla 6. Normas internacionales para los pellets de madera. ....	17
Tabla 7. Tipos de rodillos. ....	23
Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	54
Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1018.....	55
Tabla 10. Propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1020.....	55
Tabla 11. Propiedades mecánicas del acero HADFIELD.....	56
Tabla 12. Alternativas para realizar el diseño de la máquina. ....	58
Tabla 13. Elementos para la construcción de la máquina. ....	60
Tabla 14. Detalle de costos del proyecto. ....	63
Tabla 15. Alternativas para realizar el diseño de la máquina. ....	64
Tabla 16. Valores para ponderar. ....	65
Tabla 17. Selección de alternativas.....	65
Tabla 18. Alternativas de materiales para la construcción.....	66
Tabla 19. Ponderación de alternativas del material. ....	67
Tabla 20. Estándares para pellets según la norma ISO 17225-2: 2021.....	68
Tabla 21. Propiedades del pellet a fabricar. ....	68
Tabla 22. Elementos de transmisión seleccionados por catálogo. ....	86
Tabla 23. Iteraciones de la sección AC del eje principal. ....	98

Tabla 24. Iteraciones del eje de los rodillos.....	105
Tabla 25. Vida útil especificada.....	107
Tabla 26. Selección de rodamientos SKF. ....	108
Tabla 27. Selección de rodamientos SKF. ....	111
Tabla 28. Costos directos del proyecto. ....	142
Tabla 29. Costos indirectos del proyecto. ....	143
Tabla 30. Costo Total del proyecto. ....	144
Tabla 31. Verificación de medidas de los pellets.....	144

## RESUMEN

Este proyecto técnico se elaboró debido a la necesidad de utilizar los residuos generados en la construcción de muebles de madera que realiza la empresa DECOR PARQUÉT con el objetivo de aprovechar los remantes de madera que se produce diariamente. El presente proyecto técnico busca diseñar y construir una máquina peletizadora que compacte los residuos de madera elaborando pequeños cilindros conocidos como pellets. En la fundamentación teórica se analizó la descripción, las ventajas, desventajas, los tipos, propiedades térmicas, propiedades físicas, propiedades mecánicas y la norma técnica UNE - ISO 17225-2: 2021 que se utilizó para producir los pellets de madera. También se describe el propósito del equipo, los sistemas que la componen, sus partes, los tipos de peletizadoras, las fallas que presentan y los materiales necesarios para la construcción de la máquina.

En cuanto a la parte analítica se determinó el dimensionamiento de todas las partes, simulaciones de los componentes críticos del sistema y la selección de los materiales en base a los cálculos realizados. Finalmente, se realizó la construcción de la máquina mediante el diseño representado en los planos con las debidas correcciones para que el modelo sea funcional, además se realizó las respectivas pruebas de funcionamiento.

**Palabras Claves:** Pellets, Peletizadora, Modelación, Elementos finitos, Aglutinantes.

## ABSTRACT

This technical project was developed due to the need to use the waste generated in the construction of wooden furniture made by the company DECOR PARQUÉT to take advantage of the leftover wood that is produced daily. This technical project aims to design and build a pelletizing machine that compacts wood waste into small cylinders known as pellets. In the theoretical foundation, the description, advantages, disadvantages, types, thermal properties, physical properties, mechanical properties and the technical standard UNE - ISO 17225-2: 2021 used to produce wood pellets were analyzed. It also describes the purpose of the equipment, the systems that compose it, its parts, the types of pelletizers, the failures they present and the materials necessary for the construction of the machine.

As for the analytical part, the sizing of all the parts, simulations of the critical components of the system and the selection of the materials based on the calculations were determined. Finally, the machine was built using the design represented in the drawings with the necessary corrections to make the model functional, and the respective functional tests were performed.

**Keywords:** Pellets, Pelletizer, Modeling, Finite Element, binding agent.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes investigativos

#### 1.1.1 Investigaciones previas

Decor Parqué es una empresa maderera líder en la provincia de Tungurahua dedicada al comercio provincial y nacional de diferentes tipos de madera y a la construcción de muebles elaborados artesanalmente, garantizando efectos adversarios al medio ambiente al igual que la calidad en sus productos elaborados por personal netamente capacitado. Sus instalaciones cuentan con todas las medidas de seguridad para el personal de trabajo. La problemática con más impacto en la industria es el manejo de desperdicios, las elevadas cantidades existentes de aserrín no son aprovechadas siendo acumulados sin sentido aumentando en riesgo a accidentes laborales, la implementación de máquinas peletizadoras de madera busca la reducción de estos desperdicios con la fabricación y comercialización de pellets. [1]



Figura 1. Logo de la empresa. [1]

Con la investigación realizada por los Ingenieros Arpi y Calderón se buscó nuevas alternativas al uso de combustibles fósiles tratando de reducir la emisión de gases contaminantes al ambiente, el uso de biocombustibles resulta una alternativa viable, ecológica y económica, además resalta que los países en vías de desarrollo y subdesarrollo son los principales candidatos que buscan la aplicación de biomasa. En el Ecuador precisamente en la provincia de Santo Domingo se busca la implementación de una planta creadora de biocombustible, otra potencial candidata es la ciudad de Cuenca donde aproximadamente el setenta por ciento de las industrias madereras del país realizan sus actividades en muebles de madera donde los residuos

como el aserrín serían aprovechados en la fabricación de pellets. Los países donde la industria de los pellets ha incrementado notablemente es Argentina, Chile y Brasil. [2]

En las investigaciones realizadas por Édison Albán y Ángel Arias mencionan que la máquina peletizadora que se adaptaba mejor a las condiciones de producción de la empresa era una de matriz plana giratoria con rodillos estático [3]. Esta información nos ayuda con la selección del tipo de peletizadora que se adapta mejor a las necesidades de la empresa DECOR PARQUÉT. Con la información recopilada de las investigaciones previas se puede inferir que la selección de una peletizadora con matriz plana nos beneficia abaratando los costos de construcción, de igual forma debido a la versatilidad de su diseño ayuda a agilizar el tiempo de construcción de la matriz plana.

En el artículo realizado por Efraín Vaquera, Diego Román, y Arturo Hernández nos ayuda a identificar el funcionamiento de la máquina peletizadora, mediante las simulaciones mencionadas en el artículo se puede establecer el proceso por el cual pasa el material a través de la máquina para obtener la forma característica de los pellets. Con esta información se puede identificar los cálculos que se debe realizar para obtener un producto final con calidad, los cálculos que se realizan para el proceso de compactación son para la obtención de fuerza y presión que ejerce los rodillos sobre la matriz, de igual forma este artículo menciona información para el desarrollo de los cálculos de fricción y velocidad de giro del rodillo. [4]

## **1.2 Justificación**

El presente trabajo práctico busca conseguir una alternativa viable en cuanto al desperdicio de aserrín de madera después de los procesos de preparación de las planchas de tablas o fabricación de muebles, los desperdicios obtenidos son visibles en cantidades elevadas de aserrín siendo acumulados sin ningún beneficio, existiendo la probabilidad de accidentes o enfermedades ocupacionales a las personas que laboran en ese lugar, en conjunto con la empresa maderera DECOR PARQUÉT se busca una solución aplicable con el diseño y construcción de una máquina fabricadora

de pellets, la cual dará un nuevo uso a los desperdicios obtenidos en la manufactura de madera.

En el sector de la construcción de muebles en madera, existe una gran cantidad de desperdicios de materia prima transformadas en aserrín para la fabricación de pellets es decir piezas de madera comprimida en forma de cilindro las cuales son usadas en mayor parte como fuente principal de combustible para energía térmica. La elaboración de esta fuente de combustible se da básicamente en la compresión de los residuos de madera frente al molde o matriz final del pellet, adicionalmente los propios químicos presentes en el aserrín actúan como un adherente natural, al no ser necesario el uso de adhesivos externos existe ocasiones en las que agregar cantidades pequeñas de almidones mejora la capacidad cohesiva, como resultado el pellet tendrá una mayor durabilidad. [5]

Los pellets se caracterizan por ser un combustible ecológico, con un alto poder calorífico, muy económicos y con un neutro balance del CO<sub>2</sub>. El uso de pellets proporciona grandes ventajas como reducir el consumo de combustibles fósiles, al momento de su combustión produce menos residuos sólidos y gaseosos por lo que no representa una amenaza al medio ambiente, es de fácil almacenaje y transporte debido a su pequeña forma cilíndrica. [6]

Uno de los usos más significativo de los pellets de madera es la biomasa, es clasificado como uno de combustibles ecológicos y con niveles neutrales de Dióxido de Carbono, es decir que los niveles de CO<sub>2</sub> que la planta absorbió en su etapa de madurez son las mismas cantidades que expulsara en la combustión de los pellets. Según la Pellet Fuel Institute [7] organismo encargado en la estandarización de este biocombustible recomienda una serie de propiedades físicas que mejoraran la calidad del producto final. En la Tabla 1 se indica los valores estándar, que no son necesarios al momento de la comercialización pero si para el máximo uso de las propiedades térmicas.



Tabla 1. Características recomendadas de los pellets. [7]

<b>PELLET FUEL INSTITUTE</b>	
<b>Propiedad Física</b>	<b>Valor</b>
Diámetro del pellet	6 a 7.25 mm
Longitud del pellet	10 a 36 mm
Humedad	6 a 10%
Ceniza	Menor al 3%
Densidad	Mayor al 639 kg/m <sup>3</sup>
Capacidad Calorífica	Mayor al 16.9 MJ/kg

La máquina empleada para realizar los pellets se conoce como peletizadora, estas máquinas se encargan de compactar los residuos de la madera mediante la fuerza que proporciona su motor. Se clasifican por su principio de acción, como de matriz anular y de matriz plana. La peletizadora de matriz anular cuenta con un cilindro hueco con perforaciones por donde pasa el material que es empujado por cilindros giratorios, esta máquina se caracteriza por ser utilizada a niveles industriales por la cantidad de energía que se requiere para su funcionamiento y el alto costo que tiene para ser producida. Por otro lado, la peletizadora de matriz plana consta de una matriz con forma cilíndrica que posee perforaciones por donde pasa el producto que se comprimirá mediante dos rodillos que realizan presión sobre el material, dando como resultado la forma de los pellets, debido a su diseño esta peletizadora es más económica, de fácil manejo y puede procesar diferentes tipos de materia prima. Por lo tanto, este proyecto se enfocará en la construcción de la peletizadora de matriz plana debido a que esta máquina no consume tanta energía en su funcionamiento, es más económica y porque está enfocada en solucionar un problema de una empresa que no tiene fines industriales con los pellets. [8]

El uso de aglutinantes químicos o naturales en el proceso de fabricación de los pellets es una etapa indispensable ya que da como resultado una mayor durabilidad en la etapa de almacenamiento, entre los aglutinantes más comunes se encuentra la lignina el cual brinda densidad y durabilidad, es un polímero vegetal y compone de la madera entre 15 y 25 por ciento. Agua netamente no es considerado aglutinante pero al añadir cierto porcentaje aumenta la presión interna del materia y la placa matriz así

como también mejora la adhesión final del pellet. Aceite vegetal usado principalmente como lubricante entre el material y los agujeros de la placa matriz, el uso elevado de este tipo de adherente puede causar pérdidas de calidad en el producto final. Almidón presenta altos niveles de glucosa al disolverse en agua caliente su capacidad adherente y espesante se eleva, siendo un buen aglutinante para la fabricación de pellets. [9]

Este proyecto toma como base cuatro sistemas principales que se encuentran presentes en las peletizadoras para poder realizar el diseño y construcción de la máquina, estos cuatro tipos de sistemas son, de alimentación, de transmisión de potencia, de compresión y extrusión de materia prima, y de corte. El sistema de alimentación permite el paso de materia prima al sistema de compresión y extrusión del material, está conformado por una tolva cónica. El sistema de transmisión de potencia consta de un motor que mueve un eje de engranes que cambian su torque a 90 grados para realizar el movimiento que se da en la matriz de extrusión, transmitiendo la fuerza del motor al sistema de compresión. En el sistema de compresión y extrusión el material es comprimido mediante rodillos los cuales le dan la forma de cilindros, de igual forma en este sistema se genera calor debido a la fricción que genera la máquina para que las partículas se fusionen y mantengan su forma una vez se concluya el proceso. El sistema de corte se encarga de separar el pellet que sale del sistema de extrusión, separándolo de la máquina con el tamaño que se requiera y finalizando el proceso de producción de pellets. [9]

Los materiales que se van a utilizar para la construcción de la peletizadora se describen en la Tabla 2 donde adicionalmente se detalla a que parte de la máquina pertenece.

Tabla 2. Materiales para la construcción de la peletizadora. [10]

<b>Partes de la máquina</b>	<b>Material</b>
Tolva de alimentación	Chapa de Acero - ASTM A36
Cuerpo de la máquina	Acero ASTM A36
Matriz y rodillos de compresión	Acero AISI 1020

Tabla 2. Materiales para la construcción de la peletizadora. (Continuación ) [10]

Ejes de transmisión	Acero AISI 1018
Estructura	Acero ASTM A36

Aprovechando los residuos de la producción de muebles, se puede realizar pellets a partir del aserrín debido a que el mismo cuenta con una mayor productividad y poder calorífico en comparación del carbón. La utilización de pellets como fuente de energía aprovecha todo su potencial energético al no dejar residuos al momento de ser quemado, por lo que es una buena alternativa al uso del carbón. [11]

Los pellets tienen un amplio mercado el cual se puede aprovechar mostrando los beneficios de este biocombustible. Los mercados en donde se puede utilizar pellets son en las plantas de gasificación, calderas de piscinas, calentador para los criaderos de aves, plantas generadoras de electricidad, secadora de madera, equipos de climatización. Por lo tanto, la empresa “DECOR PARQUÉT” se verá beneficiada con esta máquina debido a que puede llegar a estos mercados con la venta de pellets.

Con la implementación de este proyecto de diseño y construcción se pretende aportar en DECOR PARQUÉT nuevas alternativas al uso de biocombustibles, considerando que el uso de energías renovables busca ser una alternativa al consumo elevado de combustibles fósiles y por ende reducir los niveles de contaminación ambiental en la industria de la madera como es el caso de las cámaras de secado para madera, el uso de pellets tiene diferentes ventajas frente a la combustión de madera tradicional, los niveles de humedad son menores permitiendo una mejor combustión, el peso permite un mejor transporte y una mejor capacidad de almacenamiento, pudiendo ser de uso interno o externo.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

- Diseñar y construir una máquina peletizadora que utilice residuos de madera, para la empresa “DECOR PARQUÉT” en la ciudad de Ambato.

## **1.3.2 Objetivos Específicos**

### **1.3.2.1 Objetivo Específico 1**

- Determinar las características necesarias para el diseño y construcción de una máquina peletizadora.

En el primer objetivo se va a realizar las investigaciones de la información respectiva para entender el funcionamiento de las máquinas peletizadoras y las propiedades que cumplen los pellets, también se consultará información que aporte al diseño y construcción de la máquina como son fórmulas, materiales, normas, etc.

### **1.3.2.2 Objetivo Específico 2**

- Diseñar la máquina peletizadora considerando normas y requerimientos para su correcta fabricación.

Se busca abarcar con la ejecución de los cálculos para diseñar las partes de la máquina, la modelación, simulación y verificación de las piezas realizadas en el software especializado y la ejecución de planos de construcción.

### **1.3.2.3 Objetivo Específico 3**

- Construir la máquina en base al diseño realizado en computador comprobando el cumplimiento de los requerimientos necesarios para su construcción.

Este objetivo busca plasmar la construcción física de la máquina considerando la modelación y simulación realizada en software especializado, con la finalidad de cumplir los requerimientos teóricos y técnicos que garanticen un correcto ensamble y funcionamiento del equipo.

#### **1.3.2.4 Objetivo Específico 4**

- Verificar las características finales del pellet fabricado por la máquina por medio de pruebas de funcionamiento para comprobar su correcto trabajo.

Por medio del cumplimiento de este objetivo se busca la verificación visual en diámetro, longitud, aspecto y calidad del producto final realizado por la máquina peletizadora, con la finalidad del cumplimiento de la normativa para la producción de pellets.

#### **1.3.2.5 Objetivo Específico 5**

- Desarrollar un manual de uso para la peletizadora para los operarios de la empresa “DECOR PARQUÉT”.

Entregar la máquina peletizadora junto a un manual de uso para que los operario de “DECOR PARQUÉT”, realicen un correcto uso de esta permitiendo aumentar la vida útil del equipo, evitar daños graves que provoquen paros en la producción de pellets y evitar accidentes laborales por el uso incorrecto.

### **1.4 Fundamentación teórica**

#### **1.4.1 Pellets**

##### **1.4.1.1 ¿Qué son los pellets?**

Se define a los pellets como pequeñas porciones cilíndricas de distintos materiales aglomerados así como su densidad es altamente aumentado por medio de distintas técnicas de compresión, entre la diferente materia prima para la fabricación de pellets están la madera, plástico y alimento. [12]

Consiste en un tipo de combustible específicamente conocido como biomasa sólida, este biocombustible es una alternativa totalmente renovable y amigable con el medio ambiente al ser realizada generalmente por residuos sobrantes del trabajo en la

madera, entre las industrias que más porcentaje de desechos forestales genera se encuentran las industrias forestales, industrias agroforestales, aserraderos y empresas dedicadas al parquet, entre otras donde la materia prima principal sea la madera. En la siguiente Figura 2 se muestra el tipo de pellets realizado por la compresión de restos de madera.



Figura 2. Pellets de madera. [7]

#### **1.4.1.2 Ventajas del uso de los pellets**

- El uso de los pellets como biocombustible y fuente de energía resulta mucho más económico en relación con los combustibles fósiles los cuales duplican y hasta triplican el costo final.
- Los pellets son producto de los desperdicios de las industrias forestales es decir el uso de este producto no genera daños ambientales ni tala de árboles.
- El transporte y comercio de los pellets resulta un trabajo sencillo ya que al tener una densidad alta y tamaños pequeños facilita su almacenamiento.
- Tiene un balance de CO<sub>2</sub> neutro es decir que al momento de la combustión del pellets no emite gases que aumenten el efecto invernadero ya que el dióxido de carbono que emite al ambiente es la misma cantidad que absorbió el árbol en su crecimiento.
- La emisión de humo que produce los pellets es casi nula por este motivo la maquinaria que usa esta biomasa como fuente energética tan solo necesita ductos de salida de gases.

- Este recurso energético no tiene fecha límite para su uso, la conservación de los pellets puede ser por extensos periodos de tiempo siempre y cuando se los guardé en lugares libre de humedad.

#### **1.4.1.3 Desventajas del uso de los pellets**

- Su uso debe ser únicamente en maquinaria especializada en la combustión de pellets para prevenir daños y malos usos.
- La aplicación de pellets de baja calidad desencadenaría una serie de fallas y daños en la maquinaria usada especialmente en las estufas y calderas.
- El costo de adquisición de los pellets es más elevado en relación con la leña pero compensando con el poder calorífico el cual resulta mayor en la combustión de pellets.
- El almacenamiento debe estar totalmente libre de humedad ya que al mínimo contacto con agua pierde todas sus características físicas y térmicas convirtiéndose en simple aserrín.

#### **1.4.2 Tipos de pellets**

##### **1.4.2.1 Pellets de plástico**

Generalmente estos pellets están formados de resinas plásticas uno de los principales causantes de la contaminación en mares y ríos, las formas que pueden optar este tipo varían entre cilíndricas, ovoides y esféricas, al igual el tamaño de fabricación varia en entre un rango de 1 mm hasta 6 mm, el color que adoptan los pellets depende del tipo de resina usada, propiedades físicas y químicas. La aplicación más comúnmente usada es en máquinas de inyección de plásticos donde por su fácil manejo ingresa al depósito en forma de pellets para posteriormente ser fundido e inyectado al molde. [12]

##### **1.4.2.2 Pellets de alimento para balanceado**

Este tipo de pellets es usado generalmente en el sector pecuario, sirve esencialmente de fuente de energía para aves, ganado, cerdos y conejos. La selección de

ingredientes para la formación del producto depende de la raza del animal comenzando con vitaminas, aglutinantes o diferentes aportes nutricionales, la compresión de alimento el pellets busca principalmente la conservación de las propiedades nutritivas durante periodos más extensos de tiempo, eliminar bacterias que podrían causar daño a los animales y finalmente contrarrestar los desperdicios causados en la alimentación de las especies. [3]

### **1.4.3 Leña vs Pellets como fuente de energía**

El notable aumento de maquinaria cuya fuente de energía sea esencialmente el uso de los biocombustibles ha puesto en debate la mejor opción para la generación de calor, poniendo principalmente puntos como el cuidado del medio ambiente y capacidad calorífica entre el uso de leña y el uso de pellets.

#### **1.4.3.1 Leña**

La aplicación de Leña como fuente de energía es usada principalmente en países de Latinoamérica y en vías de desarrollo, entre las principales aplicaciones dentro del uso doméstico esta la preparación de alimentos y la aclimatación de espacios. Entre otras aplicaciones de la leña se encuentra el uso del carbón vegetal, astillas y la descomposición en minerales de aporte nutricional al suelo.

Respecto a la emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente lo que garantiza valores inferiores a 20 ppm depende de tres puntos antes de entrar a la cámara de combustión, principalmente es la humedad la cual no debe exceder el 20%, las formas y tamaños que tenga la leña deben ser de bajo volumen es decir pequeños esto garantizara un paso adecuado de aire en el momento de la combustión y finalmente el uso de equipos certificados en la combustión de este biocombustible. [13]

La obtención de esta fuente de energía proviene de las especies forestales y de las especies agrícolas. En la familia de los forestales se encuentran los residuos de trabajos de poda en arboles de pino, robles, cedros, caucho, eucalipto morera blanca y negra, entre otras especies. En familia agrícola se encuentran los vides, almendros,



manzanos, entre otras especies. Destacando que la mayor producción de leña se obtiene de las especies forestales. [14]

### 1.4.3.2 Propiedades térmicas de la leña

La combustión de la leña tiene diferentes valores de poderes calóricos dependiendo de la especie, la humedad y la parte de árbol de cual se obtuvo la biomasa (Madera o Corteza). A continuación, en la siguiente Tabla 3 se muestra las propiedades térmicas de algunas especies de leña a una humedad del 20%.

Tabla 3. Propiedades térmicas de la leña a 20% de humedad. [14]

Tipo o Especie del Árbol (Científico)	Tipo o Especie del Árbol (Común)	Poder Calórico [kJ/Kg] (Madera)	Poder Calórico [kJ/Kg] (Corteza)
<i>Pinus sylvestris</i>	Pino silvestre	16.65	18.06
<i>Pinus nigra</i>	Pino salgareño	15.47	16.54
<i>Pinus radiata</i>	Pino de Monterey	14.72	17.50
<i>Quercus ilex</i>	Encina	15.16	14.77
<i>Quercus suber</i>	Alcornoque	15.02	23.27
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto blanco	14.17	12.43
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto rojo	15.41	13.16

### 1.4.3.3 Pellets

Los biocombustibles sólidos densificados se clasifican en dos tipos los pellets y las briquetas. Estas fuentes de energía usan restos de materia prima orgánica como astillas, aserrín. Las briquetas son bloques o cilindros altamente compactados de materiales completamente renovables donde la principal diferencia con los pellets es su tamaño y facilidad de transporte. A finales de la década de los ochenta el uso del pellet incremento gracias a su alta densificación. [14]

Para determinar las propiedades térmicas y energéticas de los pellets es necesario conocer las características físicas y mecánicas de los pellets:

#### **1.4.3.4 Propiedades físicas de los pellets**

##### **a. Forma y tamaño**

En estas características físicas de los pellets depende necesariamente de la normativa vigente en cada lugar de procedencia del producto, por lo general la forma del pellet es cilíndrica y el tamaño varía según el productor donde el diámetro varia en un rango de 1 a 2 centímetros y la longitud entre 1 a 7 centímetros, tomando en cuenta que mientras más longitud tenga más riesgo existe de daños en el transporte.

##### **b. Aspecto**

Al existir diferentes tipos de pellets el aspecto varía según la materia prima usada en su fabricación, al ser la madera el componente principal de producción toma las tonalidades marrones, dependiendo del tipo de madera que ingrese a la máquina peletizadora las tonalidades serán claras u oscuras.

##### **c. Densidad**

La principal característica de los pellets es la alta densidad a la cuales se encuentran compactados con el fin de facilitar el trasporte y almacenamiento. La finalidad de la alta densificación es mover la misma cantidad de pellets en peso pero en menos cantidad de volumen. [14]

Existen dos valores en la densidad de los pellets que deben ser tomados en cuenta en la fabricación: Densidad real y Densidad aparente.

$$d_r = \frac{m_r}{V_r} \quad (1)$$

Donde:

$d_r$  es la densidad real del pellet

$m_r$  es la masa real del pellet

$V_r$  es el volumen real del pellet

$$d_a = \frac{m_a}{V_a} \quad (2)$$

Donde:

$d_a$  es la densidad aparente del pellet

$m_a$  es la masa aparente del pellet

$V_a$  es el volumen aparente del pellet

La densidad que logren obtener los pellets depende de dos instancias importantes, la primera es la materia prima usada en el caso de la madera existen tipos de árboles cuya madera tiene más densidad que otros tipos, esto derivara en la densidad final del pellets y la segunda la maquinaria empleada en la fabricación ya que la presión ejercida por las prensas para la compactación de la madera depende del diseño y construcción de cada equipo. [14]

#### **d. Humedad**

Esta propiedad física del pellet depende directamente de la capacidad calorífica, es decir que mientras más humedad tenga el producto menor será el poder de combustión, durante el proceso de fabricación de los pellets la materia prima que ingresa a la máquina es relativamente seca con un porcentaje menor al 15 % de humedad, adicionalmente durante el trabajo dentro del equipo la humedad baja hasta

un 8 % de humedad a la salida del producto final. La variación de estos porcentajes depende también del almacenamiento, cuando los pellets son almacenados en sacos plásticos y sellados la humedad se mantiene o se eleva ligeramente sin embargo al ser almacenados en sacos abiertos pueden absorber humedad del agua o del ambiente desencadenando un aumento del nivel de agua en el pellet. [14]

#### **1.4.3.5 Propiedades mecánicas de los pellets**

##### **a. Resistencia al impacto**

La resistencia al impacto al ser una propiedad mecánica se la evalúa mediante la norma ATM D440-86 donde indica que el pellet fabricado debe soportar mínimo tres caídas sobre diferentes superficies como asfalto, cerámica, madera o cerámica de una altura menor a 180 centímetros sin sufrir daño. [15]

##### **b. Resistencia a la compresión**

También denominado dureza es básicamente la relación entre cierta presión aplicada directamente al pellet antes de alcanzar su nivel crítico o fallo, la normativa usada en para la determinación de esta propiedad mecánica es la ASTM C39-96 donde mediante pruebas de laboratorio se obtuvo que la carga máxima que soporta es 14,41 MPa. [15]

#### **1.4.3.6 Propiedades térmicas de los pellets**

La principal aplicación de los pellets de madera es como un generador de energía limpia y renovable donde juega un papel importante el tamaño reducido que poseen permitiendo controlar la cantidad de biocombustible como si se tratara de fluidos. De igual forma después de la combustión el porcentaje de cenizas o residuos es bajo lo cual reduce considerablemente el proceso de limpieza. A continuación, en la siguiente Tabla 4 se indica el poder calorífico de los pellets. [16]

Tabla 4. Propiedades térmicas de los pellets.

<b>Propiedades</b>	
Poder calorífico [MJ/Kg]	19.23
Contenido de cenizas [%]	Menor al 0.4
Humedad [%]	Menor al 10

### 1.4.3.7 Comparación Leña vs Pellets

En la siguiente Tabla 5 se compara los biocombustibles con diferentes ítems los cuales demostraran porque el uso de pellets resulta una alternativa más viable, económica, eficiente y amigable con el medio ambiente en la combustión de madera.

Tabla 5. Comparación entre biocombustibles (Leña vs Pellet).

<b>Aspecto</b>	<b>Pellets</b>	<b>Leña</b>
Eficiencia energética	Entre 80 y 90 %	75 %
Precio/Kg [USD]	0.30	2.00
Almacenamiento	Fácil: Transportar, encontrar, almacenar. Requiere: Lugar libre de humedad.	Fácil: Encontrar. Requiere: Lugar libre de humedad, bien ventilado, no estar en contacto con el suelo.
Medio ambiente	La emisión de CO <sub>2</sub> es mínima.	La emisión de CO <sub>2</sub> es mínima.
Ruido	Ninguno	Ninguno

Por medio de los cinco aspectos detallados en la Tabla 3 se determinó que la mejor opción para biocombustible es el pellet. En la empresa Decor Parquet se busca el máximo provecho a los residuos de madera con el diseño y construcción de la máquina peletizadora. El proyecto busca nuevas fuentes de ingreso a la empresa así también como el uso propio de este biocombustible.

#### 1.4.4 Normativa de los pellets

Los pellets pueden variar uno respecto a otro según sea la materia prima usada, la maquinaria ocupada en la fabricación y el uso de agentes externos a la madera siendo difícil estandarizar los procesos de fabricación, al ser un biocombustible de un alto impacto y grandes espacios en el mercado ser normalizo por medio de entidades internacionales las características que deberán poseer los pellets para que puedan ser comercializados nacional e internacionalmente como también garanticen la calidad en sus productos. En la siguiente Tabla 6 se enlista las normativas técnicas internacionales para la producción de pellets de madera.

Tabla 6. Normas internacionales para los pellets de madera. [2]

<b>Norma técnica internacional</b>	<b>Tema</b>
CEN/TC 15370-1	Biocombustibles solidos: Método para la determinación de fusibilidad de las cenizas.
EN 14778	Biocombustibles solidos: Muestreo
EN 14961-2	Biocombustibles solidos – Especificaciones y clase de combustibles.
ISO 16948	Biocombustibles solidos: Determinación del contenido de carbono, hidrogeno y nitrógeno.
ISO 17225-1	Biocombustibles solidos: Especificaciones y clase de combustible. Requisitos generales.
ISO 17225-2	Biocombustibles solidos: Especificaciones y clase de combustible. Requisitos generales. Clases de pellets de madera.
ISO 17828	Biocombustibles solidos: Determinación de densidad aparente.
ISO 17829	Biocombustibles solidos: Determinación de longitud y diámetro para pellets.

Tabla 6. Normas internacionales para los pellets de madera. (Continuación) [2]

ISO 17831-1	Biocombustibles solidos: Determinación de la durabilidad mecánica de pellets.
ISO 18122	Biocombustibles solidos: Determinación del contenido de ceniza.
ISO 18125	Biocombustibles solidos: Determinación del poder calorífico.
ISO 18134	Biocombustibles solidos: Determinación de contenido de calidad.
ISO 18846	Biocombustibles solidos: Determinación de contenido en finos en cantidades de pellets.

#### 1.4.5 Aglutinantes

Al referirse al termino aglutinante hace referencia a sustancias químicas o naturales que al realizar una mezcla con cualquier sustancia permite una capacidad de adhesión superior, para la fabricación de pellets no es necesario el uso de aditivos adicionales esto aumentaría los costos de fabricación y dejaría de ser un producto ecológico.

##### a. Lignina

Este biopolímero natural está presente en la mayor parte de plantas, al momento de sufrir un prensado actúa como un aglutinante, este brinda al pellet de características aromáticas junto a una estructura más fuerte, cuanto la temperatura oscila alrededor en el rango de 70 a 110 °C la fuerza de adhesión aumenta, al controlar la temperatura entre 100 a 200 °C la lignina se vuelve liquida permitiendo la peletización de los residuos de madera con el uso de la maquinaria adecuada. [17]

#### 1.4.6 Máquina peletizadora

El fin de una máquina peletizadora es la de convertir los residuos en pequeños gránulos llamados pellets. Esto se realiza para disminuir el volumen de la materia y facilitar su uso de acuerdo con la función a la que se quiere aplicar. [18]

Las peletizadoras cuentan con rodillos que generan un incremento de presión y temperatura en los orificios que se encuentran en la pared de la matriz, provocando que la materia que entra a la máquina quede compactada y obtenga la forma de un cilindro con dimensiones de un centímetro por un centímetro aproximadamente.

Existen diferentes métodos de prensado para realizar la compactación del material, estos métodos de compactación fueron evolucionando de acuerdo con las limitaciones tecnológicas de la época, desarrollando diferentes tipos de peletizadoras con más complejidad que mejoraban la calidad del producto, sin embargo, sin importar el tipo de peletizadora todas, por lo general, cuentan con los siguientes sistemas.

#### **1.4.6.1 Sistema de alimentación**

En el sistema de alimentación se deposita la materia prima que va a ser utilizada para realizar la compresión del material, en esta etapa se encuentra una tolva en forma cilíndrica la cual tiene un mecanismo que permite el paso de la materia prima al sistema de compresión.



Figura 3. Tolva de alimentación. [18]

#### **1.4.6.2 Sistema de compactación**

La siguiente etapa es la de compactación del material, en esta etapa el material que es depositado en la tolva es llevada a los rodillos de compresión que se encargan de prensar el material, después, la matriz se encarga de dar una forma cilíndrica al material debido a que los rodillos ejercen una presión contra las paredes formando



los pellets, esta compactación se mantiene solida mediante el uso de aglutinantes y la propia fricción que se genera dentro de la máquina. [19]

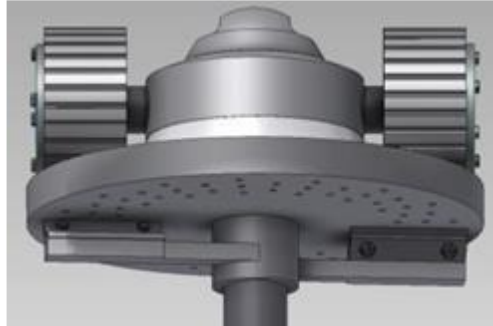


Figura 4. Sistema de compactación. [19]

#### **1.4.6.3 Sistema de corte**

En este sistema se va a realizar el corte del pellet dejándolo del tamaño requerido, en esta etapa se va a realizar los cortes del material que salen de los orificios de la matriz mediante una cuchilla, la cual se puede regular la distancia que hay entre la matriz y la cuchilla para modificar el tamaño del pellet. La cuchilla se mantiene estática mientras que la rotación de la matriz hace que se realice el corte de los pellets.



Figura 5. Sistema de corte. [20]

#### **1.4.6.4 Sistema de potencia**

En el sistema de potencia tenemos el motor, este motor se encarga de transmitir el torque hacia los demás sistemas de la máquina, el motor en esta sección puede ser

tanto como eléctrico como a combustión, por lo general el motor que se usa en estas máquinas industriales son motores de inducción trifásica debido a que son motores más pequeños y generan una mayor potencia.



Figura 6. Motor trifásico. [21]

#### 1.4.6.5 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión se encarga de llevar el torque que genera el motor hacia la matriz de extrusión, por medio de ejes y engranes que permitan la regulación de velocidad y potencia del motor. Para transmitir la velocidad del motor se puede utilizar tornillos sin fin, bandas, o de igual forma engranes cónicos que cambian a linealidad del movimiento, dependiendo del modelo y las necesidades con las que se diseña la máquina.[23]

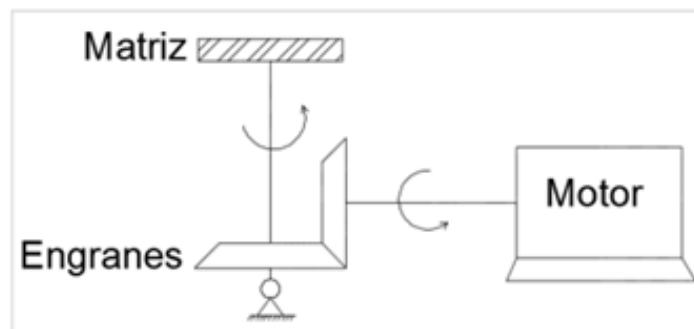


Figura 7. Sistema de transmisión. [3]

### 1.4.7 Partes de la peletizadora

La máquina peletizadora está formada por diferentes partes que en conjunto realizan el proceso de reducir el volumen del material colocado a pequeños pellets mediante la compactación de la materia prima. Las principales partes que se pueden encontrar en las peletizadoras son las siguientes:



Figura 8. Sistema de transmisión. [23]

#### b. Estructura

En esta parte se fijarán los componentes de la máquina por lo que deberá ser una estructura sólida, construida con materiales resistentes a los golpes y vibraciones que produzca la máquina.

#### c. Motor

Es la parte que se encarga de dar funcionamiento a todo el sistema, genera la potencia y movimiento que necesita la matriz y los rodillos de compresión para realizar el funcionamiento de compresión y corte de pellets.

#### d. Matriz

En la matriz se compacta el material mediante unos rodillos que hacen que pase por los orificios de sus paredes, dando la forma cilíndrica a los pellets, puede ser tanto matriz plana como matriz anular, sin embargo, su función será la misma para cualquiera de los dos casos.

#### e. Tolva

Es una chapa de forma cónica que se encarga de receptor el material y depositarlo de poco a poco hacia el sistema de compactación debido a la boca estrecha que se encuentra al final de esta.

#### f. Rodillos de compresión

Los rodillos de compresión ejercen la fuerza para que el material pase por los orificios de la matriz, de igual forma pueden ser diferentes dependiendo si la matriz es plana o anular, pero el funcionamiento será el mismo. Son de un material resistente debido a la abrasión que se genera en la máquina al realizar estas mezclas.

El problema más común de los rodillos es el desgaste que sufre por realizar la compresión del material, por lo que estas piezas tienen diferentes diseños, en donde cada configuración está pensada para soportar diferentes materiales. Para diseñar los rodillos se debe tener en cuenta que configuración realizará la mejor tracción, es recomendable usar rodillos que tengan bastantes canales y que estén lo más cerrados entre sí, para evitar que el material se escurra por los lados. [24] En la siguiente Tabla 7 se muestra unos ejemplos.

Tabla 7. Tipos de rodillos. [24]






Tipos de rodillos	
Rodillo totalmente dentado	

Tabla 7. Tipos de rodillos. (Continuación) [24]

Rodillo dentado cerrado	
Rodillos dentado y con perforaciones	
Rodillo perforaciones cilíndricas	
Rodillo perforado con icono	

#### g. Eje de trasmisión vertical

Por este eje pasa el movimiento transmito por el motor hacia la matriz y rodillos de compresión dando movimiento para el funcionamiento de la máquina.

#### h. Piñón cónico

Sirve para cambiar la linealidad del movimiento transmitida por el motor hacia el sistema de compresión.

### 1.4.8 Tipos de peletizadoras

Existe una gran variedad de máquinas peletizadoras, de diferentes tamaños y para diferentes usos, lo que diferencia a cada una es la tecnología que utiliza para realizar los procesos de compactación. Podemos clasificar a las peletizadoras según su varios factores como son los siguientes:

#### a. Según su configuración

- Peletizadora vertical
- Peletizadora horizontal

**b. Según su instalación**

- Peletizadora de estación fija
- Peletizadora móvil o portátil

**c. Según el número de rodillos**

- De dos rodillos
- De tres rodillos

**d. Según el ingreso del material**

- Peletizadora de ingreso manual
- Peletizadora de ingreso automático

**e. Según la transmisión**

- Transmisión por correas
- Transmisión por piñones

Con el pasar de los años la tecnología ha ido avanzando lo que da paso a mejoras tecnológicas en el sistema de compactación, el desarrollo de nuevas propuestas para mejorar el acabado del pellet ha hecho que exista máquinas con un proceso más elaborado, en donde implementa diversos accesorios para mejorar el corte, secado y volumen del material. Sin embargo, el proceso es el mismo sin importar si es para realizar pellets de madera, alimentos, balanceado, plástico, etc. La diferencia que existe entre las peletizadoras es por el principio de la matriz la cual se divide en dos tipos, matriz plana y matriz anular. [25]

**1.4.8.1 Peletizadora de matriz plana**

Estas peletizadoras poseen una matriz plana con una gran variedad de agujeros por donde pasará el material que es aplastado por los rodillos de compresión, dando una forma cilíndrica a los pellets. Estas peletizadoras soportan son de un costo accesible

y sirven para lugares donde se requieran niveles de producciones bajos o medios, sin embargo, suelen procesar una gran variedad de productos. Sus principales partes la tenemos plasmada en la siguiente figura. [26]

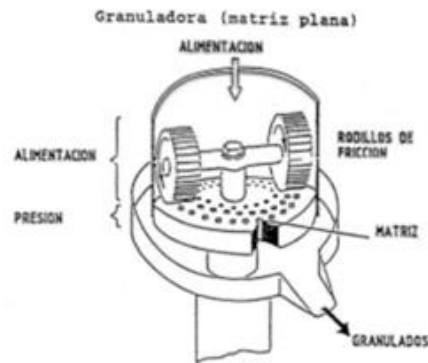


Figura 9. Peletizadora de matriz plana. [3]

La peletizadora de matriz plana tiene dos configuraciones estructurales. La primera es que la matriz gire y que los rodillos queden totalmente estáticos y la segunda que la matriz sea la que esté estática y que los rodillos giren por el movimiento proporcionado por el motor.

#### a. Peletizadora de matriz plana estática con rodillos giratorios

En este diseño la matriz se queda estática y los rodillos giran con el movimiento del motor, comprimiendo el material mediante el movimiento que realizan los rodillos y a su vez empuja la carga distribuyéndola alrededor de la matriz. [27]



Figura 10. Peletizadora de matriz plana estática con rodillos giratorios. [27]

## b. Peletizadora de matriz plana giratoria con rodillos estáticos

En este diseño los rodillos son los que se quedan estáticos mientras que la matriz es la que realiza el giro mediante el movimiento del motor, sin embargo, en esta configuración el material no se distribuye correctamente entre la matriz y los rodillos por lo que se tiene que movilizar el material con ayuda externa. [27]



Figura 11. Peletizadora de matriz plana giratoria con rodillos estáticos. [27]

### 1.4.8.2 Peletizadora de matriz anular

Este tipo de peletizadoras se caracterizan por tener un anillo, montado de forma vertical, con agujeros por donde pasará el material que es aplastado por rodillos giratorios desde adentro hacia afuera de la matriz. Este tipo de máquinas se utiliza para producir pellets a escala industrial, siempre y cuando sea de materiales ligeros debido a las dificultades que tiene para compactar el material a diferencia de una matriz plana. Debido a la complejidad que presenta esta matriz, su uso no suele ser muy común. Las partes de una matriz anular se las puede ver en la Figura. [25]

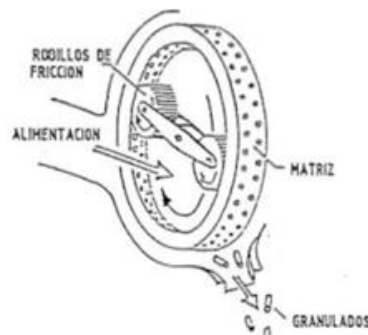


Figura 12. Peletizadora de matriz anular. [3]



### **1.4.9 Fallas más comunes que se presentan en máquinas peletizadoras**

De acuerdo con tablas de mantenimiento analizadas en [26] se puede observar que las fallas más comunes son:

- Desajuste de rodillos
- Humedad en la matriz
- Desgaste de rodillos
- Desajuste de ejes
- Daño en retenedores
- Fatiga del material por vibraciones

Las fallas enlistadas son las más comunes que se presentan en estas máquinas, sin embargo las partes que más desgaste presenta son los rodillos, la matriz y los ejes de transmisión. El daño que se presenta en el sistema de transmisión se puede presentar como piezas muy ajustadas que frenen la potencia del motor.

El daño que se puede presentar en los rodillos y matrices es ocasionado por la fricción que se genera por el contacto entre ambas piezas. La matriz y los rodillos se relacionan por el trabajo que ambos generan en simultaneo, por lo que un daño ocasionado en los rodillos afectará directamente a la matriz. Debido a que estas piezas trabajan con altas presiones, altas temperaturas y velocidades, es recomendable utilizar aceros muy resistentes para que puedan tener una vida útil duradera. [12]

### **1.4.10 Dimensionamiento de la máquina**

#### **1.4.10.1 Dimensionamiento de la tolva.**

##### **a. Relación de compresión**

La relación de compresión se obtiene mediante la inversa del diámetro para la longitud. Las medidas que se utilizará en le pellet serán de 8 mm de diámetro y 30 mm de largo.

$$Rc = \frac{1}{d_p/l_p} \quad (3)$$

### **b. Volumen del pellet**

El volumen del pellet se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_p = \pi l_p \left( \frac{d_p}{2} \right)^2 \quad (4)$$

Donde:

$d_p$ : Diámetro del pellet.

$l_p$ : Longitud del pellet.

### **c. Densidad del pellet**

$$\rho_p = \rho_{as} Rc \quad (5)$$

Donde:

$\rho_{as}$ : Densidad del aserrín.

$Rc$ : Relación de compresión.

### **d. Volumen específico**

El volumen específico es igual al inverso de la densidad del pellet.

$$Ve = \frac{1}{\rho_p} \quad (6)$$

Donde:

$d_p$ : Diámetro del pellet.

$l_p$ : Longitud del pellet.

### e. Flujo volumétrico

El cálculo de las dimensiones de la tolva se obtiene mediante el volumen que ingresa en su interior. Este valor se obtiene mediante el flujo volumétrico que tendrá la máquina, la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$Q = C V e \quad (7)$$

Donde:

$Q$ : Flujo volumétrico.

$C$ : Capacidad de la máquina.

$V e$ : Volumen específico del pellet.

### f. Volumen de la tolva

Para calcular el volumen se necesita conocer los datos de la tolva como la altura, el radio mayor y menor para utilizarlos en la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{3} \pi h_t (R_t^2 + r_t^2 + R_t r_t) \quad (8)$$

Donde:

$h_t$ : Altura de la tolva.

$R_t$ : Radio mayor de la tolva.

$r_t$ : Radio menor de la tolva.

## 1.4.10.2 Dimensionamiento de los rodillos de compresión

### a. Radio de los rodillos

El radio de los rodillos se los obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$r_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2} \quad (9)$$

Donde:

$r_r$ : Radio de los rodillos.

$h_o$ : Altura inicial del material entre la matriz y los rodillos.

$h_f$ : Altura final del material entre la matriz y los rodillos.

$\mu$ : coeficiente de fricción entre la matriz y el material.

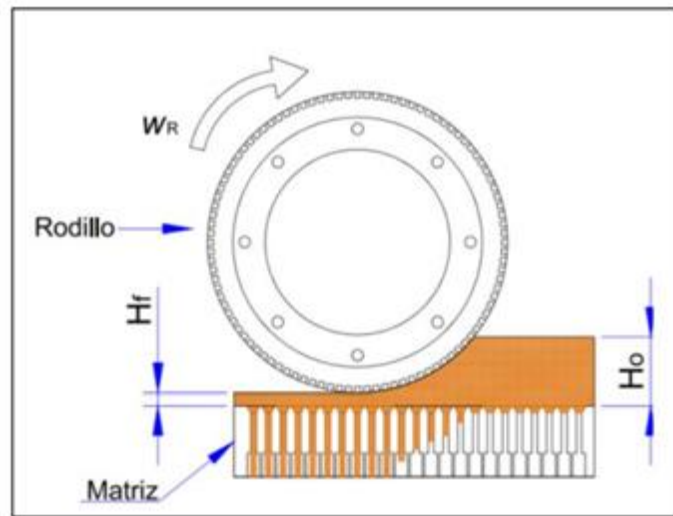


Figura 13. Zona de compresión. [1]

### b. Ancho de los rodillos

Para obtener el ancho de los rodillos se utiliza la formula:

$$h_r \leq \frac{D_r}{2} \quad (10)$$

Donde:

$h_r$ : Ancho del rodillo.

$D_r$ : Diámetro del rodillo.

### c. Volumen del rodillo

El valor del volumen del rodillo se lo obtiene con la aplicación de la siguiente ecuación:

$$V_r = \pi r_r^2 h_r \quad (11)$$

Donde:

$r_r$ : Radio del rodillo.

$h_r$ : Altura del material.

#### **d. Masa de rodillo**

Se la obtiene mediante la multiplicación del volumen con la densidad el material.

$$m_r = V_r \rho_r \quad (12)$$

Donde:

$m_r$ : Masa de los rodillos.

$V_r$ : Volumen del rodillo.

$\rho_r$ : Densidad del material del rodillo.

#### **e. Deformación de extrusión**

La deformación de extrusión se la obtiene mediante la siguiente formula:

$$E_e = a + [b \ln (Rc)] \quad (13)$$

Donde:

$Rc$ : Relación de compresión.

a y b: constantes de los ángulos de avellanado para los orificios de la matriz

#### **f. Presión de compresión de los rodillos**

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$P_r = \gamma_{as} E_e \quad (14)$$

Donde:

$\gamma_{as}$ : Esfuerzo de fluencia del aserrín.

$E_e$ : Deformación de extrusión.

### **g. Área de extrusión.**

La área de extrusión se calcula con la multiplicación de pi por el radio del pellet:

$$A_o = \pi r_p \quad (15)$$

$r_p$ : Radio del pellet.

### **h. Fuerza de compresión**

La fuerza de compresión de los rodillos se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_c = P_r A_o \quad (16)$$

Donde:

$P_r$ : Presión de compresión de los rodillos.

$A_o$ : Área de extrusión.

### **i. Presión adicional**

La presión adicional se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$P_a = \gamma_{as} \frac{2 h_f}{d_p} \quad (17)$$

Donde:

$h_f$ : altura final del material después del paso por el rodillo.

$d_p$ : Diámetro del pellet.

$\gamma_{as}$ : Esfuerzo de fluencia del aserrín.

## **j. Presión en las paredes**

La presión en las paredes se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_o = \frac{P_a d_p}{4 \mu h_f} \quad (18)$$

Donde:

$P_a$ : Presión adicional para superar la fricción.

$d_p$ : Diámetro del pellet.

$h_f$ : altura final del material después del paso por el rodillo.

$\mu$ : coeficiente de fricción entre el rodillo y el material.

## **k. Fuerza de fricción**

La fricción que se opone al movimiento realizado por los rodillos se calcula de la siguiente forma:

$$f_f = \mu P_o d_p l_p \quad (19)$$

Donde:

$P_o$ : Presión en las paredes del dado.

$d_p$ : Diámetro del pellet.

$l_p$ : Longitud del pellet.

$\mu$ : coeficiente de fricción entre el rodillo y el material.

## **l. Aceleración normal de los rodillos**

La aceleración normal de los rodillos se la obtiene mediante la siguiente formula.

$$an_r = \frac{f_c - f_f}{m_r} \quad (20)$$

Donde:

$f_c$ : Fuerza de compresión de los rodillos.

$f_f$ : Fuerza de fricción.

$m_r$ : Masa del rodillo.

### **m. Velocidad tangencial de los rodillos**

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_{tr} = \sqrt{a_{n_r} r_r} \quad (21)$$

Donde:

$a_{n_r}$ : Aceleración normal de los rodillos.

$r_r$ : Radio del rodillo.

### **n. Velocidad angular de los rodillos**

Se calcula con la siguiente formula:

$$\omega_r = \frac{v_{tr}}{r_r} \quad (22)$$

Donde:

$r_r$ : Radio del rodillo.

$V_{tr}$ : Velocidad tangencial de los rodillos.

### **o. Longitud de contacto**

La longitud de contacto del área de trabajo se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L = \sqrt{r_r (h_o - h_f)} \quad (23)$$

Donde:

$r_r$ : Radio de los rodillos.

$h_o$ : Altura inicial del material entre la matriz y los rodillos.



$h_f$ : Altura final del material entre la matriz y los rodillos.

#### **p. Potencia requerida para la compactación**

Para obtener el valor de la potencia requerida para la compactación se utiliza la siguiente formula:

$$P_{rc} = L f_c \omega_r N_{orodillos} \quad (24)$$

Donde:

$N_{orodillos}$ : Número de rodillos.

$\omega_r$ : Velocidad angular en los rodillos.

$f_c$ : Fuerza de compresión de los rodillos.

$L$ : Longitud de contacto.

#### **q. Torque de los rodillos**

El torque que generan los rodillos se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{P_{rc}}{\omega_r} \quad (25)$$

Donde:

$P_{rc}$ : Potencia requerida para la compactación.

$\omega_r$ : Velocidad angular en los rodillos.

### **1.4.10.3 Dimensionamiento de la matriz**

#### **a. Velocidad angular**

La velocidad angular se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{v_{tr}}{r_m} \quad (26)$$

Donde:

$v_{tr}$ : Velocidad tangencial de los rodillos.

$r_m$ : Radio de la matriz con agujeros.

### **b. Ángulo de inclinación**

El ángulo de trabajo de los rodillos se calcula de la siguiente forma :

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{L}{r_r} \right) \quad (27)$$

Donde:

$L$ : Longitud de contacto.

$r_r$ : Radio de los rodillos

### **c. Tiempo de extrusión**

El tiempo de extrusión se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$t_e = \frac{\theta}{\omega} \quad (28)$$

Donde:

$\theta$ : Ángulo de inclinación.

$\omega$ : Velocidad angular de giro del eje principal.

rodillos.

### **d. Aceleración de extrusión**

Se halla de la siguiente manera:

$$a_e = \frac{f_c - f_f}{m_{as}} \quad (29)$$

Donde:

$f_c$ : Fuerza de compresión.

$f_f$ : Fuerza de fricción.

$m_{as}$ : Masa del aserrín.

#### **e. Velocidad de extrusión**

La velocidad de extrusión se calcula mediante la ecuación:

$$v_e = v_o + (a_e t_e) \quad (30)$$

Donde:

$v_o$ : velocidad inicial.

$a_e$ : Aceleración de extrusión.

$t_e$ : Tiempo de extrusión.

#### **f. Numero de agujeros de la matriz**

Para hallar el número de agujeros que tendrá la matriz plana se utilizará la siguiente ecuación:

$$N_a = \frac{Q}{v_e N_r A_o} \quad (31)$$

Donde:

$Q$ : Flujo volumétrico.

$v_e$ : velocidad de extrusión.

$N_r$ : Número de rodillos.

$A_o$ : Área de extrusión.

### **1.4.10.4 Dimensionamiento de las cuchillas de corte**

#### **a. Superficie total de los pellets cortados**

La superficie total de los pellets cortados se obtiene mediante la siguiente formula:

$$S = \pi r_p^2 N_{om} \quad (32)$$

Donde:

$r_p$ : Radio del pellet.

$N_{om}$ : Número de filas de orificios en la matriz.

### b. Potencia de corte de las cuchillas

Para diseñar las cuchillas se debe tomar en cuenta que habrá 2 cuchillas debido a que existen dos rodillos para realizar el peletizado, estas cuchillas están ubicadas a  $5^\circ$  con respecto al eje de los rodillos y están a  $180^\circ$  entre sí.



Figura 14. Vista inferior de cuchillas de corte. [2]

El largo de las cuchillas depende del diámetro de la matriz, mientras que la potencia de las cuchillas se las obtienes mediante la siguiente formula:

$$P_{cc} = \frac{\gamma_{as}}{2(1 + \nu_p)} S v_e N_c \quad (33)$$

Donde:

$\gamma_{as}$ : Esfuerzo a la fluencia del aserrín.

$\nu_p$ : Relación de Poisson de la madera.

$S$ : Superficie total de los pellets cortados.

$v_e$ : Velocidad de extrusión.

$N_c$ : Numero de cuchillas.

### c. Torque de las cuchillas de corte

El torque de las cuchillas se obtiene mediante la ecuación:

$$T_{cc} = \frac{P_{cc}}{\omega} \quad (34)$$

Donde:

$P_{cc}$ : Potencia de las cuchillas.

$\omega_r$ : Velocidad angular de giro.

## 1.4.10.5 Dimensionamiento del sistema de transmisión

### a. Potencia Total

$$P_{Total} = P_{rc} + P_{cc} \quad (35)$$

Donde:

$P_{cc}$ : Potencia de las cuchillas.

$P_{rc}$ : Potencia requerida para la compactación.

### b. Potencia de diseño

$$P_D = P_{Total} K \quad (36)$$

Donde:

$P_{Total}$ : Potencia total.

$K$ : Factor de servicio.

### c. Torque o Momento Torsor del motor

$$T_{MOTOR} = \frac{P_{MOTOR}}{\omega_{MOTOR}} \quad (37)$$

Donde:

$P_{MOTOR}$ : Potencia del motor.

$w_{MOTOR}$ : Torque del motor.

**d. Relación de reducción de velocidad**

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (38)$$

Donde:

$n_1$ : Revoluciones por minutos del motor.

$n_2$ : Revoluciones por minutos de los rodillos.

**e. Diámetros de las poleas**

$$D = d i \quad (39)$$

Donde:

$d$ : diámetro recomendado por el fabricante.

$i$ : Relación de reducción de velocidad.

**f. Distancia entre centro de las poleas mínima**

$$D_{min} = 0.7 (d + D) \quad (40)$$

Donde:

$D$ : Diámetro mayor.

$d$ : Diámetro menor.

**g. Distancia entre centro de las poleas máxima**

$$D_{max} = 2 (d + D) \quad (41)$$

Donde:

$D$ : Diámetro mayor.

$d$ : Diámetro menor.

#### **h. Distancia de referencia**

$$D_{min} < D_0 < D_{max} \quad (42)$$

Donde:

$D_{min}$ : Distancia mínima.

$D_{max}$ : Distancia máxima.

#### **i. Potencia corregida por banda**

$$P_{CORREGIDA} = P_{BD} f_{LYA} \quad (43)$$

Donde:

$P_{BD}$ : Potencia transmitida por banda.

$f_{LYA}$ : Factor de corrección por longitud y arco.

#### **j. Número de bandas**

$$Z = \frac{P_D}{P_{CORREGIDA}} \quad (44)$$

Donde:

$P_D$ : Potencia de Diseño.

$P_{CORREGIDA}$ : Potencia corregida por banda.

#### **k. Longitud de la banda**

$$L_0 \approx 2 D_0 + \frac{\pi (D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4 D_0} \quad (45)$$

Donde:

$D_0$ : Distancia de referencia.

$D$ : Diámetro mayor.

$d$ : Diámetro menor.

### **l. Ángulo de contacto de la banda**

$$\alpha_1 = 2 \cos^{-1} \left( \frac{D - d}{2D_0} \right) \quad (46)$$

Donde:

$D_0$ : Distancia de referencia.

$D$ : Diámetro mayor.

$d$ : Diámetro menor.

### **m. Velocidad lineal en la polea conductora**

$$V_{Pd} = w_{MOTOR} \frac{d}{2} \quad (47)$$

Donde:

$w_{MOTOR}$ : Velocidad angular del motor.

$d$ : Diámetro de la polea menor.

### **n. Velocidad lineal en la polea conducida**

$$V_{PD} = n_2 \frac{D}{2} \quad (48)$$

Donde:

$n_2$ : Velocidad angular de los rodillos de aglutinado.

$D$ : Diámetro de la polea mayor.

### **o. Fuerza de tensado**

$$F_T = \frac{P_{MOTOR}}{V} \quad (49)$$

Donde:

$P_{MOTOR}$ : Potencia del motor.

$V$ : Velocidad lineal de la polea conductora o conducida.



**p. Tensado inicial**

$$T_0 = \frac{F_T}{2\delta} \quad (50)$$

Donde:

$F_T$ : Fuerza de tensado.

$\delta$ : Coeficiente de fricción de la polea y la correa.

**q. Fuerza de tensión en el ramal tirante**

$$T_1 = \frac{F_T}{2} + T_0 \quad (51)$$

Donde:

$T_0$ : Fuerza de tensado inicial.

$F_T$ : Fuerza de tensado.

**r. Fuerza de tensión en el ramal flojo**

$$T_2 = T_0 - \frac{F_T}{2} \quad (52)$$

Donde:

$T_0$ : Fuerza de tensado inicial.

$F_T$ : Fuerza de tensado.

**1.4.10.6 Dimensionamiento del eje principal**

**a. Fuerza tangencial de la polea**

$$F_m = T_1 + T_2 \quad (53)$$

Donde:

$T_1$ : Fuerza de tensión en el ramal tirante.

$T_2$ : Fuerza de tensión en el ramal flojo.

## b. Momento Torsor en la polea conducida

$$T_{POLEA} = \frac{(T_1 - T_2) D}{2} \quad (54)$$

Donde:

$T_1$ : Fuerza de tensión en el ramal tirante.

$T_2$ : Fuerza de tensión en el ramal flojo.

$D$ : Diámetro mayor.

## c. Diámetro del eje principal

### Criterio de ED – Goodman

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 n}{\pi} \left( \frac{1}{S_e} \sqrt{4 (K_f M_a)^2 + 3 (K_{fs} T_a)^2} + \frac{1}{S_{ut}} \sqrt{4 (K_f M_m)^2 + 3 (K_{fs} T_m)^2} \right)} \quad (55)$$

Donde:

$d$ : Diámetro del eje.

$FS$ : Factor de seguridad.

$S_e$ : Limite de resistencia a la fatiga en la ubicación critica.

$S_{ut}$ : Resistencia ultima a la tracción.

$K_f$ : Concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión.

$K_{fs}$ : Concentración de esfuerzo por fatiga de la torsión.

$M_a$ : Momento flexionante alternamente.

$M_m$ : Momento flexionante medio.

$T_a$ : Torsión alternante.

$T_m$ : Torsión medio.

**d. Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica**

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (56)$$

Donde:

$k_a$ : Factor de modificación por la condición superficial.

$k_b$ : Factor de modificación por el tamaño.

$k_c$ : Factor de modificación por la carga.

$k_d$ : Factor de modificación por la temperatura.

$k_e$ : Factor de confiabilidad.

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa.

**e. Factor de modificación por la condición superficial ( $k_a$ )**

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (57)$$

Donde:

$S_{ut}$ : Resistencia última a la tracción.

$a$  y  $b$  Se determinan de acuerdo con el acabado superficial.

**f. Factor de modificación por el tamaño ( $k_b$ )**

$$k_b = \left\{ \begin{array}{ll} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 \leq d \leq 10 \text{ in} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (58)$$

Donde:

$d$ : Diámetro del eje principal.

**g. Factor de confiabilidad ( $k_e$ )**

$$k_e = 1 - 0.08 z_a \quad (59)$$

**h. Factor de resistencia a la fatiga en viga rotatoria ( $S'e$ )**

$$S'e = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases} \quad (60)$$

Donde:

$S_{ut}$ : Resistencia ultima a la tracción.

**i. Concentradores de esfuerzo  $K_f$  y  $K_{fs}$**

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (61)$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad (62)$$

Donde:

$K_f$ : Concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión.

$K_{fs}$ : Concentración de esfuerzo por fatiga de la torsión.

$q$ : Sensibilidad de la muesca a flexión.

$q_{cortante}$ : Sensibilidad de la muesca a torsión.

$K_t$ : Factor de concentración de esfuerzo de flexión.

$K_{ts}$ : Factor de concentración de esfuerzo de torsión.

**Diámetro del eje sin valor de momento flector**

**a. Resistencia a la fluencia cortante**

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad (63)$$

Donde:

$S_{sy}$ : Resistencia a la fluencia cortante.

### b. Esfuerzo cortante admisible

$$\tau_{ad} = \frac{S_{sy}}{n} \quad (64)$$

$\tau_{ad}$ : Esfuerzo cortante admisible

$n$ : Factor de diseño.

### c. Diámetro del eje

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 T}{\pi \tau_{ad}}} \quad (65)$$

$\tau_{ad}$ : Esfuerzo cortante admisible

$T$ : Torque aplicado en la sección.

## 1.4.10.7 Dimensionamiento del eje de los rodillos

### a. Inercia del rodillo

$$I_{rodillo} = \frac{m_{rodillo} r_{rodillo}^2}{2} \quad (66)$$

Donde:

$m_{rodillo}$ : Masa del rodillo.

$r_{rodillo}$ : Radio del rodillo.

### b. Aceleración de giro

$$\alpha = \frac{\omega_r}{(60 s)(1 RPM) V_r} \quad (67)$$

Donde:

$\omega_r$ : Velocidad angular del rodillo.

$V_r$ : Velocidad lineal del rodillo.

### c. Par de torsión

$$T = I_{rodillo} \alpha \quad (68)$$

Donde:

$I_{rodillo}$ : Inercia del rodillo.

$\alpha$ : Aceleración de giro.

### d. Diámetro del eje del rodillo

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 n}{\pi} \left( \frac{1}{S_e} \sqrt{4 (K_f M_a)^2 + 3 (K_{fs} T_a)^2} + \frac{1}{S_{ut}} \sqrt{4 (K_f M_m)^2 + 3 (K_{fs} T_m)^2} \right)} \quad (69)$$

Donde:

$F_D$ : Factor de diseño.

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero.

$M_1$ : Momento máximo del eje secundario.

$T$ : Momento torsor o Par de torsión.

## 1.4.10.8 Dimensionamiento de la chaveta para el eje principal

### a. Longitud necesaria de chaveta sometida a cizallamiento

$$l = \frac{4 T n_s}{D b S_y} \quad (70)$$

Donde:

$T$ : Torque de la polea conducida.

$n_s$ : Coeficiente de seguridad.

$D$ : Diámetro del eje principal

$b$ : Base de la chaveta.

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material.

### **b. Longitud necesaria de chaveta sometida a aplastamiento**

$$l = \frac{4 T n_s}{D h S_y} \quad (71)$$

Donde:

$T$ : Torque de la polea conducida.

$n_s$ : Coeficiente de seguridad.

$D$ : Diámetro del eje principal

$h$ : Altura de la chaveta.

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material.

### **c. Fallo por cizallamiento**

$$F = \frac{2 T}{D} \quad (72)$$

Donde:

$M$ : Momento torsor del eje principal.

$D$ : Diámetro del eje principal.

### **d. Tensión de corte**

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (73)$$

Donde:

$F$ : Fuerza de corte sobre la chaveta.

$A$ : Área de la chaveta (lado  $b$  por la longitud)

### e. Tensión de compresión

$$\sigma_{apl} = \frac{F}{A} \quad (74)$$

Donde:

$F$ : Fuerza de corte sobre la chaveta.

$A$ : Área de la chaveta (lado  $h$  por la longitud)

### 1.4.10.9 Selección de rodamiento para los ejes

#### a. Vida nominal básica del rodamiento

Para calcular la vida nominal del rodamiento se utiliza la formula descrita en el catálogo SKF.

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60n} \right) \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (75)$$

Donde:

$L_{10h}$ : Vida del rodamiento en millones de revoluciones.

$n$ : Velocidad en rpm del rodamiento.

$C$ : Capacidad de carga dinámica.

$P$ : Carga radial.

$p$ : Exponente de la ecuación de la ecuación de la vida.

#### b. Viscosidad nominal

$$dm = 0.5(d + D) \quad (76)$$

Donde:

$d$ : Diámetro interno del rodamiento.

$D$ : Diámetro externo del rodamiento.



**c. Condición de lubricación**

$$K = \frac{V}{V_l} \quad (77)$$

Donde:

$V$ : Viscosidad real.

$V_l$ : Viscosidad nominal.

**d. Factor  $a_{SKF}$**

$$n_c \frac{P_u}{P} \quad (78)$$

Donde:

$n_c$ : Factor de contaminación.

$P_u$ : Carga límite de fatiga.

$P$ : Carga radial.

**e. Vida nominal SKF**

$$L_{10mh} = a_{SKF} L_{10h} \quad (79)$$

Donde:

$a_{SKF}$ : Factor  $a_{SKF}$

$L_{10h}$ : Vida nominal básica del rodamiento.

**1.4.10.10 Comprobación del diámetro del eje**

**a. Factor de seguridad**

$$n = \frac{S_y \pi d^3}{32 T} \quad (80)$$

## b. Esfuerzo máximo de Von Mises

$$\sigma'_{max} = \left[ \left( \frac{32 K_f (M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} (T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (81)$$

Donde:

$K_f$ : Concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión.

$K_{fs}$ : Concentración de esfuerzo por fatiga de la torsión.

$M_a$ : Momento flexionante alternamente.

$M_m$ : Momento flexionante medio.

$T_a$ : Torsión alternante.

$T_m$ : Torsión medio.

$d$ : Diámetro del eje.

## c. Verificación de la fluencia

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}} \quad (82)$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la fluencia.

$K_{fs}$ : Esfuerzo máximo de Von Mises.

### 1.4.11 Materiales para la construcción de la máquina peletizadora

#### 1.4.11.1 Acero A36

Uno de los aceros estructurales al carbono más utilizados en la industria de la construcción de máquinas, su porcentaje de carbono es de 0.29 %. El acero ASTM A36 comúnmente esta laminado en caliente, entre las distintas laminaciones que puede optar el acero se encuentra: acero rectangular, cuadrado, redondo, laminas o chapas, así como también en diferentes perfiles como: canales U, tubos, vigas H, vigas I, entre otros. Además, es un acero con un alto nivel de soldabilidad. [28] A

continuación en la siguiente Tabla 8 se indica las propiedades mecánicas del acero A36.

Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36. [29]

Propiedades mecánicas	Valor [unidades]	
Resistencia a la tracción	400 – 55 [MPa] 58 – 80 [ksi]	En placas, vigas y barras
Esfuerzo a la fluencia	250 [MPa] 36 [ksi]	Espesores menores o iguales a 200 mm o 8 pulg.
	220 [MPa] 32 [ksi]	Espesores mayores a 200 mm o 8 pulg.
Dureza Brinell	119 – 162 [HBW]	
Módulo de elasticidad	200 [GPa] 29 (10 <sup>3</sup> ) [ksi]	
Módulo de corte	79.3 [GPa] 11.5 x 10 <sup>3</sup> [ksi]	
Limite a la fluencia	250 [MPa] 36 [ksi]	

#### 1.4.11.2 Acero AISI SAE 1018

El acero AISI SAE 1018 es un acero con bajo contenido de carbono, con una buena ductilidad y mayor resistencia mecánica. En comparación con la mayoría de los aceros al carbón este posee una mejor soldabilidad y excelente maquinabilidad.

La aplicación de estos aceros se los encuentra comúnmente en perfiles estructurales, alambres, varillas, clavos, tornillos, etc. También este acero al ser tratado se lo puede utilizar en piezas como engranes, pernos, ejes, tensores, piñones, tornillos sin fin, catarinas, etc. [30]

En la siguiente Tabla 9 se pueden encontrar las propiedades mecánicas del acero AISI 1018.

Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1018. [30]

<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Valor [unidades]</b>
Resistencia a la tracción	440 [MPa]
Límite de fluencia	370 [MPa]
Elongación	15 %
Reducción de área	40 %
Módulo de corte	78 [GPa]
Maquinabilidad	70 %

#### **1.4.11.3 Acero AISI SAE 1020**

Un acero estructural de bajo carbono, laminado al caliente su alta tenacidad y baja resistencia mecánica permite la fabricación de partes y maquinaria de baja exigencia, los niveles de soldabilidad son altos lo cual permite una unión de piezas y mecanismos sencilla, la soldadura recomendada es la MIG por su eficiencia en el hilo continuo, mientras que la soldadura SMAW no garantiza una eficiencia a larga duración y continuidad al momento de cambiar el electrodo. [31] En la siguiente Tabla 10 se muestra las propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1020.

Tabla 10. Propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1020. [31]

<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Valor [unidades]</b>
Resistencia a la tracción	420 [MPa]
Límite de fluencia	350 [MPa]
Elongación	20%
Reducción de área	50%
Dureza Brinell	110 – 140 [HBW]
Maquinabilidad	50 %

#### **1.4.11.4 Acero HADFIELD (ASTM A128 grado B2)**

El acero Hadfield es un acero con alto contenido de manganeso denominado con este nombre por el Sir Robert Abbot Hadfield quien fue un metalurgista que invento el

acero al manganeso en 1882. Estos aceros son aleaciones no magnéticas que se caracterizan por tener una alta tenacidad, alta resistencia al desgaste, alta ductilidad y resistencia a la tracción y compresión.

El acero Hadfield pertenece al grupo de los aceros al manganeso, por lo que pertenece a la norma ASTM A128, sin embargo, la diferencia entre los aceros que forman esta norma es que el acero Hadfield pertenece al grado B2, debido a que el acero Hadfield tiene una composición nominal de 1.2% C y de 12 a 13 % Mn. [32]

En la siguiente Tabla 11 se pueden encontrar las propiedades mecánicas del acero ASTM A128 grado B2.

Tabla 11. Propiedades mecánicas del acero HADFIELD. [32]

<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Valor [unidades]</b>
Resistencia última	965 [MPa]
Límite de fluencia	345 a 415 [MPa]
Dureza en estado enfriado	190 [B]
Reducción de área	40 %
Momento de fractura	500 [HB]
Maquinabilidad	50

Por sus especificaciones mecánicas este acero es óptimo para aplicaciones de alto impacto y donde se requiera abrasión , sin embargo, este acero cuenta dificultades para ser maquinado debido a su alta resistencia a la fluencia, por lo que no es óptimo para piezas que requieran una alta precisión en su acabado.

## CAPÍTULO II

### 2 METODOLOGÍA

#### 2.1 Modalidad de investigación

##### a. De campo

Se utiliza esta metodología para comparar las opciones que se tienen en la selección del material de construcción, en el tipo de peletizadora y en la selección del material con el cual se realizará el pellet.

##### b. Bibliográfica

El método de recolección de datos se utiliza para obtener referencias de normas, libros, artículos científicos y diferentes fuentes de información formales, que ayude a estructurar el marco teórico con investigaciones previamente realizadas sobre los materiales y tipos de máquinas peletizadoras.

#### 2.2 Nivel o tipo de investigación

##### a. Exploratoria

Se utiliza este método para conocer los parámetros del material que se utilizará para el maquinado de las piezas, la materia prima que ingresará en la máquina y el aglutinante que mantendrá la materia firme unida y sólida.

##### b. Descriptiva

Mediante el método descriptivo se busca detallar las diferencias que existen entre los materiales seleccionados para la construcción, para el tipo de diseño que se va a escoger para construir y con la selección de los materiales con el cual se realizará el pellet.

## 2.3 Materiales y Recursos







### 2.3.1 Lista de materiales para el modelado y simulado de la máquina

En la siguiente Tabla 12 se describe los materiales a utilizar para el proceso de diseño, modelado y simulación en software especializado.

Tabla 12. Alternativas para realizar el diseño de la máquina.

Nombre	Descripción	Representación Gráfica
Normas	Las normas que se utilizarán son las normas ISO, las cuales describen las características que deben cumplir los pellets y también las normas a seguir para el diseño de la máquina.	
Software para el diseño CAD	Este software se utiliza para el diseño de las partes y realización de planos de construcción.	
Software para simulación de esfuerzos	Es un software especializado que se usa para la simulación de máquinas.	
Computadora	Se utiliza la computadora para realizar el modelado de las piezas, también nos servirá para realizar la parte teoría del proyecto	

Tabla 12. Alternativas para realizar el diseño de la máquina. (Continuación)

Cuadernos	Los cuadernos se utilizarán para recopilar datos de vital importancia, notas y cálculos que se vayan realizando conforme se prepara el diseño.	
Lápices	Los lápices se utilizarán para realizar los cálculos debido a que se puede borrar fácilmente por cualquier error que se cometa.	
Esferos	Los esferos son para anotar información verídica y que no se quiera realizar modificaciones.	
Calculadora	Se utiliza la calculadora para realizar los respectivos cálculos al momento de diseñar la máquina	
Libros	Son los libros de la biblioteca de la facultad y se utilizarán para realizar la búsqueda de información.	
Internet	El internet es un material de vital importancia para la recopilación de datos en los que se pueda basar la investigación.	



### 2.3.2 Lista de materiales para la construcción de la máquina

En la siguiente Tabla 13 se detalla los componentes principales en la construcción del prototipo de máquina peletizadora, además se adjunta una fotografía con una ligera descripción que detalla el trabajo que realiza cada elemento en el funcionamiento final del equipo.

Tabla 13. Elementos para la construcción de la máquina.

Nombre del componente	Descripción	Representación Grafica
Matriz plana	Permite el ingreso del material a presión con la finalidad de tomar el tamaño y forma de la matriz.	
Rodillos	Junto con las matrices permite la trituración y el molido del material a peletizar.	
Rodamientos	Su función es minimizar la fricción entre el eje y la parte a la que está conectada.	
Eje del sistema principal	Guía el movimiento de rotación de una pieza o conjunto de piezas.	
Anillos exteriores e interiores	Fabricados con materiales de gran dureza, ayudan a los rodamientos a maximizar su capacidad de carga y vida útil.	

Tabla 13. Elementos para la construcción de la máquina. (Continuación)

Ejes de rodillos	Parte del sistema de los rodillos permite el movimiento giratorio junto con los rodamientos.	
Sellos de aceite	Denominados también retenes, cierran los espacios y evitan fugas de lubricantes.	
Cubierta	Construidas con aceros estructurales, brinda protección a sistemas mecánicos alojados normalmente en el interior.	
Bisagras	Posibilita el giro de puertas y ventanas, conformado principalmente por dos piezas unidas entre sí por un eje.	
Abrazaderas de gancho	Usadas principalmente para el cierre de aperturas.	
Tolva de alimentación	Permite el almacenamiento de la materia prima, regularmente su forma es cónica colocada en la parte superior de una máquina.	

Tabla 13. Elementos para la construcción de la máquina. (Continuación)

Expulsador	Permite dirigir el producto final después de su fabricación hacia el proceso de empaquetado.	
Motor eléctrico	Máquina que permite la conversión de energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción campos magnéticos	
Apoyos	Brinda estabilidad y equilibrio a la máquina o equipo.	
Polea	Dispositivo mecánico que permite la transmisión de fuerzas.	
Bandas	Junto con las poleas permite la transmisión de fuerzas y energía, también la finalidad es disminuir o aumentar esta fuerza o energía.	

### 2.3.3 Recursos Humanos

Con relación al talento humano que estará al frente del desarrollo y realización de este proyecto técnico se encuentran los autores, el tutor encargado de la guía del trabajo y el gerente general de la empresa maderera.

Bryan Ponce	Estudiante
Jorge Viteri	Estudiante
Ing. Gonzalo López, Mg	Docente Tutor
Sr Juan Yumbopatin	Gerente General de DERCOR PARQUÉT

#### 2.3.4 Recursos Institucionales

Los medios que proporciona la Universidad Técnica de Ambato para la realización del proyecto técnico.

Licencias de softwares

Bases virtuales (eLibro, Springer, IEEE)

Bibliotecas y repositorios de tesis

#### 2.3.5 Recursos Económicos

En base a las investigaciones de campo realizadas, se determinó que el proyecto técnico a realizar tendrá un valor aproximado de 1 200 USD. A continuación, se adjunta la siguiente Tabla 14 el detalle de los costos obtenidos netamente de partes y piezas para el equipo.

Tabla 14. Detalle de costos del proyecto.

Descripción	Valor
Material de oficina y suministros	50
Materia Prima	150
Piezas y Partes	750
Logística	50
Costo de Ingeniería	200
<b>Costo Total</b>	<b>1 200</b>

## 2.4 Métodos

### 2.4.1 Alternativas de la matriz para la construcción de la máquina

Para la selección de alternativas se tomó en cuenta los dos tipos principales de peletizadoras la cuales son: peletizadora de matriz anular y peletizadora de matriz plana. En esta última existen dos diferentes tipos de matrices: plana giratoria y con matriz estática. A continuación, se indica la Tabla 15 con las diferentes alternativas.

Tabla 15. Alternativas para realizar el diseño de la máquina.

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<p><b>Peletizadora de matriz plana giratoria con rodillos estáticos</b></p>	<p><b>Peletizadora de matriz plana estática con rodillos giratorios</b></p>	<p><b>Peletizadora de matriz anular</b></p>
<p>En la primera alternativa se presenta un diseño en donde la matriz es la que realiza el giro, mientras que los rodillos se mantienen en la misma posición mediante un eje que está empotrado en la tolva, esto permite que los rodillos giren con el movimiento de la matriz y a su vez se mantengan fijos en su posición.</p>	<p>La segunda alternativa cuenta con un diseño en donde la matriz se mantiene estática y el sistema de los rodillos es el que realiza el giro, esto a su vez permite que los rodillos giren con el movimiento que realiza todo el sistema, distribuyendo el material hacia el centro en donde tiene contacto los rodillos con la matriz.</p>	<p>La tercera alternativa presenta un diseño en donde la matriz tiene una forma de anillo, en su interior se encuentra los rodillos que permiten realizar la compresión del material, en esta disposición los rodillos giran al mismo tiempo que la matriz ya que este les da movimiento a los rodillos.</p>
		

## 2.4.2 Ponderación de alternativas

Con las tres alternativas propuestas se realizará una comparación entre sí para seleccionar la alternativa que cumple con las características necesarias para optimizar el diseño y construcción de la máquina. Las alternativas serán evaluadas con los valores descritos en la Tabla 16, en donde se considera tres valores: Excelente, regular y malo.

Tabla 16. Valores para ponderar.

<b>Ponderación</b>	<b>Concepto</b>
10	Excelente
5	Regular
1	Malo

## 2.4.3 Selección de la matriz para la construcción de la máquina

A continuación, se presenta la Tabla 17 que contiene los factores que ayudarán a seleccionar la alternativa óptima para el proyecto.

Tabla 17. Selección de alternativas.


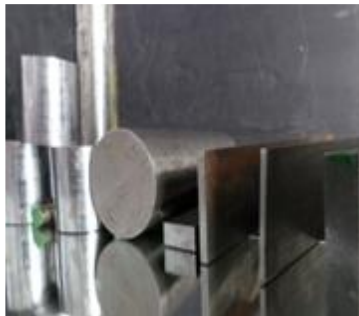

<b>Factores</b>	<b>Alternativas</b>		
	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
Capacidad de producción	5	5	10
Costo de fabricación	10	10	5
Facilidad de construcción	10	10	5
Tiempo de construcción	10	10	1
Facilidad de peletizado	5	10	1
<b>Total</b>	40	<b>45</b>	22

Después de haber realizado la ponderación se llegó a la conclusión de que la alternativa óptima para el desarrollo de este proyecto es la alternativa 2 la cual se refiere a la peletizadora de matriz plana estática con rodillos giratorios, debido a que es la alternativa con la máxima puntuación.

#### 2.4.4 Alternativas del material para la construcción de la máquina

La selección del material que predominara en la construcción de la máquina se basara en tres tipos de aceros estructurales, en la siguiente Tabla 18 se detallan las diferentes alterativas a ponderar.

Tabla 18. Alternativas de materiales para la construcción.

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Acero ASTM A36	Acero AISI SAE 1018	Acero ASTM A128 grado B2
Acero estructural de alta resistencia, posee una alta capacidad de soldadura, no es adecuado para tratamientos térmicos, fácil de encontrar en distribuidores autorizados a costos bajos en comparación con otro tipo de materiales.	Acero estructural con bajo contenido de carbono, una buena capacidad de soldadura es adecuado para trabajos en torno y fresa, usado principalmente en ejes, pasadores, tornillos, entre otros. Se fácilmente en el territorio a costos bajos.	Uno de los aceros usados principalmente en la fabricación de resortes, laminas y aplicaciones eléctricas, la adquisición del material es por importación al país elevando aún más el costo del material.
		

#### 2.4.5 Ponderación de alternativas

La escala de ponderación será la misma usada para la selección de la matriz en el apartado 2.2.2 específicamente en la Tabla 16.

#### 2.4.6 Selección del material para la construcción de la máquina

El material más adecuado para la construcción del equipo se determinará por medio del método de factores ponderados, en la siguiente Tabla 19 se detalla los factores tomados en cuenta y la ponderación de cada alternativa.

Tabla 19. Ponderación de alternativas del material.

Factores	Alternativas		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos	8	10	5
Soldabilidad	10	10	10
Distribución en el territorio local	10	10	0
Maquinabilidad	9	10	5
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>20</b>

El material que más se ajusta a las condiciones requeridas y mejores características posee es el acero AISI SAE 1018 con un valor ponderado de 40, siendo este el acero seleccionado para la construcción de ejes, ruedas dentadas y partes internas del mecanismo y el acero ASTM A36 el material seleccionado para la construcción de partes externas del prototipo.

#### 2.4.7 Selección de medidas del pellet

##### a. Norma ISO 17225-2: 2021

La normativa TC 335 regula los biocombustibles sólidos como las astillas, leñas, briquetas, pellets, entre otros. Busca garantizar una eficiencia en los equipos donde los pellets de madera sean la fuente de energía. A continuación, en la siguiente Tabla



20 se indica parte de la normativa donde estandariza rangos para las medidas y características físicas del biocombustible.

Tabla 20. Estándares para pellets según la norma ISO 17225-2: 2021. [33]

Clase/ propiedad	A1	A2	B
Origen y fuente	Fuste y residuos de madera no tratada químicamente	Los mismos que A1 más árboles enteros sin raíces y restos de corta	Bosque, plantaciones y otra madera virgen; subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera; y madera usada no tratada químicamente
Diámetro y longitud (mm)	D06, $6 \pm 1$ ; $3,15 < L \leq 40$ D08, $8 \pm 1$ ; $3,15 < L \leq 40$		



En la Figura 15 se muestra las medidas en milímetros que tendrá el producto final y para las cuales la máquina peletizadora deberá ser diseñada.

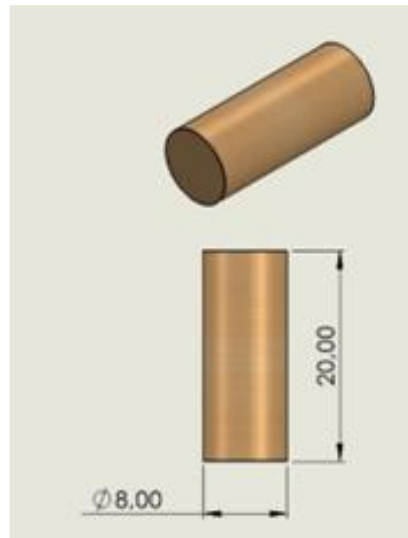


Figura 15. Dimensiones del pellet.

Por medio de las normativas ISO y de las medidas seleccionadas en la Figura 15, en la Tabla 21 se indica algunas de las características físicas y térmicas que tendrá el producto al ser fabricado.

Tabla 21. Propiedades del pellet a fabricar. [33]

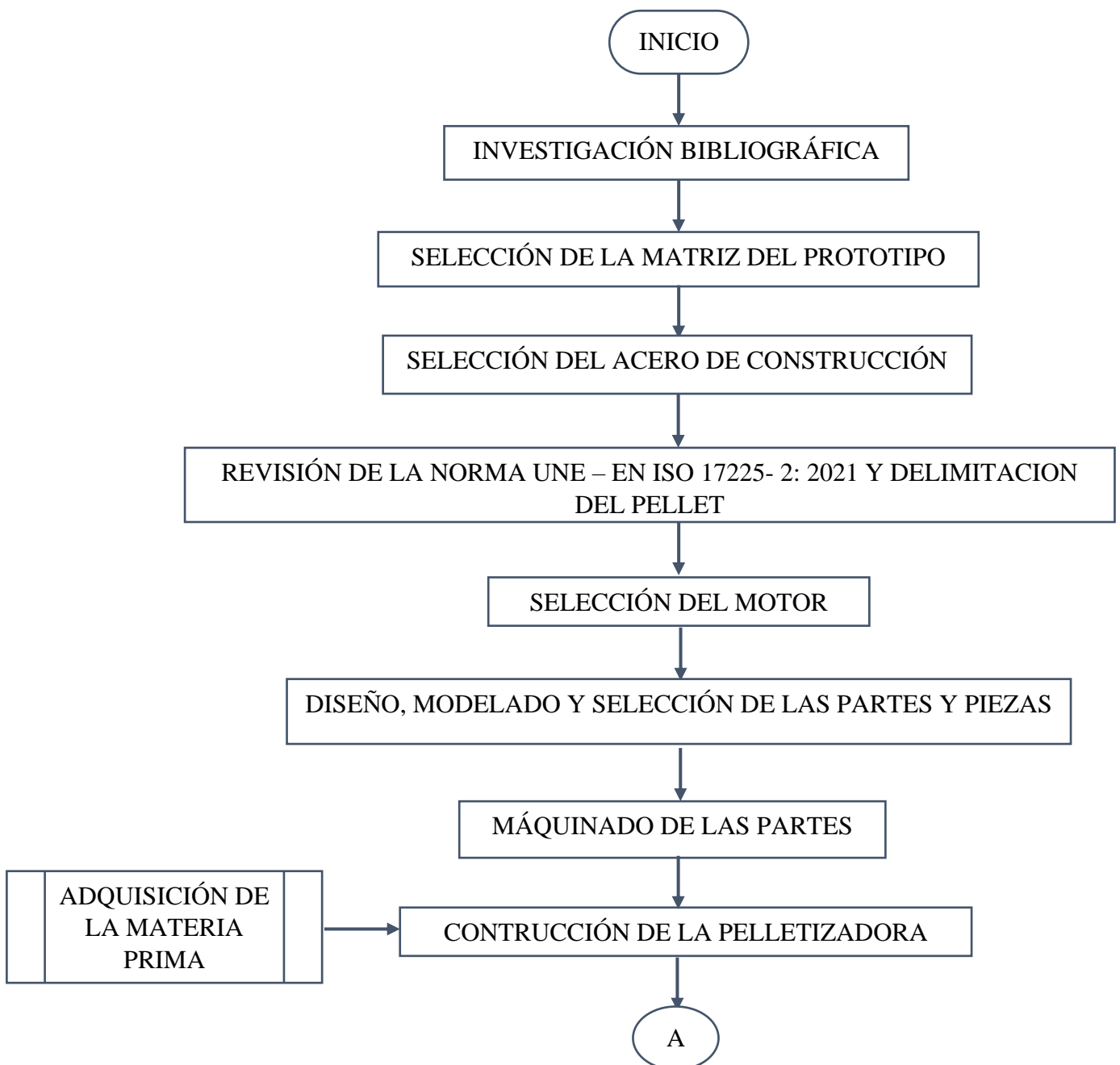
Propiedades	
Clase	B: Residuos de la industria en procesamiento de madera.
Humedad	Menor o igual al 10 %

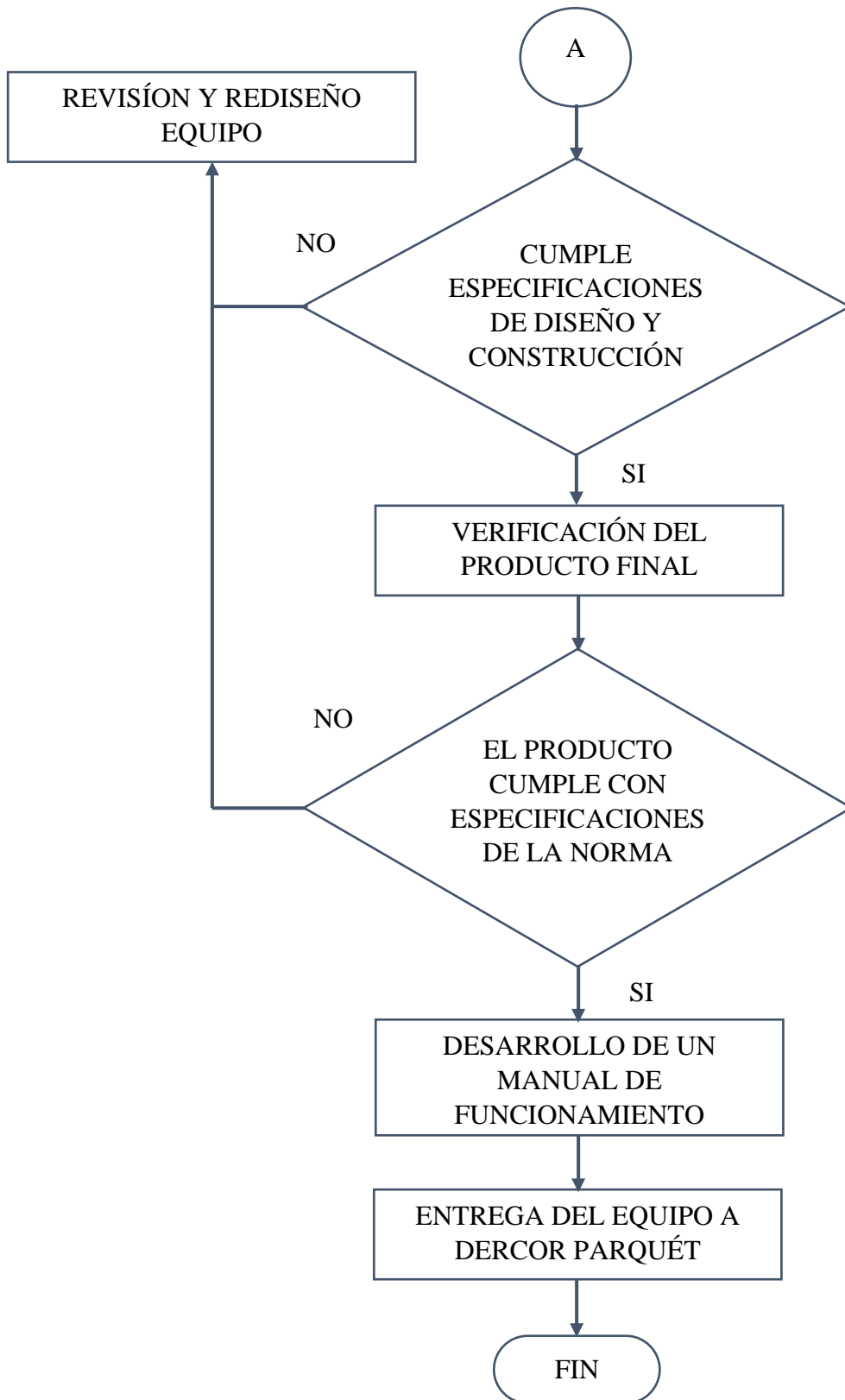
Tabla 21. Propiedades del pellet a fabricar. (Continuación) [33]

Cenizas	Menor o igual al 2 %
Durabilidad mecánica	96.5 %
Poder calorífico	Mayor o igual al 16.5 [MJ/Kg]

#### 2.4.8 Diagrama de flujo para el diseño y construcción del prototipo

La estructuración del flujograma del proyecto técnico facilitara y guiara paso a paso la realización del prototipo y el cumplimiento de los objetivos planteados.





## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Dimensionamiento de la máquina

##### 3.1.1 Dimensionamiento de la capacidad de la peletizadora

Para comenzar con el diseño del equipo es necesario conocer la capacidad de la máquina, la capacidad dependerá de la demanda que requiera la empresa. DECOR PARQUÉT en promedio genera 3 toneladas de aserrín al mes, de esta cantidad un porcentaje está destinado para la venta y el otro se pretende utilizar para la producción de pellets. Por lo tanto, se estima utilizar un promedio de 175 kg de desperdicio diario durante 1 hora de trabajo, obteniendo una capacidad de:

$$C = 175 \left( \frac{kg}{dia} \right) \left( \frac{1 dia}{1 h} \right)$$

$$C = 175 \frac{kg}{h}$$

Teniendo en cuenta el factor de sobreproducción que es el 20% de la capacidad, se obtendrá una capacidad total de:

$$C = 175 \frac{kg}{h} (1.2)$$

$$C = 210 \frac{kg}{h}$$

##### 3.1.2 Dimensionamiento de la tolva

###### a. Relación de compresión

Las dimensiones del pellet son 8 mm de diámetro y 20 mm de largo.

$$Rc = \frac{1}{\frac{d_p}{l_p}} \quad (3)$$

$$Rc = \frac{1}{\frac{8}{20}}$$

$$Rc = 2.5$$

**b. Volumen del pellet**

$$V_p = \pi l_p \left(\frac{d_p}{2}\right)^2 \quad (4)$$

$$V_p = \pi (20) \left(\frac{8}{2}\right)^2$$

$$V_p = 1005.31 \text{ mm}^3$$

**c. Densidad del pellet**

Se trabaja con una densidad de la madera de  $250 \text{ kg/m}^3$ . [2]

$$\rho_p = \rho_{as} Rc \quad (5)$$

$$\rho_p = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (2.5)$$

$$\rho_p = 625 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**d. Volumen específico**

$$Ve = \frac{1}{\rho_p} \quad (6)$$

$$Ve = \frac{1}{625} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$Ve = 0.0016 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

**e. Flujo volumétrico**

$$Q = CVe \quad (7)$$

$$Q = 210 \frac{kg}{h} \left( \frac{0.0016 m^3}{kg} \right)$$

$$Q = 0.336 \frac{m^3}{h}$$

$$Q = 9.33 (10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

**f. Medidas de la tolva**

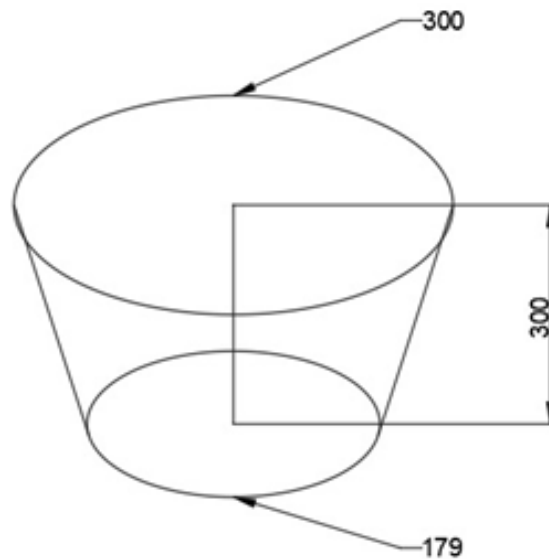


Figura 16. Medidas de la tolva.

**g. Volumen de la tolva**

$$V = \frac{1}{3} \pi h_t (R_t^2 + r_t^2 + R_t r_t) \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{3} \pi (0.15 m) ((0.15 m)^2 + (0.0895 m)^2 + (0.15 m * 0.0895 m))$$

$$V = 0.0276 m^3$$

### 3.1.3 Dimensionamiento de los rodillos de compresión

#### a. Radio de los rodillos

La altura inicial del material tiene un valor aproximado de 0.015 m, la altura final se encuentra entre el rango recomendado de 0.1 mm y 0.3 mm [34], para este diseño se seleccionó un valor de 0.0002 m. El coeficiente de fricción entre la madera y el acero varía entre los valores de 0.55 – 0.7 [2], optando por el valor de 0.55 obteniendo los siguientes resultados:

$$r_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2} \quad (9)$$
$$r_r = \frac{0.015 \text{ m} - 0.0002 \text{ m}}{0.55^2}$$
$$r_r = 0.0489 \text{ m} \approx 0.05 \text{ m}$$
$$D_r = 0.0978 \text{ m} \approx 0.1 \text{ m}$$

#### b. Ancho de los rodillos

$$h_r \leq \frac{D_r}{2} \quad (10)$$
$$h_r \leq \frac{0.0978 \text{ m}}{2}$$
$$h_r \leq 0.0489 \text{ m}$$

Se determinó que el ancho óptimo de los rodillos es:

$$h_r = 0.04 \text{ m}$$
$$h_r = 40 \text{ mm}$$

#### c. Volumen de los rodillos

$$V_r = \pi r_r^2 h_r \quad (11)$$
$$V_r = \pi (0.0489 \text{ m})^2 0.0489 \text{ m}$$

$$V_r = 3.67 (10^{-4}) m^3$$

**d. Masa de los rodillos**

El valor de la densidad del acero es  $7850 \text{ kg/m}^3$  ver ANEXO 1.

$$m_r = V_r \rho_r \quad (1283)$$

$$m_r = 3.67 (10^{-4} m^3) 7850 \frac{\text{kg}}{m^3}$$

$$m_r = 2.36 \text{ kg}$$

**e. Deformación de extrusión**

Se utiliza 0.9 y 1.5 como valores de a y b ver ANEXO 2.

$$E_e = a + [b \ln (Rc)] \quad (13)$$

$$E_e = 0.9 + [1.5 \ln (2.5)]$$

$$E_e = 2.274$$

**f. Presión de compresión de los rodillos**

Se utiliza 10 MPa como valor de esfuerzo de fluencia del aserrín revisar ANEXO 3.

$$P_r = \gamma_{as} E_e \quad (14)$$

$$P_r = 10 \text{ MPa} (2.274)$$

$$P_r = 22.74 \text{ MPa}$$

**g. Área del orificio**

$$A_o = \pi r_p^2 \quad (15)$$

$$A_o = \pi (0.004 \text{ m})^2$$



$$A_o = 5.027 (10^{-5}) m^2$$

#### **h. Fuerza de compresión**

$$f_c = P_r A_o \quad (16)$$

$$f_c = 22.74 (10^6) Pa (5.027)(10^{-5}) m^2$$

$$f_c = 1143.14 N$$

#### **i. Presión adicional**

Se utiliza 10 MPa como valor de esfuerzo de fluencia del aserrín revisar ANEXO 3.

$$P_a = \gamma_{as} \frac{2 h_f}{d_p} \quad (17)$$

$$P_a = 10 MPa \left( \frac{2 (0.0002 m)}{0.008 m} \right)$$

$$P_a = 0.5 MPa$$

#### **j. Presión en las paredes**

Se utiliza el valor de 0.55 como valor del coeficiente de fricción entre la madera. [2]

$$P_o = \frac{P_a d_p}{4 \mu h_f} \quad (18)$$

$$P_o = \frac{0.5 MPa (0.008 m)}{4 (0.55) (0.0002 m)}$$

$$P_o = 9.09 MPa$$

#### **k. Fuerza de fricción**

Se utiliza el valor de 0.55 como valor del coeficiente de fricción entre la madera. [2]

$$f_f = \mu P_o d_p l_p \quad (19)$$

$$f_f = 0.55 (9.09)(10^6)Pa (0.008 m)(0.02 m)$$

$$f_f = 800 N$$

El material extruido debe cumplir que  $f_f < f_c$  para que el material venza la fricción y atreves del dado de extrusión.

$$f_f < f_c$$

$$800 N < 1143.26 N$$

#### **l. Aceleración normal de los rodillos**

$$an_r = \frac{f_c - f_f}{m_r} \quad (20)$$

$$an_r = \frac{1143.14 N - 800 N}{2.36 kg}$$

$$an_r = 145.36 m/s^2$$

#### **m. Velocidad tangencial de los rodillos**

$$v_{tr} = \sqrt{an_r r_r} \quad (21)$$

$$v_{tr} = \sqrt{145.36 \frac{m}{s^2} (0.0489 m)}$$

$$v_{tr} = 2.66 \frac{m}{s}$$

#### **n. Velocidad angular de los rodillos**

$$\omega_r = \frac{v_{tr}}{r_r} \quad (22)$$

$$\omega_r = \frac{2.66 \frac{m}{s}}{0.0489 m}$$

$$\omega_r = 54.509 \frac{rad}{s}$$

$$\omega_r = 520.51 \text{ RPM}$$

**o. Longitud de contacto**

$$L = \sqrt{r_r (h_o - h_f)} \quad (23)$$

$$L = \sqrt{0.0489 \text{ m} (0.015 - 0.0002) \text{ m}}$$

$$L = 0.0269 \text{ m}$$

**p. Potencia requerida para la compactación**

$$P_{rc} = L f_c \omega_r N_{\text{rodillos}} \quad (24)$$

$$P_{rc} = 0.0269 \text{ m} (1143.14 \text{ N}) \left( 54.509 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) 2$$

$$P_{rc} = 3.35 \text{ kW}$$

$$P_{rc} = 4.49 \text{ Hp}$$

**q. Torque de los rodillos**

$$T_r = \frac{P_{rc}}{\omega_r} \quad (25)$$

$$T_r = \frac{3350 \text{ W}}{54.509 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_r = 61.46 \text{ Nm}$$

**3.1.4 Dimensionamiento de la matriz**

**a. Velocidad angular**

El valor del radio de la matriz es de 0.0895 m, valor que pertenece al radio menor de la tolva.

$$\omega = \frac{v_{tr}}{r_m} \quad (2684)$$

$$\omega = \frac{2.66 \frac{m}{s}}{0.0895 m}$$

$$\omega = 29.72 \frac{rad}{s}$$

**b. Ángulo de inclinación**

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{L}{r_r} \right) \quad (27)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{0.0269 m}{0.0489 m} \right)$$

$$\theta = 28.81^\circ$$

$$\theta = 0.50 rad$$

**c. Tiempo de extrusión**

$$t_e = \frac{\theta}{\omega} \quad (28)$$

$$t_e = \frac{0.50 rad}{29.72 rad/s}$$

$$t_e = 0.009 s$$

**d. Aceleración de extrusión**

Se toma 210 kg como dato de la masa del aserrín.

$$a_e = \frac{f_c - f_f}{m_{as}} \quad (29)$$

$$a_e = \frac{1143.14 N - 800 N}{210 kg}$$

$$a_e = 1.63 m/s^2$$

**e. Velocidad de extrusión**

$$v_e = v_o + (a_e t_e) \quad (30)$$

$$v_e = 0 + \left( 1.63 \frac{m}{s^2} (0.009 s) \right)$$

$$v_e = 0.0150 \frac{m}{s}$$

**f. Número de agujeros en la matriz**

$$N_a = \frac{Q}{v_e N_r A_o} \quad (31)$$

$$N_a = \frac{9.33 (10^{-5}) \frac{m^3}{s}}{0.0150 \frac{m}{s} (2) 5.027 (10^{-5}) m^2}$$

$$N_a = 61.57$$

$$N_a \approx 60 \text{ orificios}$$

**3.1.5 Dimensionamiento de las cuchillas de corte**

**a. Superficie total**

Se utilizará 3 filas de orificios para la matriz.

$$S = \pi r_p^2 N o_m \quad (32)$$

$$S = \pi (0.004 m)^2 (3)$$

$$S = 0.000151 m^2$$

**b. Potencia de las cuchillas**

Por medio del ANEXO 4 se obtiene la relación de Poisson de la madera  $\nu_p = 0.25$  necesaria para la determinación de la resistencia de la biomasa.

$$P_{cc} = \frac{\gamma_{as}}{2(1 + \nu_p)} S v_e N_c \quad (33)$$

$$P_{cc} = \frac{10 \text{ MPa}}{2(1 + 0.25)} (0.000151 \text{ m}^2) 0.0150 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2)$$

$$P_{cc} = 0.01820 \text{ KW}$$

$$P_{cc} = 0.024 \text{ HP}$$

### c. Torque de las cuchillas de corte

$$T_{cc} = \frac{P_{cc}}{\omega} \quad (34)$$

$$T_{cc} = \frac{18.20 \text{ W}}{29.72 \text{ rad/s}}$$

$$T_{cc} = 0.612 \text{ Nm}$$

## 3.1.6 Dimensionamiento del sistema de transmisión

### Análisis de la potencia calculada

Una vez determinadas las potencias necesarias para que la materia prima se comprima y soporte el corte sin sufrir deformaciones, se calcula la potencia total que requiere el motor.

#### a. Potencia Total

$$P_{Total} = P_{rc} + P_{cc} \quad (35)$$

$$P_{Total} = 3.35 \text{ HP} + 0.024 \text{ HP}$$

$$P_{Total} = 4.521 \text{ HP}$$

#### b. Potencia de Diseño

Por medio del ANEXO 5 se determina que el factor de servicio K es de 1.1.

$$P_D = P_{Total} K \quad (36)$$

$$P_D = 4.521 \text{ HP (1.1)}$$

$$P_D = 4.973 \text{ HP}$$

Se selecciona un motor que genere una potencia de 5 HP, en el ANEXO 6 se indica la ficha técnica del motor de marca WEG a implementar en el equipo.

$$P_{MOTOR} = 5 \text{ HP}$$

$$P_{MOTOR} = 3.7 \text{ KW}$$

$$w_{MOTOR} = 1715 \text{ RPM}$$

$$w_{MOTOR} = 181.165 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

### c. Torque o Momento Torsor del motor

$$T_{MOTOR} = \frac{P_{MOTOR}}{w_{MOTOR}} \quad (37)$$

$$T_{MOTOR} = \frac{3700 \text{ W}}{181.165 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_{MOTOR} = 20.42 \text{ Nm}$$

Una vez determinada la potencia necesaria que requiere el motor a instalar en el equipo, se dimensionará las diferentes partes encargadas de la transmisión de potencia desde el motor hasta los rodillos.

### d. Relación de reducción de velocidad

El motor para implementar en el prototipo trabaja a 1715 RPM para lo cual requiere una reducción de velocidad para un correcto funcionamiento de los rodillos.

$$n_2 = 54.509 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \left( \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \right) \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 520.159 \text{ RPM}$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (38)$$

$$i = \frac{1715 \text{ RPM}}{520.15 \text{ RPM}}$$

$$i = 3.30$$

### **Cálculo de bandas y poleas**

Según la gráfica del ANEXO 7 se selecciona el perfil de la correa más adecuado con relación a la potencia de diseño y al número de revoluciones por minuto de la polea menor. Determinando que la banda que se ajusta a los requerimientos es tipo A.

#### **e. Diámetros de las poleas**

Para la correcta selección de los diámetros se debe escoger una combinación de poleas que satisfagan los requerimientos determinados (relación de velocidad y diámetros aproximados). Por medio del ANEXO 8 se selecciona el diámetro de la polea montada en el motor según la potencia.

$$d_{min} = 3 \text{ pulg}$$

La combinación de poleas motriz e impulsada recomendada por el fabricante se obtiene por medio del ANEXO 9.

$$d = 3 \text{ pulg} = 76.2 \text{ mm}$$

$$d \geq d_{min}$$

$$3 \text{ pulg} \geq 3 \text{ pulg}$$

$$D = d i \quad (39)$$

$$D = 3 \text{ pulg} (3.32)$$

$$D = 9.96 \text{ pulg} \approx 10 \text{ pulg}$$

$$D = 254 \text{ mm}$$



**f. Distancia entre centros de las poleas mínima**

$$D_{min} = 0.7 (d + D) \quad (40)$$

$$D_{min} = 0.7 (76.2 \text{ mm} + 254 \text{ mm})$$

$$D_{min} = 231.14 \text{ mm}$$

**g. Distancia entre centros de las poleas máxima**

$$D_{max} = 2 (d + D) \quad (41)$$

$$D_{max} = 2 (76.2 \text{ mm} + 254 \text{ mm})$$

$$D_{max} = 660.4 \text{ mm}$$

**h. Distancia de referencia**

$$D_{min} < D_0 < D_{max} \quad (42)$$

$$D_0 = 330.2 \text{ mm}$$

$$D_0 = 13 \text{ pulg}$$

En el ANEXO 10 del catálogo del fabricante se obtiene la designación de la banda A128 a usar en la transmisión. Obteniendo los siguientes datos de corrección:

$$f_{LyA} = 0.83$$

$$P_{BD} = 3.24 \frac{HP}{\text{banda}}$$

**i. Potencia corregida por banda**

$$P_{CORREGIDA} = P_{BD} f_{LyA} \quad (43)$$

$$P_{CORREGIDA} = 3.24 \frac{HP}{\text{banda}} (0.83)$$

$$P_{CORREGIDA} = 2.69 \frac{HP}{banda}$$

**j. Número de bandas**

$$Z = \frac{P_D}{P_{CORREGIDA}} \quad (44)$$

$$Z = \frac{4.973 \text{ HP}}{2.69 \frac{HP}{banda}}$$

$$Z = 1.84 \text{ banda} \approx 2 \text{ bandas}$$

**k. Longitud de la banda**

$$L_0 \approx 2 D_0 + \frac{\pi (D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4 D_0} \quad (45)$$

$$L_0 \approx 2 (330.2 \text{ mm}) + \frac{\pi (254 \text{ mm} + 76.2 \text{ mm})}{2} + \frac{(254 \text{ mm} - 76.2 \text{ mm})^2}{4 (330.20 \text{ mm})}$$

$$L_0 \approx 1203.011 \text{ mm}$$

$$L_0 \approx 47.36 \text{ pulg}$$

La selección de la banda adecuada para el equipo se da por medio del ANEXO 11 obtenido del catálogo del fabricante.

*Banda seleccionada: A – 54*

*Longitud = 1372 mm*

**l. Ángulo de contacto de la banda**

$$\alpha_1 = 2 \cos^{-1} \left( \frac{D - d}{2D_0} \right) \quad (46)$$

$$\alpha_1 = 2 \cos^{-1} \left( \frac{254 \text{ mm} - 76.2 \text{ mm}}{2 (330.2 \text{ mm})} \right)$$

$$\alpha_1 = 148.73^\circ$$

## Selección de poleas y bandas por catalogo

Posteriormente a determinación del sistema de transmisión la selección de las poleas conductora y conducida se rigen por medio del uso de un catálogo de fabricante como se indica en el ANEXO 12. Dando en la selección los siguientes elementos que compondrán el sistema de transmisión de potencia, la nomenclatura de las poleas se la realiza en base al ANEXO 13 brindado por el fabricante. En la Tabla 22 se detalla:

Tabla 22. Elementos de transmisión seleccionados por catálogo.

Elemento	Elemento por catalogo
Polea conductora	2 A 30
Polea conducida	2 A 100
Banda de transmisión tipo A	A -54

## Análisis de tensiones de la banda

La Figura 17 muestra un esquema grafico de las tensiones ejercidas por la correa, obteniendo los siguientes resultados para los ramales tenso y flojo.

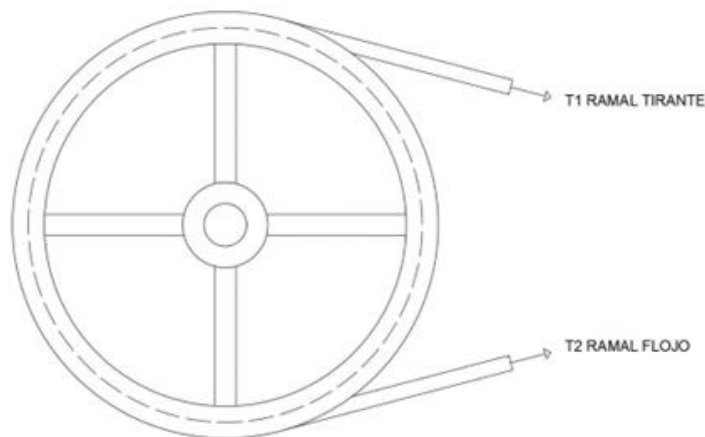


Figura 17. Tensiones en los ramales de la banda.

## m. Velocidad lineal en la polea conductora

$$V_{Pd} = w_{MOTOR} \frac{d}{2} \quad (47)$$

$$V_{Pd} = 181.165 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \left( \frac{0.0762 \text{ m}}{2} \right)$$

$$V_{Pd} = 6.90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**n. Velocidad lineal en la polea conducida**

$$V_{PD} = n_2 \frac{D}{2} \quad (48)$$

$$V_{PD} = 54.509 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \left( \frac{0.254 \text{ m}}{2} \right)$$

$$V_{PD} = 6.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**o. Fuerza de tensado**

$$F_T = \frac{P_{MOTOR}}{V} \quad (49)$$

$$F_T = \frac{3700 \text{ W}}{6.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$F_T = 534.68 \text{ N}$$

**p. Tensado inicial**

Para el cálculo de este valor es necesario conocer el coeficiente de fricción, para la banda tipo A se obtiene un valor medio entre 0.7 y 0.9 por medio del ANEXO 14.

$$\delta = 0.8$$

$$T_0 = \frac{F_T}{2\delta} \quad (50)$$

$$T_0 = \frac{534.68 \text{ N}}{2 (0.8)}$$

$$T_0 = 334.17 \text{ N}$$

**q. Fuerza de tensión en el ramal tirante**

$$T_1 = \frac{F_T}{2} + T_0 \quad (51)$$
$$T_1 = \frac{534.68 \text{ N}}{2} + 334.17 \text{ N}$$
$$T_1 = 601.51 \text{ N}$$

**r. Fuerza de tensión en el ramal flojo**

$$T_2 = T_0 - \frac{F_T}{2} \quad (52)$$
$$T_2 = 334.17 \text{ N} - \frac{534.68 \text{ N}}{2}$$
$$T_2 = 66.83 \text{ N}$$

**3.1.7 Dimensionamiento del eje principal**

Para el correcto diseño del eje es necesario realizar un análisis de cargas que soportará el elemento con la finalidad de determinar diagramas de fuerza cortante, momento flector y torque. En la Figura 18 se indica la representación gráfica del eje y los elementos que porta.

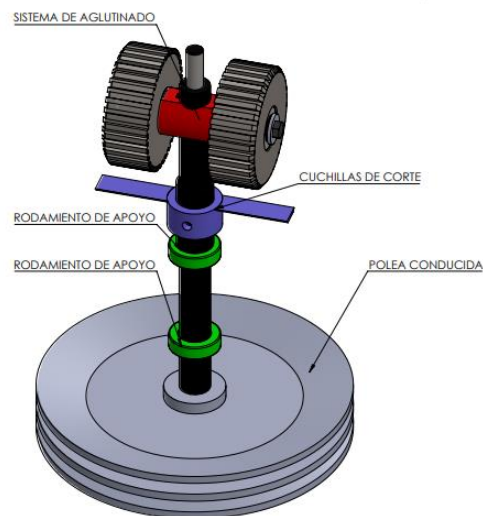


Figura 18. Representación gráfica del eje principal.

Para la determinación de los diagramas es necesario realizar un análisis de cargas como se muestra en la Figura 19.

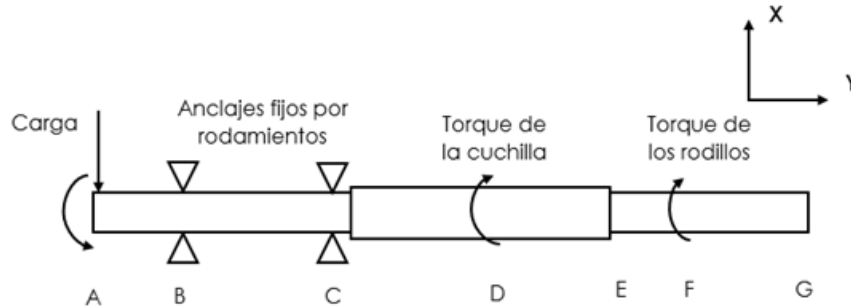


Figura 19. Análisis de cargas del eje principal.

Con el uso del diagrama de cuerpo libre del eje mostrado en la Figura 20 se determina las reacciones en cada apoyo.

$$F_m = T_1 + T_2 \quad (53)$$

$$F_m = 601.51 \text{ N} + 66.83 \text{ N}$$

$$F_m = 668.34 \text{ N}$$

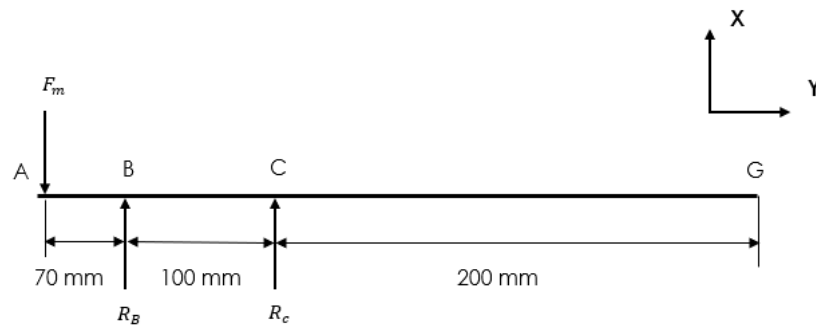


Figura 20. Diagrama de cuerpo libre del eje principal.

$$\sum M_C = 0$$

$$-0.10 \text{ m}(R_B) + 0.17 \text{ m}(F_m) = 0$$

$$R_B = \frac{0.17 \text{ m}(F_m)}{0.10 \text{ m}}$$

$$R_B = \frac{0.17 \text{ m} (668.34 \text{ N})}{0.10 \text{ m}}$$

$$R_B = 1136.17 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-F_m + R_B + R_C = 0$$

$$R_C = F_m - R_B$$

$$R_C = 668.34 \text{ N} - 1136.7 \text{ N}$$

$$R_C = -467.83 \text{ N}$$

$$R_B = 467.83 \text{ N} \uparrow$$

### Fuerzas cortantes y Momento flector del eje principal

El cálculo de estas magnitudes es indispensable al momento de determinar el correcto diámetro del eje. En las Figuras 21 y 22 se muestran representaciones graficas para su obtención.

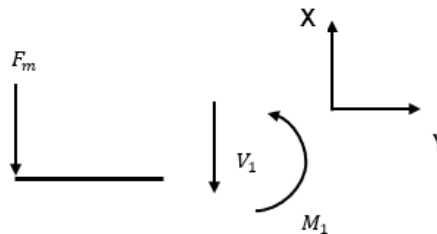


Figura 21. Representación del primer corte en el eje principal.

$$\sum F_x = 0$$

$$-F_m - V_1 = 0$$

$$V_1 = -F_m$$

$$V_1 = -668.34 \text{ N}$$

$$V_1 = 668.34 \text{ N} \uparrow$$

$$\sum M = 0$$

$$M_1 + x(F_m) = 0$$

$$M_1 = -(668.34 \text{ N})x$$

$$0 \text{ m} \leq x \leq 0.07 \text{ m}$$

$$M_1 = -(668.34 \text{ N}) 0.07 \text{ m}$$

$$M_1 = -46.78 \text{ Nm}$$

$$M_1 = 46.78 \text{ Nm} \curvearrowright$$

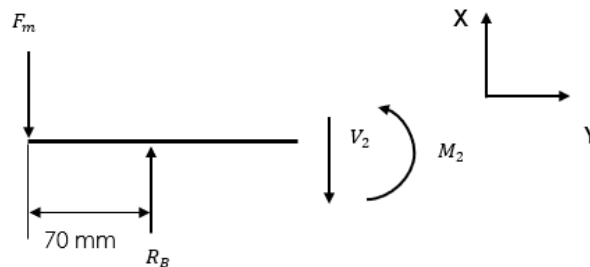


Figura 22. Representación del segundo corte en el eje principal.

$$\sum F_x = 0$$

$$-F_m - V_2 + R_B = 0$$

$$V_2 = R_B - F_m$$

$$V_2 = 1136.17 \text{ N} - 668.34 \text{ N}$$

$$V_2 = 467.83 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$-x(R_B) + (0.07 \text{ m} + x)(F_m) + M_2 = 0$$

$$-x(1136.17 \text{ N}) + (0.07 \text{ m} + x)(668.34 \text{ N}) + M_2 = 0$$

$$-x(1136.17 \text{ N}) + 46.78 \text{ Nm} + x(668.34 \text{ N}) + M_2 = 0$$

$$M_2 = -46.87 \text{ Nm} - (467.83 \text{ N})x$$



$$0.07 \text{ m} \leq x \leq 0.10 \text{ m}$$

$$M_2 = 46.87 \text{ Nm} - (467.83 \text{ N})(0.10 \text{ m})$$

$$M_2 = 0 \text{ Nm}$$

### Graficas de Fuerza Cortante, Momento Torsor y Torque

Con la finalidad de validar los valores obtenidos analíticamente la aplicación de software especializado permite una comprobación adecuada. En la siguiente Figura 23 se muestra la deformación del eje principal, las reacciones obtenidas por los soportes en los rodamientos se muestran en la Figura 24, mientras que en la Figura 25 se indica la gráfica de fuerza cortante, el momento torsor está representada en la Figura 26 y finalmente en la Figura 26 se muestra el diagrama de torque del eje.

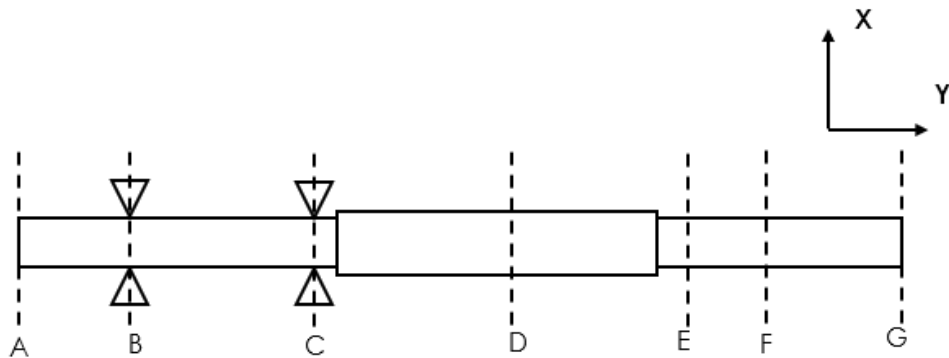


Figura 23. Deformación del eje principal.

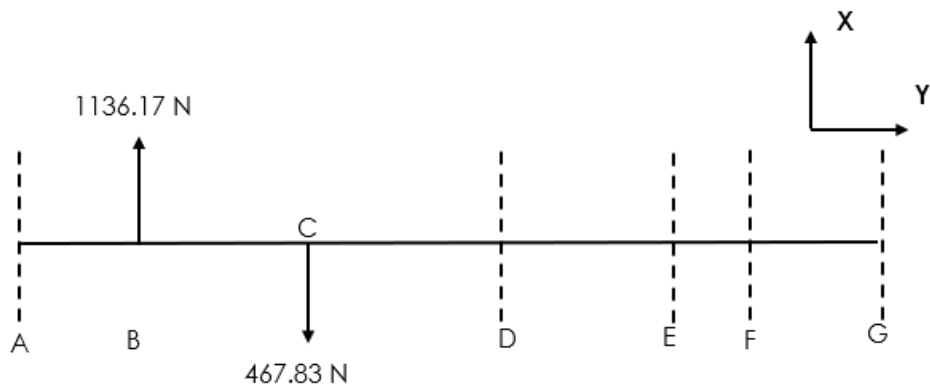


Figura 24. Reacciones en los apoyos del eje principal.

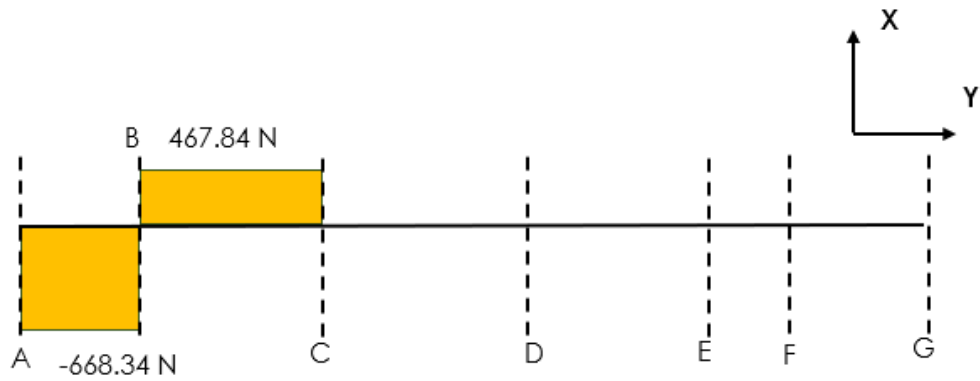


Figura 25. Diagrama de fuerza cortante en el eje principal.

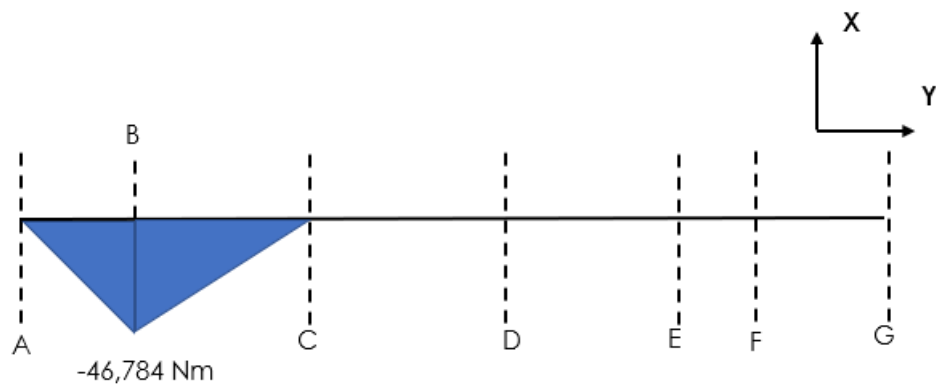


Figura 26. Diagrama de momento flector en el eje principal.

### Porcentajes de cada Torque Resistente

Como indica la tercera ley de Newton cada acción tiene su reacción para el caso del eje principal el torque motriz que ingresa al eje debe tener torque o torques que contrarresten el que inicial. En la Figura 27 se muestra el diagrama de torque.

#### a. Torque en la Polea Conducida

$$T_{POLEA} = \frac{(T_1 - T_2) D}{2} \quad (54)$$

$$T_{POLEA} = \frac{(601.51 \text{ N} - 66.83 \text{ N}) 0.254 \text{ m}}{2}$$

$$T_{POLEA} = 67.90 \text{ Nm}$$

**b. Torque del Sistema de Aglutinado**

$$T_{SisAglu} = 67.288 \text{ Nm}$$

$$\frac{T_r}{100} (67.90) = 67.288 \text{ Nm}$$

$$T_r = 99.09 \%$$

**c. Torque de las Cuchillas**

$$T_{cc} = 0.612 \text{ Nm}$$

$$\frac{T_{cc}}{100} (67.90) = 0.612 \text{ Nm}$$

$$T_r = 0.91 \%$$

**d. Comprobación**

$$T_{SISTEMA} = 0$$

$$T_{POLEA} - T_{cc} - T_{SisAglu} = 0$$

$$67.90 \text{ Nm} - 0.612 \text{ Nm} - 67.288 \text{ Nm} = 0$$

$$0 = 0$$

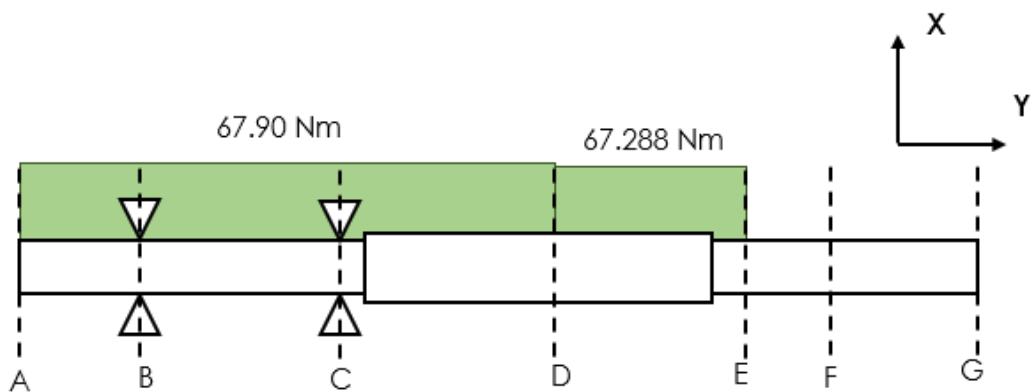


Figura 27. Diagrama de torque en el eje principal.

Cuando un eje gira con flexión y torsión constante se asume un esfuerzo flexionante completamente reversible y a la vez una torsión igualmente constante. [25]

$$M_m = 0; T_a = 0$$

Obteniendo el siguiente modelo matemático para la determinación del diámetro del eje principal.

Criterio de ED – Goodman

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 n}{\pi} \left( \frac{1}{S_e} \sqrt{4 (K_f M_a)^2} + \frac{1}{S_{ut}} \sqrt{3 (K_{fs} T_m)^2} \right)} \quad (55)$$

### Determinación de los coeficientes

#### a. Factor de seguridad

El factor de seguridad se relaciona con el material con el que será fabricado el cual se determinó en el capítulo II. El acero AISI SAE 1018 al ser un material dúctil se obtiene un factor de seguridad de 2 según e ANEXO 15.

$$n = 2$$

#### b. Factor de modificación por la condición superficial

Según el ANEXO 16 indica las siguientes propiedades del acero AISI SAE 1018.

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

$$S_{ut} = 440 \text{ MPa}$$

Los valores de a y b se obtiene por medio del ANEXO 17.

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (57)$$

$$k_a = 4.51 (588)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.832$$

**c. Factor de modificación por el tamaño**

Para realizar una primera iteración se asume un valor inicial de 0.9, siendo corregido en las posteriores iteraciones.

$$k_b = 0.9$$

**d. Factor de modificación por carga**

Las cargas se encuentran a flexión.

$$k_c = 1$$

**e. Factor de modificación por temperatura**

La temperatura de trabajo será ambiente.

$$k_d = 1$$

**f. Factor de confiabilidad**

El acero ASIS SAE 1018 Al ser un material conocido comercialmente para la fabricación de ejes de transmisión se trabaja con una confiabilidad del 99.9%, en el ANEXO 18 se indica los factores restantes.

$$k_e = 1 - 0.08 z_a \tag{59}$$

$$k_e = 1 - 0.08 (3.091)$$

$$k_e = 0.753$$

**g. Límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa**

$$\acute{S}_e = 0.5 S_{ut} \tag{60}$$

$$\acute{S}_e = 0.5 (440 \text{ MPa})$$

$$\acute{S}_e = 220 \text{ MPa}$$

#### **h. Límite de resistencia a la fatiga**

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e \acute{S}_e \quad (56)$$

$$S_e = 0.832 (0.9)(1)(1)(0.753)(220 \text{ MPa})$$

$$S_e = 124.05 \text{ MPa}$$

#### **i. Concentradores de esfuerzos**

Para la primera iteración se asume valores para los concentradores de esfuerzos según el ANEXO 20, posteriormente para las nuevas iteraciones requerirá el cálculo con los modelos matemáticos detallados en el capítulo I.

$$K_f = 2.7; K_{fs} = 2.2$$

Posteriormente a la primera iteración los valores de  $K_t$  y  $K_{ts}$  se obtiene por medio de los ANEXOS 20 y 21. Para la obtención del valor de  $\sqrt{a}$  se muestra el ANEXO 22 para flexión y para torsión.

#### **3.1.7.1 Dimensionamiento del eje principal punto B**

En el punto B actúa un momento y un torque detallados a continuación que deben ser tomados en cuenta para las iteraciones. En la Tabla 23 se detalla las diferentes iteraciones que se realizó para la determinación de un correcto diámetro mínimo del eje principal.

$$M_a = 46.78 \text{ Nm}; T_m = 67.90 \text{ Nm}$$

Tabla 23. Iteraciones del punto B del eje principal.

	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4
n	2	2	2	2
Sy [MPa]	370	370	370	370
Sut [MPa]	440	440	440	440
Ma [Nm]	46,78	46,78	46,78	46,78
Tm [Nm]	67,9	67,9	67,9	67,9
ka	0,832	0,832	0,832	0,832
kb	0,900	0,682	0,684	0,684
kc	1	1	1	1
kd	1	1	1	1
ke	0,753	0,753	0,753	0,753
S'e [MPa]	220	220	220	220
Se [MPa]	124,05	94,00	94,26	94,30
r/d	0,02	0,017	0,018	0,018
D ext/d	1,25	1,25	1,25	1,25
$\sqrt{a}$ Flexión		0,21	0,21	0,21
$\sqrt{a}$ Torsión		0,29	0,29	0,29
q		0,686	0,686	0,686
q cort		0,650	0,650	0,650
Kt	2,7	2,450	2,400	2,400
Kts	2,2	2,100	2,150	2,150
Kf	2,7	1,994	1,960	1,960
Kfs	2,2	1,715	1,747	1,747
d [mm]	28,83	28,10	27,99	27,98
d [m]	0,0288	0,0281	0,0280	0,0280

Según los resultados iterados por cuatro ocasiones indica que el diámetro mínimo para resistir los requerimientos es de 27.98 mm siendo aproximando a 30 mm.

### 3.1.7.2 Dimensionamiento del eje principal punto C

En el punto C el dimensionamiento debe ser realizado tomando en cuenta el torque aplicado en dicha sección y los concentradores de esfuerzos provocados por los redondeos. En la Tabla 24 se detalla las iteraciones realizadas para la determinación del diámetro mínimo.

$$T_m = 67.90 Nm$$

Tabla 24. Iteraciones del punto C del eje principal.

	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4
n	2	2	2	2
Sy [MPa]	370	370	370	370
Sut [MPa]	440	440	440	440
Ma [Nm]	0	0	0	0
Tm [Nm]	67,9	67,9	67,9	67,9
ka	0,832	0,832	0,832	0,832
kb	0,900	0,717	0,730	0,728
kc	1	1	1	1
kd	1	1	1	1
ke	0,753	0,753	0,753	0,753
S'e [MPa]	220	220	220	220
Se [MPa]	124,05	98,77	100,57	100,40
r/d	0,02	0,055	0,065	0,064
D ext/d	1,25	1,25	1,25	1,25
$\sqrt{a}$ Flexión		0,21	0,21	0,21
$\sqrt{a}$ Torsión		0,29	0,29	0,29
q		0,686	0,686	0,686
q cort		0,650	0,650	0,650
Kt	2,700	1,650	1,750	2,500
Kts	2,200	1,500	1,600	1,620
Kf	2,700	1,446	1,514	2,029
Kfs	2,200	1,325	1,390	1,403
d [mm]	18,16	15,34	15,58	15,63
d [m]	0,0182	0,0153	0,0156	0,0156
D ext [mm]	22,70	19,17	19,48	19,54
D ext [m]	0,023	0,019	0,019	0,020

Dado que el diámetro mayor solamente soporta un torque cualquier diámetro mayor a 15.63 mm soportara óptimamente la exigencias del diseño, el diámetro seleccionado para dicha sección es de 35 mm.

### 3.1.7.3 Dimensionamiento del eje principal punto E

En el punto E el dimensionamiento debe ser realizado tomando en cuenta el torque aplicado en dicha sección y los concentradores de esfuerzos provocados por la ranura del chavetero (ANEXO 23). En la Tabla 25 se detalla las iteraciones realizadas para la determinación del diámetro mínimo.

$$T_m = 67.288 \text{ Nm}$$



Tabla 25. Iteraciones del punto E del eje principal.

	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4
n	2	2	2	2
Sy [MPa]	370	370	370	370
Sut [MPa]	440	440	440	440
Ma [Nm]	0	0	0	0
Tm [Nm]	67,288	67,288	67,288	67,288
ka	0,832	0,832	0,832	0,832
kb	0,900	0,717	0,717	0,717
kc	1	1	1	1
kd	1	1	1	1
ke	0,753	0,753	0,753	0,753
S'e [MPa]	220	220	220	220
Se [MPa]	124,05	98,80	98,80	98,80
r/d	0,02	0,028	0,028	0,028
D ext/d	1,25	1,25	1,25	1,25
$\sqrt{a}$ Flexión		0,21	0,21	0,21
$\sqrt{a}$ Torsión		0,29	0,29	0,29
q		0,686	0,686	0,686
q cort		0,650	0,650	0,650
Kt	2,7	1,950	1,950	1,950
Kts	2,2	2,850	2,850	2,850
Kf	2,7	1,651	1,651	1,651
Kfs	2,2	2,202	2,202	2,202
d [mm]	18,11	18,11	18,11	18,11
d [m]	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181

Dado que el diámetro mayor solamente soporta un torque cualquier diámetro mayor a 18.11 mm soportara óptimamente la exigencias del diseño, el diámetro seleccionado para dicha sección es de 30 mm.

### 3.1.8 Dimensionamiento del eje de los rodillos

El eje del rodillo soporta la fuerza de compresión ejercida por el rodillo y la reacción de producida por el empotramiento. En la Figura 28 se indica las fuerzas que actúan en el eje.

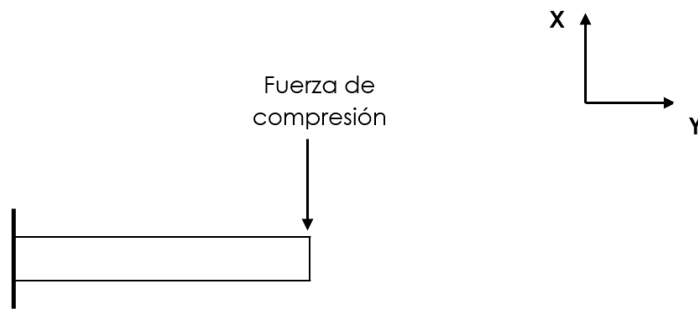


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje secundario.

En la Figura 29 y 30 se indica el diagrama de cuerpo libre con sus respectivos cortes para la obtención de las gráficas de fuerza cortante y momento torsor.

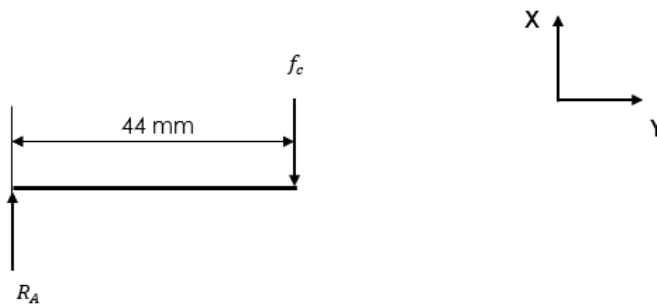


Figura 29. Representación del primer corte eje secundario.

$$\sum F_x = 0$$

$$R_a - f_c = 0$$

$$R_a = f_c$$

$$R_a = 1143.26 \text{ N}$$

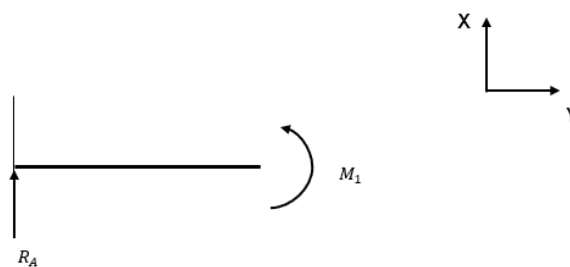


Figura 30. Representación del segundo corte en el eje secundario.

$$\sum M_1 = 0$$

$$-x(R_A) + M_1 = 0$$

$$M_1 = (R_A) x$$

$$M_1 = (1143.26 \text{ N})0.044 \text{ m}$$

$$M_1 = 50.30 \text{ Nm}$$

### Graficas de Fuerza Cortante y Momento Torsor

En la Figura 31 se visualiza la deformación que se genera en el eje de los rodillos al momento de aplicar la fuerza de compresión. En la Figura 32 se obtiene la reacción que se genera en el punto A al momento de aplicar la fuerza de compresión. En la Figura 33 se observa el diagrama de fuerza cortante mientras que en la Figura 34 se presenta el momento generado en el eje del rodillos, dato necesario para comparar con el resultado obtenidos analíticamente.

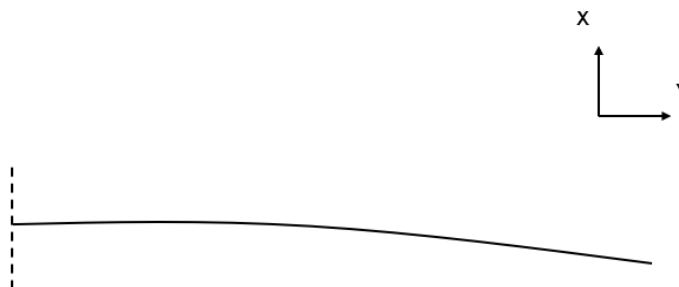


Figura 31. Deformación del eje secundario.



Figura 32. Reacciones obtenidas en el eje secundario.



Figura 33. Diagrama de fuerza cortante del eje secundario.

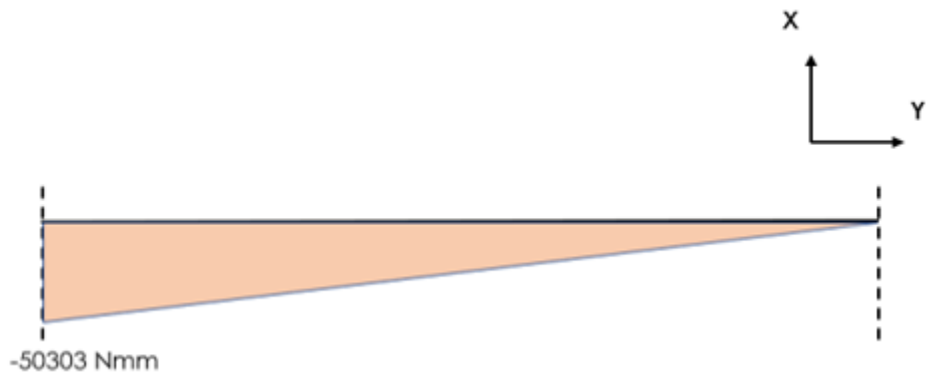


Figura 34. Diagrama de momento flector del eje secundario.

**a. Inercia del rodillo**

$$I_{rodillo} = \frac{m_{rodillo} r_{rodillo}^2}{2} \tag{66}$$

$$I_{rodillo} = \frac{2.36 \text{ kg} (0.049 \text{ m})^2}{2}$$

$$I_{rodillo} = 0.002833 \text{ kg m}^2$$

**b. Aceleración de giro**

$$\alpha = \frac{\omega_r}{\frac{(60 \text{ s})(1 \text{ RPM})}{Vr}} \tag{67}$$

$$\alpha = \frac{54.51 \frac{rad}{s}}{\frac{(60 s)(1 RPM)}{520.52 RPM}}$$

$$\alpha = 472.89 \frac{rad}{s^2}$$

**c. Par de torsión**

$$T = I_{rodillo} \alpha \tag{68}$$

$$T = 0.002833 \text{ kg m}^2 \left( 472.89 \frac{rad}{s^2} \right)$$

$$T = 1.339 \text{ Nm}$$

**d. Diámetro del eje de los rodillos**

Los valores obtenidos de las gráficas son los siguientes:

- Torque máximo en el eje secundario de 1.339 Nm
- Momento máximo en el eje de 50.30 Nm.

Debido a que el eje es del mismo material que el eje principal se asume los mismos datos para la primera iteración, sin embargo, como se está analizando un eje sin cambio de sección se elimina las ecuaciones que hacen referencia al diámetro exterior. Con los datos asumidos para la primera iteración se selecciona en el ANEXO 23 los valores de la sensibilidad de la muesca a flexión y a torsión.

Aplicando el mismo principio que en el eje principal el cálculo del diámetro para el eje secundario se obtendrá después de las siguientes iteraciones indicadas en a Tabla 25.

Tabla 26. Iteraciones del eje de los rodillos.

	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4
n	2	2	2	2
Sy [MPa]	370	370	370	370
Sut [MPa]	440	440	440	440
Ma [Nm]	50.3	50.3	50.3	50.3
Tm [Nm]	1.339	1.339	1.339	1.339
ka	0.832	0.832	0.832	0.832
kb	0.900	0.718	0.703	0.697
kc	1	1	1	1
kd	1	1	1	1
ke	0.753	0.753	0.753	0.753
S'e [MPa]	294	294	294	294
Se [MPa]	165.77	132.31	129.42	128.39
r/d	0.02	0.056	0.046	0.043
q	0.600	0.400	0.400	0.400
q cort	0.7	0.500	0.500	0.500
Kt	2.7	2.700	2.700	2.700
Kts	2.2	2.2	2.2	2.2
Kf	2.02	1.680	1.680	1.680
Kfs	1.84	1.600	1.600	1.600
d [mm]	17.75	21.82	23.52	23.69
d [m]	0.017753384	0.02181759	0.023520223	0.0236938

Según los resultados iterados por cuatro ocasiones indica que el diámetro óptimo para resistir la carga que se aplica en los rodillos es de 23.69 mm siendo aproximado a 25 mm

### 3.1.9 Dimensionamiento de la chaveta para el eje principal

Para seleccionar las medidas de la chaveta se seleccionará según la norma UNE 17102 que se encuentra descrita en el ANEXO 24. El eje principal tiene un diámetro de 17 mm, se escoge una chaveta con las siguientes dimensiones,  $b = 5$  mm y  $h = 5$  mm, como indica la Figura 35.

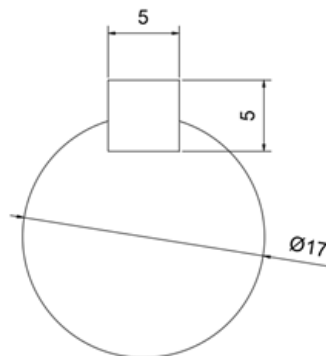


Figura 35. Dimensiones de la chaveta para el eje principal.

**a. Longitud necesaria de chaveta sometida a cizallamiento**

Se utiliza el coeficiente de seguridad  $n_s$  de 2 y el momento torsor de la polea conducida:

$$l = \frac{4 T n_s}{D b S_y} \quad (70)$$
$$l = \frac{4 (67.90 \text{ Nm}) 2}{0.017 \text{ m} (0.005 \text{ m}) 370 (10^6) \text{ Pa}}$$
$$l = 0.0172 \text{ m}$$

**b. Longitud necesaria de chaveta sometida a aplastamiento**

$$l = \frac{4 T n_s}{D h S_y} \quad (71)$$
$$l = \frac{4 (67.90 \text{ Nm}) 2}{0.017 \text{ m} (0.005 \text{ m}) 370 (10^6) \text{ Pa}}$$
$$l = 0.0172 \text{ m}$$

Para seleccionar la dimensión de la chaveta se realiza en función del espacio para el acople por lo que considerando las longitudes sometidas a cizallamiento y aplastamiento se tendrá las siguientes medidas:  $b = 5 \text{ mm}$ ,  $h = 5 \text{ mm}$ ,  $l = 85 \text{ mm}$ .

**c. Fallo por cizallamiento**

La fuerza de corte sobre la chaveta debido al torsor de la polea conducida será:

$$F = \frac{2 T}{D} \quad (72)$$
$$F = \frac{2 (67.90 \text{ Nm})}{0.017 \text{ m}}$$
$$F = 7.988 \text{ kN}$$

### Tensión de corte

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{73}$$

$$\tau = \frac{7.988 \text{ kN}}{0.005 \text{ m} (0.085 \text{ m})}$$

$$\tau = 18.795 \text{ MPa}$$

### Tensión de compresión

$$\sigma_{apl} = \frac{F}{A} \tag{74}$$

$$\sigma_{apl} = \frac{7.988 \text{ kN}}{0.005 \text{ m} (0.085 \text{ m})}$$

$$\sigma_{apl} = 18.795 \text{ MPa}$$

### 3.1.10 Selección de rodamientos para los ejes

Los rodamientos permiten mantener la potencia y velocidad que transmite el motor hacia el eje principal, en el sistema existen 3 rodamientos que se distribuyen a través del eje, estos rodamientos se seleccionaron mediante el catálogo de rodamientos SKF. La vida útil especificada se selecciona por el funcionamiento de la máquina utilizando la Tabla 26.

Tabla 27. Vida útil especificada. [36]

Tabla 1	
Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Maquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000



Se selecciono una vida útil de 30000 debido al funcionamiento de la máquina.

### a. Eje principal

Los datos para la selección del rodamiento son:

- Velocidad de giro: 520.159 rpm
- Diámetro del eje: 30 mm
- Carga radial: 668.34 N

Comenzamos con la selección del rodamiento, para este caso se seleccionó el rodamiento rígido de una hilera de bolas 61906 del catálogo SKF como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 28. Selección de rodamientos SKF. [36]

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite <sup>1)</sup>		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado <sup>1)</sup>
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,17	62/28	-
	68	18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,3		
30	42	7	4,49	2,9	0,146	-	9 500	0,025	61806-2RS1	-
	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	16 000	0,025	61806-2RZ	-
	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	61806	-
	47	9	7,28	4,55	0,212	-	8 500	0,051	61906-2RS1	-
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	15 000	0,051	61906-2RZ	-
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	61906	-

### b. Vida nominal básica del rodamiento

La capacidad de carga dinámica del rodamiento 61906 es de 7.28 KN.

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60n} \right) \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (75)$$

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60(520.159)} \right) \left( \frac{7.28 \text{ KN}}{0.66834 \text{ KN}} \right)^3$$

$$L_{10h} = 41410.88 \text{ h}$$

**c. Viscosidad nominal**

$$dm = 0.5(d + D) \quad (76)$$

$$dm = 0.5(30 + 47)$$

$$dm = 38.5$$

Con el dato de  $dm$  y el valor de la velocidad de giro pasamos al ANEXO 25 y buscamos el valor de la viscosidad nominal, para este rodamiento el valor es  $V_l = 48 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

**d. Viscosidad real**

Revisando el ANEXO 26, el grado de viscosidad está dado por la ISO VG 46 por lo tanto, la viscosidad real es  $V = 46 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

**e. Condición de lubricación**

$$K = \frac{V}{V_l} \quad (77)$$

$$K = \frac{46 \text{ mm}^2/\text{s}}{48 \text{ mm}^2/\text{s}}$$

$$K = 0.96$$

**f. Factor de contaminación**

Los datos del ANEXO 27 se seleccionan de la columna donde la viscosidad nominal es menor a 100, por lo que el factor de contaminación típica es de  $n_c = 0.2$ .

**g. Factor  $a_{SKF}$**

El valor de  $P_u$  es la carga límite de fatiga que se encuentra en la Tabla de selección de rodamientos.

$$n_c \frac{P_u}{P} = 0.2 \frac{0.212 \text{ KN}}{0.66834 \text{ KN}} \quad (78)$$

$$n_c \frac{P_u}{P} = 0.063$$

Con el valor de la condición de lubricación  $K$  y el valor de  $n_c \frac{P_u}{P}$  buscamos en el ANEXO 28 el factor  $a_{SKF}$  el cual nos da un valor  $a_{SKF} = 1.1$

#### **h. Vida nominal SKF**

Se trabaja con una confiabilidad del 90%, revisando el ANEXO 29, se selecciona un ajuste de la vida útil de  $a_1 = 1$

$$L_{10mh} = a_1 a_{SKF} L_{10h} \quad (79)$$

$$L_{10mh} = 1(1.1) (41410.88 \text{ h})$$

$$L_{10mh} = 45551.97 \text{ h}$$

$$L_{10h} = 45551.97 \text{ h} > 30000 \text{ h} \rightarrow OK$$

La vida del rodamiento es de 45551.97 horas de funcionamiento, al ser mayor que la vida nominal básica cumple con las condiciones requeridas.

#### **i. Eje secundario**

Se enlista los datos que tenemos para la selección del rodamiento.

- Velocidad de giro: 520.51 rpm
- Diámetro del eje: 25 mm
- Carga radial: 1143.14 N

Se seleccionó el rodamiento rígido de una hilera de bolas 6005 del catálogo SKF como se muestra en la siguiente Tabla 28.

Tabla 29. Selección de rodamientos SKF. [36]

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite <sup>1)</sup>		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado <sup>1)</sup>
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
25	37	7	4,36	2,6	0,125	-	11 000	0,022	▶ 61805-2RS1	-
	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	19 000	0,022	▶ 61805-2RZ	-
	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	▶ 61805	-
	42	9	7,02	4,3	0,193	-	10 000	0,045	▶ 61905-2RS1	-
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	18 000	0,045	▶ 61905-2RZ	-
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	▶ 61905	-
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,055	▶ 16005	-
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	▶ 6005	-
	47	12	11,9	6,55	0,275	-	9 500	0,081	▶ 6005-2RSH	6005-RSH

### j. Vida nominal básica del rodamiento

Para el exponente p, según el catálogo SKF, se utiliza el valor de 3 debido a que es un rodamiento de bolas, el valor de la carga radial se la toma de los datos enlistados y la capacidad de carga dinámica del rodamiento se la obtiene de la Tabla 26.

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60n} \right) \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (75)$$

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60(520.51)} \right) \left( \frac{11.9 \text{ KN}}{1.14314 \text{ KN}} \right)^3$$

$$L_{10h} = 36121.21 \text{ h}$$

### k. Viscosidad nominal

$$dm = 0.5(d + D) \quad (76)$$

$$dm = 0.5(25 + 47)$$

$$dm = 36$$

Con el dato de dm y el valor de la velocidad de giro pasamos al ANEXO 25 y buscamos el valor de la viscosidad nominal, para este rodamiento el valor es  $V_l = 45 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

### **l. Viscosidad real**

Revisando el ANEXO 26, el grado de viscosidad está dado por la ISO VG 46 por lo tanto, la viscosidad real es  $V = 46 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

### **m. Condición de lubricación**

$$K = \frac{V}{V_l} \quad (77)$$
$$K = \frac{46 \text{ mm}^2/\text{s}}{45 \text{ mm}^2/\text{s}}$$
$$K = 1.02$$

### **n. Factor de contaminación**

Debido a que la viscosidad nominal tiene un valor menor a 100 se selecciona los valores de la columna izquierda en la tabla del ANEXO 27, donde el factor de contaminación típica es de  $n_c = 0.2$ .

### **o. Factor $a_{SKF}$**

El factor  $a_{SKF}$  para los rodamientos radiales de bolas se lo obtiene aplicando el modelo matemático en el ANEXO 28. El valor de  $P_u$  es la carga límite de fatiga que se encuentra en la Tabla 27 de selección de rodamientos.

$$n_c \frac{P_u}{P} \quad (78)$$
$$n_c \frac{P_u}{P} = 0.2 \frac{0.275 \text{ KN}}{1.14314 \text{ KN}}$$
$$n_c \frac{P_u}{P} = 0.048$$

Por lo tanto, aplicando el valor obtenido previamente y el valor de la condición de lubricación en el ANEXO 28 se tiene como resultado un valor  $a_{SKF} = 0.9$

**p. Vida nominal SKF**

Se trabaja con una confiabilidad del 90%, revisando el ANEXO 29, se selecciona un ajuste de la vida útil de  $a_1 = 1$

$$L_{10mh} = a_1 a_{SKF} L_{10h} \quad (79)$$

$$L_{10mh} = 1 (0.9) (36121.21 h)$$

$$L_{10mh} = 32509.089 h$$

$$L_{10h} = 32509.089 h > 30000 h \rightarrow OK$$

La vida del rodamiento es de 32509.089 horas de funcionamiento, al ser mayor que la vida nominal básica cumple con las condiciones requeridas.

**3.2 Diseño de la máquina en software especializado.**

El modelado y ensamblado de la peletizadora se la realizo por medio de software especializado, permitiendo realizar cambios en el diseño final hasta cumplir normativas de construcción, resistencia del equipo y requerimientos de la empresa. En la Figura 36 se muestra es esquema gráfico.

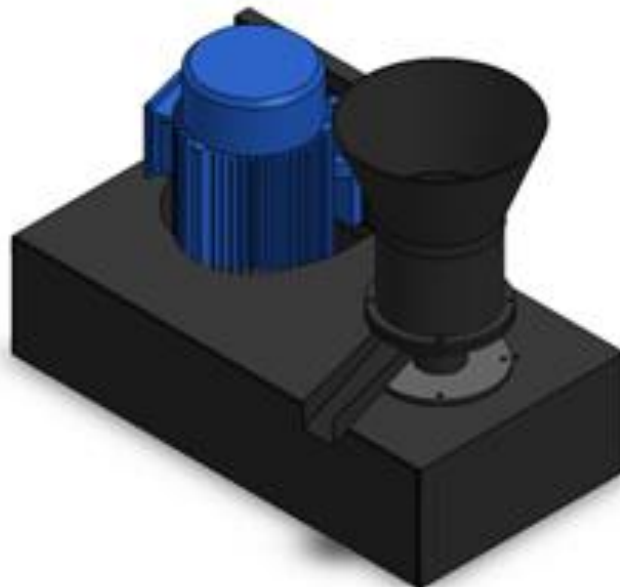


Figura 36. Peletizadora de madera (Esquema).

### 3.3 Simulación de las partes crítica de la máquina por elementos finitos

La peletizadora de madera está sometida a diferentes esfuerzos que podrían causar rupturas de partes o piezas del equipo ocasionando reparaciones y paralización en la producción de pellets en Decor Parquet. Con la finalidad de comprobar el dimensionamiento realizado anteriormente se detallan los elementos que posiblemente estén en riesgo de daño y la determinación del factor de seguridad.

#### 3.3.1 Estructura metálica

La estructura metálica o mesa de la máquina es el soporte principal del equipo al recibir todo el peso las piezas que conforma el prototipo, en la Figura 37 se muestra el modelado en softwares especializado.

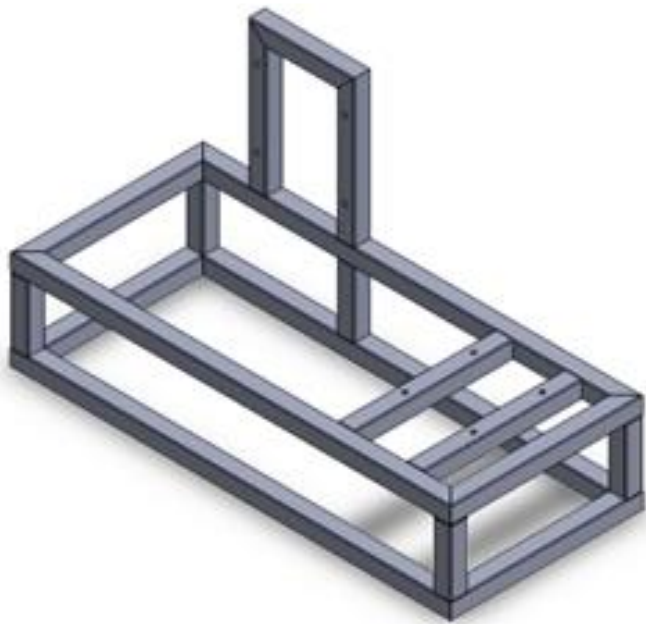


Figura 37. Modelado de la estructura metálica.

Al colocar las fuerzas que soporta la estructura y el material (Acero ASTM A36), por medio de un análisis de elementos finitos se determina el factor de seguridad, dando como resultado un factor mínimo de 2.427, garantizando un soporte ideal del equipo, como se muestra en la Figura 38.

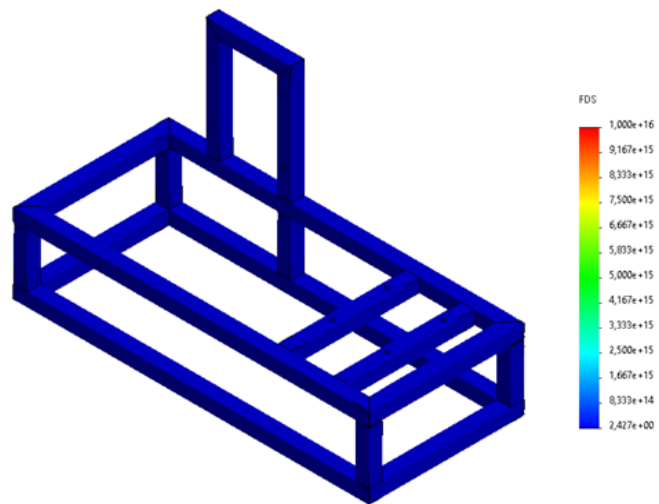


Figura 38. Factor de seguridad de la estructura metálica.

### 3.3.2 Eje principal

Después de la estructura metálica el elemento sometido a una gran cantidad de esfuerzos es el eje principal, en la Figura 39 se muestra el esquema gráfico.



Figura 39. Modelado del eje principal.



### a. Análisis estático del eje

Al ser el elemento más crítico en el mecanismo interno del equipo es necesario un análisis estático y fatiga, con la finalidad de comprobar que el eje no correrá riesgos de rupturas y evitar la paralización de la peletizadora. En la Figura 40 se indica el factor de seguridad estático mientras que en la Figura 41 se muestra el factor de carga para un análisis de fatiga.

Para calcular el factor de seguridad se utiliza se utiliza el diámetro del eje de 20 mm, el esfuerzo a la fluencia es de 250 MPa, el par torsión 67.90 Nm:

$$n = \frac{S_y \pi d^3}{32 T} \quad (80)$$
$$n = \frac{370 (10^6 Pa) \pi (0.02 m)^3}{32 (67.90 Nm)}$$
$$n = 4.27$$

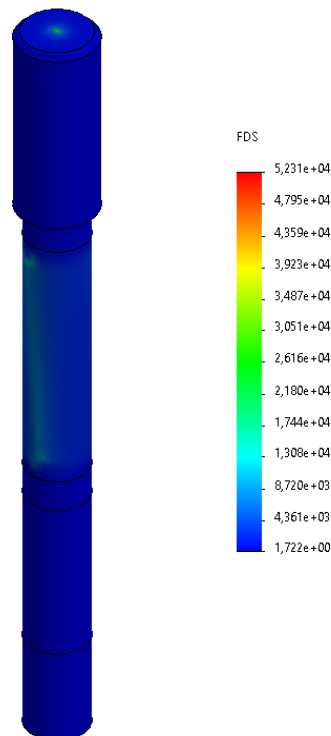


Figura 40. Factor de seguridad estático del eje principal.

## b. Análisis a fatiga del eje

Para calcular el factor de seguridad a fatiga se utiliza la siguiente formula:

$$\sigma'_{max} = \left[ \left( \frac{32 K_f (M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} (T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (81)$$

$$\sigma'_{max} = \left[ \left( \frac{32 (1.58)(0 + 46.78 \text{ Nm})}{\pi (0.0241 \text{ m})^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 (1.377)(67.90 \text{ Nm} + 0)}{\pi (0.0241 \text{ m})^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_1 = 310.86 \text{ MPa}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}} \quad (82)$$

$$n_y = \frac{370 \text{ MPa}}{310.86 \text{ MPa}}$$

$$n_f = 1.19$$

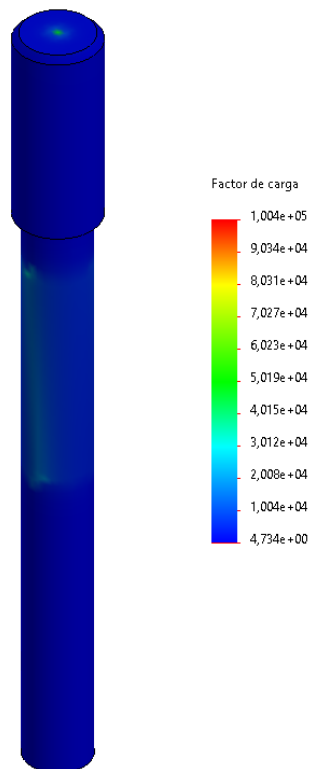


Figura 41. Factor de seguridad a fatiga del eje principal.

### 3.3.3 Eje secundario o de rodillos

El movimiento que genera la polea al eje principal es transmitido a los rodillos por medio del eje secundario el cual soporta el peso de los rodillos y a la vez la fuerza de fricción que estos generan. En la Figura 42 se muestra el modelado en computador.

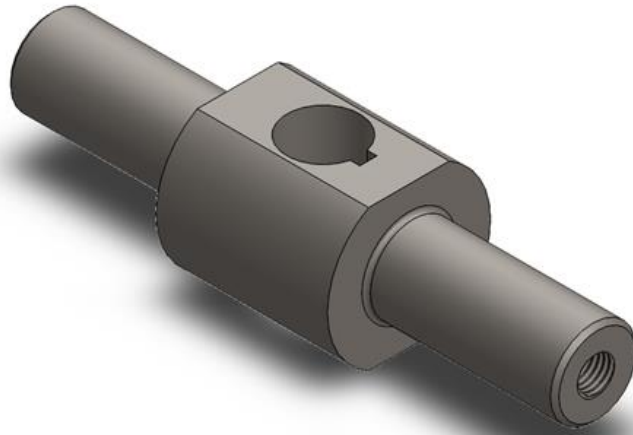


Figura 42. Modelado del eje secundario.

Al aplicar el material en el que será construido siendo el mismo de la estructura metálica se determina el factor de seguridad, dando como resultado un valor de 9.652 determinando que no correrá riesgos de fallos. Indicado en la Figura 43.

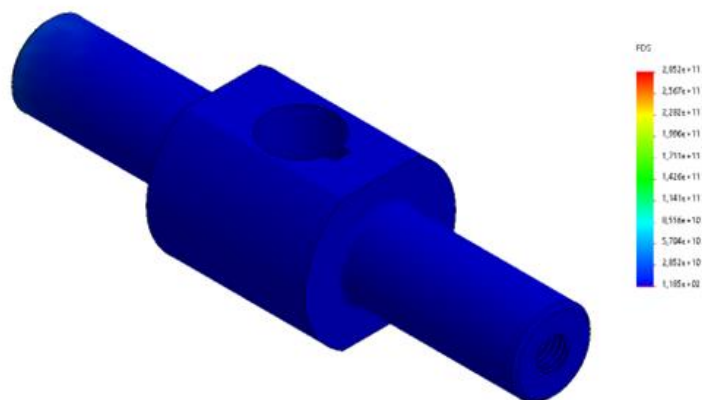


Figura 43. Factor de seguridad del eje secundario.

### 3.3.4 Soporte inferior fijo

Este soporte permite al eje un apoyo en dos puntos evitando la inestabilidad que genera el movimiento de la polea conducida, en la Figura 44 se indica el soporte inferior realizado en software.

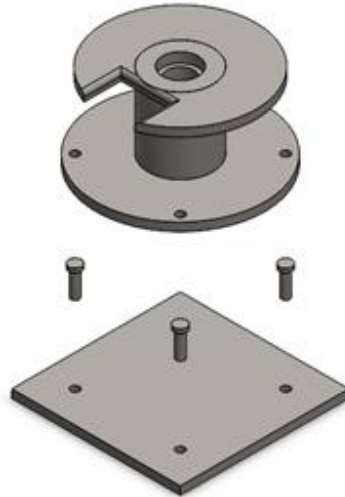


Figura 44. Modelado del soporte inferior fijo.

El análisis por elementos finitos del soporte indica que el factor de seguridad es de 4.392 siendo un valor adecuado y demostrando que resistirá las cargas que esta soporta. En la Figura 45 se muestra el rango de valores determinado en el análisis.

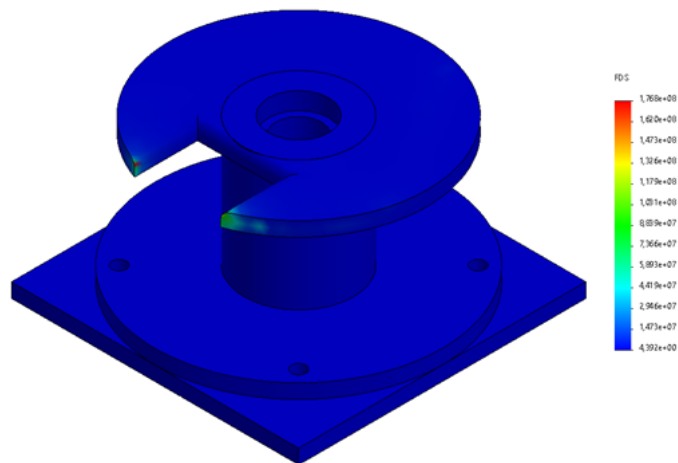


Figura 45. Factor de seguridad del soporte inferior fijo.

La comprobación del factor de seguridad debe también ser realizada para los pernos de sujeción, en el equipo se implementará pernos SAE grado 1 o 2, con un esfuerzo a la ruptura de 74 – 60 Kpsi como indica el ANEXO 30. En las Figuras 46 – 49 se muestra el factor de seguridad para cada uno de los cuatro pernos es de 3.545 siendo mayor al factor deseado de 2.



Figura 46. Factor de seguridad del primer perno.



Figura 47. Factor de seguridad del segundo perno.

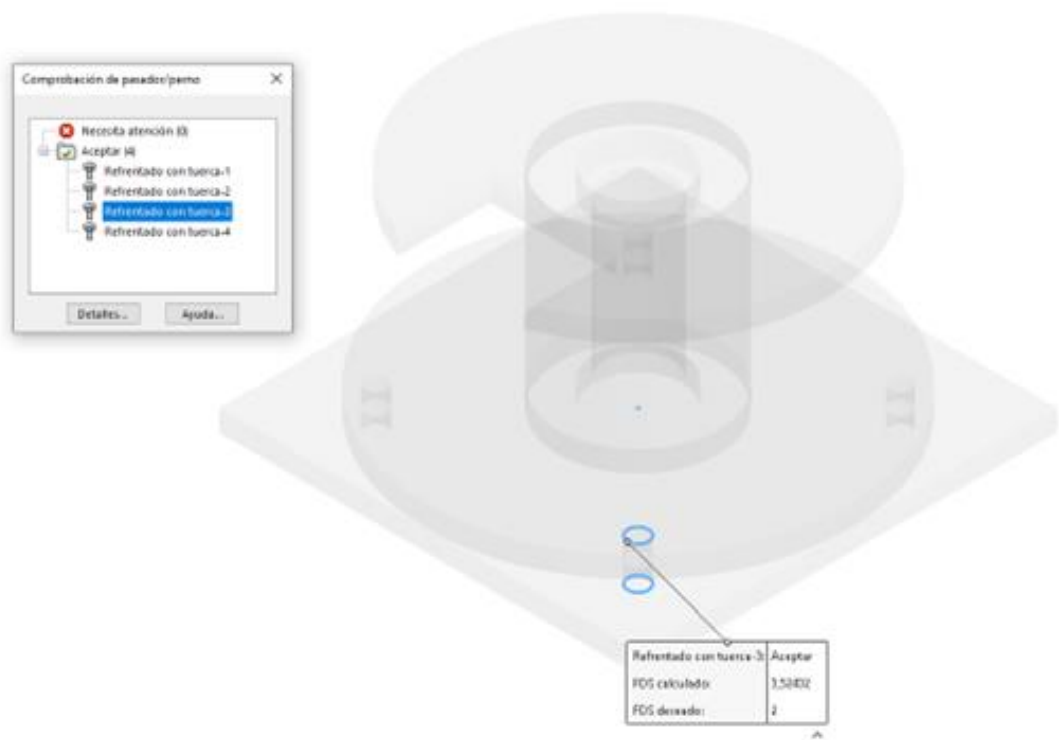


Figura 48. Factor de seguridad del tercer perno.

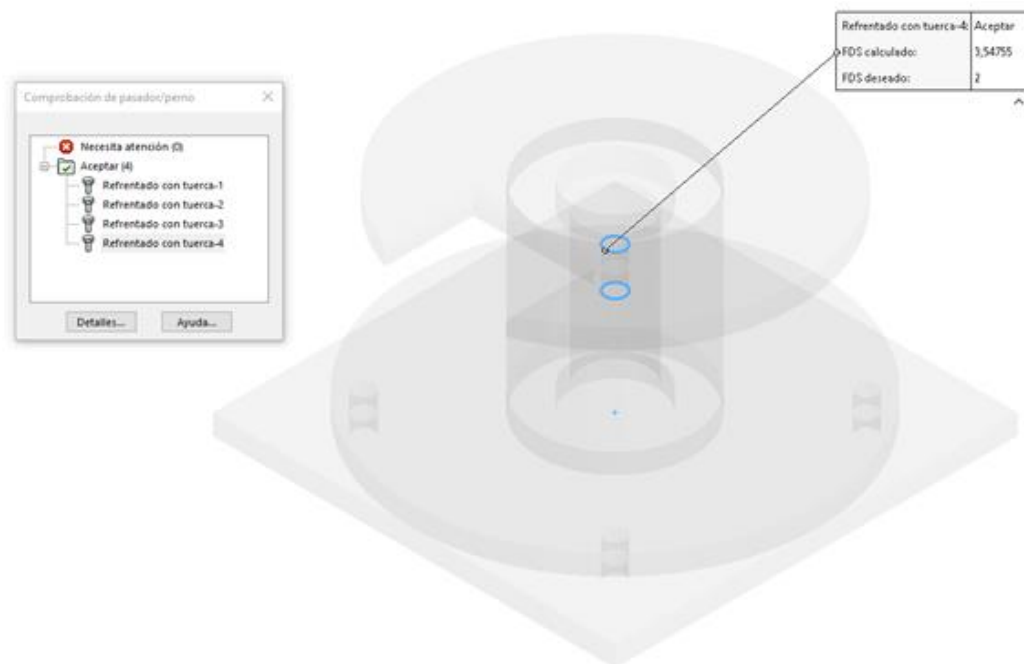


Figura 49. Factor de seguridad del cuarto perno.

### 3.4 Construcción de la máquina peletizadora

Con bases en otros diseños de peletizadoras para balanceado y especialmente para madera el modelo dimensionado por cálculos, modelado por medio de software especializado y siendo verificado por medio de análisis de elementos finitos, este equipo tiene la finalidad de fabricar pellets de madera estandarizados por medio de la norma UNE – EN ISO 17225 – 2: 2021. El proceso que predomina en la construcción de las partes del equipo es el mecanizado en torno y fresadora, seguido por cortes a laser y para la unión de las partes la soldadura SMAW y MIG.

#### 3.4.1 Mecanizado del eje principal

La materia prima para la fabricación del eje principal es el acero AISI SAE 1018 determinada en la ponderación de los materiales del Capítulo II. En la Figura 50 se muestra el eje adquirido de 400 mm de longitud y 1 pulg de diámetro y en la Figura 51 se observa la pieza final mecanizada añadido un rodamiento.



Figura 50. Pieza de acero antes del torneado.



Figura 51. Eje principal mecanizado.

### 3.4.2 Mecanizado de los rodillos

El material adquirido antes del proceso de fresado es un eje de acero AISI SAE 1018 de 4 pulg de diámetro, en la Figura 52 se observa el rodillo final maquinado.



Figura 52. Rodillo mecanizado.



### 3.4.3 Mecanizado del eje secundario

El acero usado para la fabricación del eje secundario es el mismo usado en el eje principal, en el Figura 53 se muestra la materia prima usada por otro lado en la Figura 54 se muestra el eje secundario mecanizado por completo junto con un rodamiento.



Figura 53. Eje de acero AISI SAE 1018.



Figura 54. Eje secundario mecanizado.

### 3.4.4 Mecanizado del soporte fijo inferior

Para la fabricación del soporte fijo fue necesario dividir a la pieza en tres partes para posteriormente ser unidas por soldadura, En la Figura 55 se muestra la parte central de la pieza mecanizada para la colocación de los rodamientos del eje, por otro lado en la Figura 56 se muestran las placas circulares que se ubican en la parte superior e inferior del cilindro, finalmente en la Figura 57 se muestra el soporte inferior fabricado por completo.



Figura 55. Cilindro central del soporte fijo inferior.



Figura 56. Placas circulares del soporte.



Figura 57. Soporte fijo inferior mecanizado.

### 3.4.5 Mecanizado de la matriz plana

El proceso de fresado es el idóneo para la fabricación de la matriz plana, de acuerdo con los cálculos realizados la matriz tendrá 60 orificios en los cuales se formarán los pellets de madera, a continuación en la Figura 58 se muestra la matriz plana mecanizada.



Figura 58. Matriz plana mecanizada.

### 3.4.6 Mecanizado de bocines

La finalidad de los bocines en la construcción de la máquina será brindar topes entre piezas especialmente en el eje principal, el material usado en la fabricación será acero AISI SAE 1018 de diámetros de 1 ¾ pulg y 1 ½ pulg, en la Figura 59 se muestra los bocines mecanizados.



Figura 59. Bocines mecanizados.

### 3.4.7 Preparación del cubo

El cubo alberga en su interior partes importantes del mecanismo interno del equipo por lo cual necesita brindar seguridad, se adquirió parte de un tubo para transporte de petróleo siendo un material resistente a altas presiones garantizando el cuidado interno. En la Figura 60 se muestra el tubo adquirido, mientras que en la Figura 61 se muestra el trabajo realizado en torno para la correcta adecuación y ensamble.



Figura 60. Tubo de petróleo.



Figura 61. Cubo de la peletizadora mecanizado.

### 3.4.8 Construcción de la mesa de soporte

La fabricación de la estructura metálica esta realizado por completo con de acero A36 específicamente tubo cuadrado de 30 mm y 2 mm de espesor, unidos entre sí por soldadura SMAW garantizando el cumplimiento de soporte de la máquina, además está cubierta por planchas del mismo acero. En la Figura 62 se puede observar el material a ocupar en la estructura por otro lado en la Figura 63 se observa la mesa completa terminada.



Figura 62. Tubos de acero A36.





Figura 63. Estructura metálica construida.

#### **3.4.9 Construcción de la cuchilla de corte**

El proceso de construcción de las cuchillas se realizó con base en un bocín mecanizado anteriormente unida en los extremos con dos placas rectangulares por medio de suelda MIG. En la Figura 64 se muestra las cuchillas fabricadas para ser ancladas al eje principal.



Figura 64. Cuchillas de corte construidas.

#### **3.4.10 Torneado de las poleas para el eje principal y eje motriz**

La adquisición de las poleas se las realizo por medio de distribuidores autorizados, las medidas de los agujeros donde serán ubicados los ejes no son estandarizadas, el

trabajo en torno permite aumentar el diámetro y calzar correctamente con los ejes. En la Figura 65 se muestra la polea motriz junto con el motor eléctrico mientras que el la Figura 66 se indica la polea conducida.



Figura 65. Polea motriz y motor eléctrico.



Figura 66. Polea conducida.

### **3.4.11 Ensamble final de todas las partes y piezas de la máquina**

Posteriormente a la fabricación de cada una de las partes en las que fue necesario realizar mecanizado en torno y fresa se procede a la adquisición o compra de elementos accesibles en el mercado como rodela, rodamientos, pernos, entre otros. Después de obtener todos los elementos necesarios para la construcción total de la

peletizadora empieza el ensamble final del equipo como se muestran en las siguientes Figuras a continuación.



Figura 67. Partes de la máquina peletizadora.



Figura 68. Proceso de soldadura de las cuchillas.





Figura 69. Ubicación y prueba de la polea motriz.



Figura 70. Colocación de la matriz en el cubo.



Figura 71. Colocación de rodillos con rodamientos en el eje secundario.



Figura 72. Colocación de rodamientos en el eje principal.



Figura 73. Ensamble inicial del mecanismo del equipo.



Figura 74. Montaje del mecanismo en la estructura metálica.





Figura 75. Acople del motor eléctrico.



Figura 76. Nivelación de las poleas.



Figura 77. Colocación de las bandas tipo A.



Figura 78. Ensamble parcial de la peletizadora.





Figura 79. Forrado de la estructura metálica.



Figura 80. Tolva de alimentación.



Figura 81. Pintado a horno de la estructura metálica.



Figura 82. Fijación de partes por pernos.



Figura 83. Pintado del cubo de la peletizadora.



Figura 84. Ajustes de bandas tipo A.



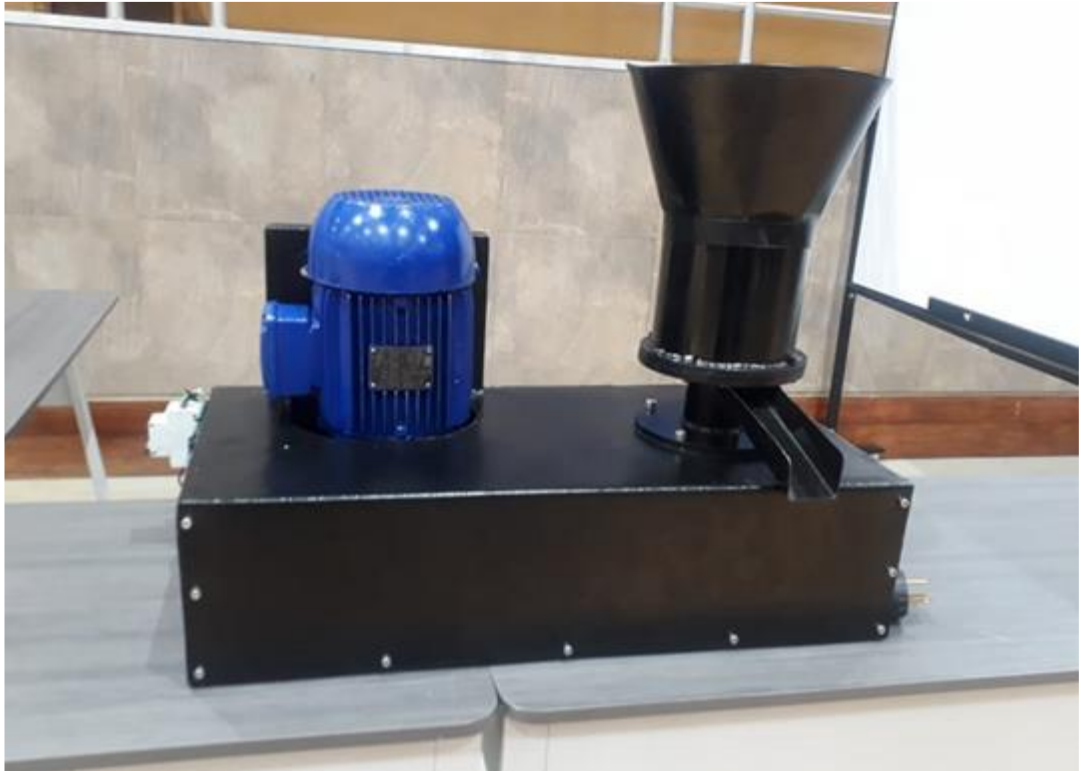


Figura 85. Peletizadora de madera.



Figura 86. Muestra de pellets fabricados por la máquina.



Figura 87. Presentación en feria de proyectos Autor 1.

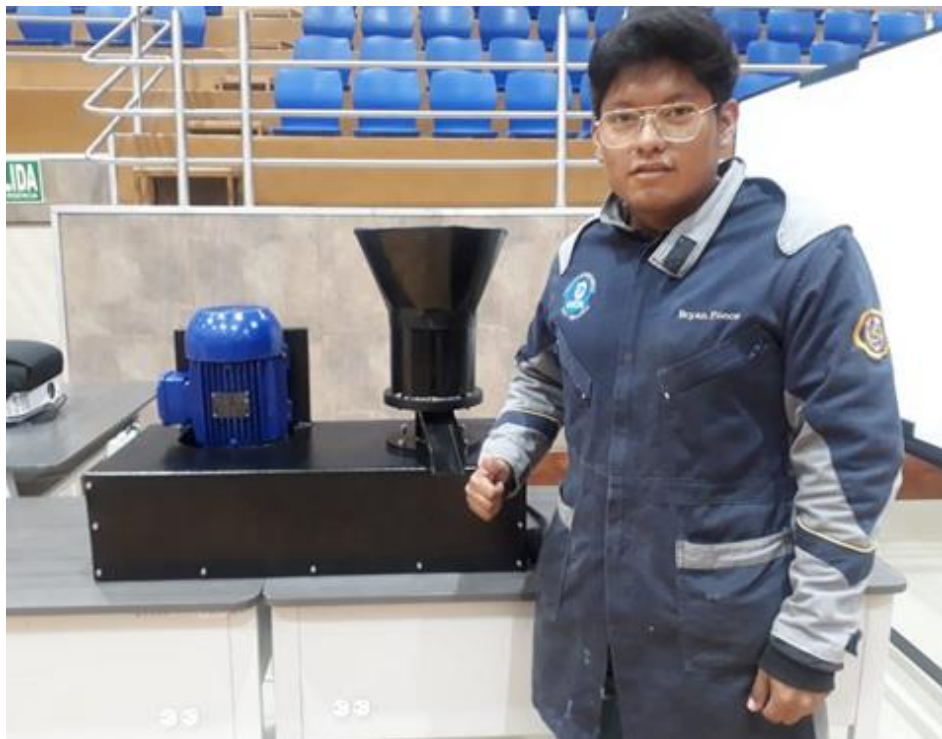


Figura 88. Presentación en feria de proyectos Autor 2.

### 3.5 Financiamiento de la máquina peletizadora

La realización de la máquina presentada en toda la investigación recurrió a diferentes costos directos e indirectos los cuales se detallan a continuación.

#### 3.5.1 Costos directos del proyecto

Los costos directos que estuvieron presentes en la realización y cumplimiento del proyecto se detallan en la siguiente Tabla 29.

Tabla 30. Costos directos del proyecto.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Eje de acero AISI SAE 1018 1 1/2 pulg	21 cm	0.2810	5.90
2	Eje de acero AISI SAE 1018 1 pulg	40 cm	0.1400	5.90
3	Eje de acero AISI SAE 1018 1 3/4 pulg	3 cm	0.3690	1.11
4	Eje de acero AISI SAE 1018 3 pulg	11 cm	1.1950	13.15
5	Eje de acero AISI SAE 1018 4 pulg	9.60 cm	2.1460	20.60
6	Polea de aluminio 3 x 2C A	1	3.93	3.93
7	Polea de aluminio 10 x 2C A	1	17.41	17.41
8	Chavetero 5 mm	1	0.90	0.90
9	Rodamiento 60042	1	1.79	1.79
10	Rodamiento 6004	1	4.46	4.46
11	Rodamiento 6304	1	6.25	6.25
12	Rodamiento 69042	4	3.12	12.50
13	Parte de un tubo de petróleo	1	30.00	30.00
14	Motor eléctrico trifásico 5HP	1	400.00	400.00
15	Plancha de acero A36 de 10 mm	25 cm <sup>2</sup>	15.00	15.00

Tabla 28. Costos directos del proyecto. (Continuación)

16	Plancha de acero A36 de 30 mm	20 cm <sup>2</sup>	12.00	12.00
17	Plancha de acero A36 de 0.7 mm	1	22.45	22.45
18	Tubo Cuadrado 30 X 2 mm	1	14.43	14.43
19	Pintura	1	5.00	5.00
20	Pulsador y conexiones eléctricas	1	20.00	20.00
21	Bandas Tipo A	2	7.50	15.00
22	Pernos hexagonales 1/4 x 1/2	24	0.15	3.60
23	Pernos hexagonales 1 x 5/16	8	0.23	0.92
24	Pernos hexagonales 3/8 x 2	4	0.50	4.00
25	Rodelas planas	12	0.0089	0.11
26	Rodelas de presión	8	0.1339	1.07
27	Tuercas de pernos hexagonales	36	0.054	1.96
SUBTOTAL				639.44
IVA 12%				76.73
TOTAL				716.17

### 3.5.2 Costos indirectos del proyecto

Los costos indirectos se detallan en la siguiente Tabla 30.

Tabla 31. Costos indirectos del proyecto.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Mecanizado en torno y mecanizado en fresadora	1	270.00	270.00
1	Transporte de partes y equipo completo	1	20.00	20.00
1	Corte a laser	1	90.00	90.00
1	Taller de pintura	1	20.00	20.00
TOTAL				400.00

### 3.5.3 Costo total del proyecto

El costo total generado en la realización del equipo será la suma de los costos directos y costos indirectos determinados anteriormente, en la siguiente Tabla 30 se detalla el costo total.

Tabla 32. Costo Total del proyecto.

Descripción	Valor
Costo directo	716.17
Costo indirecto	400
SUBTOTAL	1116.17
Imprevistos	5 %
Imprevistos [USD]	55.80
TOTAL	1171.97

### 3.6 Verificación del funcionamiento de la peletizadora

La comprobación del correcto funcionamiento del equipo estará basada en el producto fabricado por la máquina, según estándares de la norma UNE – EN ISO 17225 – 2: 2021 el pellet para el cual fue diseñada y construida la peletizadora debe cumplir las especificaciones de la Figura 15 donde detalla un diámetro de 8 mm y una longitud de 20 mm. En la siguiente Tabla 32 se muestran diferentes pellets fabricados y sus medidas resultantes.

Tabla 33. Verificación de medidas de los pellets.

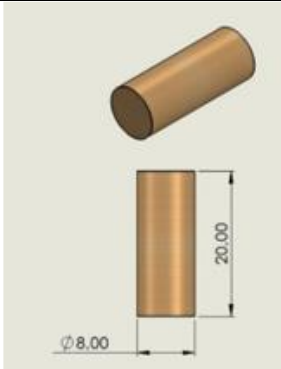
Descripción	Representación grafica	Medidas
Medida según la norma UNE – EN ISO 17225 – 2: 2021		<p>Longitud: 20 mm</p> <p>Diámetro: 8 mm</p>

Tabla 32. Verificación de las medidas de los pellets. (Continuación)

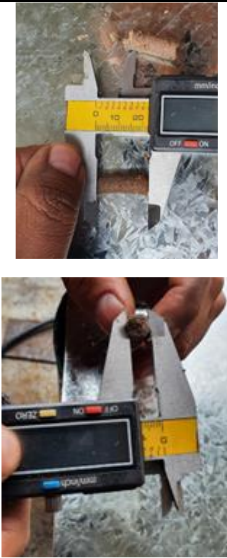




<p>Pellet fabricado 1</p>		<p>Longitud: 22 mm Diámetro: 8 mm</p>
<p>Pellet fabricado 2</p>		<p>Longitud: 21 mm Diámetro: 8 mm</p>
<p>Pellet fabricado 3</p>		<p>Longitud: 21 mm Diámetro: 8 mm</p>

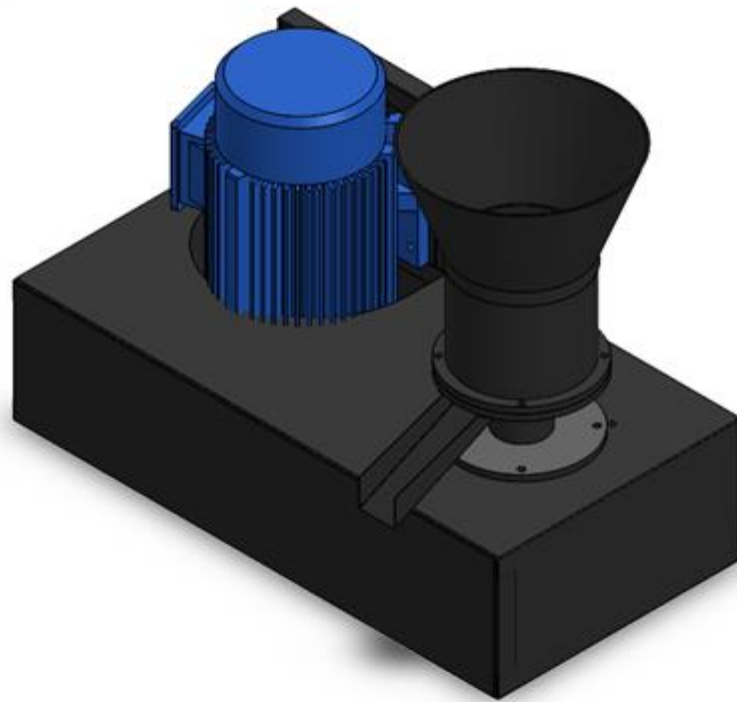


Tabla 32. Verificación de las medidas de los pellets. (Continuación)

<p>Pellet fabricado 4</p>		<p>Longitud: 20 mm Diámetro: 8 mm</p>
<p>Pellet fabricado 5</p>		<p>Longitud: 21 mm Diámetro: 8 mm</p>
<p><b>PROMEDIO DE LAS MEDIDAS DE LOS PELLETS SELECCIONADOS</b></p>		<p>Longitud: 21 mm Diámetro: 8 mm</p>

### 3.7 Manual de uso y mantenimiento

## MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO PARA LA MÁQUINA PELETIZADORA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE MECÁNICA

AUTORES:

Ponce Bryan

Viteri Jorge

AMBATO-ECUADOR



## Máquina peletizadora

### **1. Información general**

- 1.1. Descripción
- 1.2. Principio de funcionamiento
- 1.3. Aplicación

### **2. Instalación**

- 2.1. Recepción
- 2.2. Transporte y almacenamiento
- 2.3. Ubicación
- 2.4. Preparación
- 2.5. Instalaciones eléctricas

### **3. Puesta en marcha**

- 3.1. Puesta en marcha

### **4. Mantenimiento**

- 4.1. Generalidades
- 4.2. Listado de piezas
- 4.3. Limpieza

### **5. Incidentes**

- 5.1. Prevenciones
- 5.2. Instalaciones eléctricas

## **1. Información general**

### **1.1. Descripción**

La máquina está dividida por 3 partes principales, la tolva de alimentación, el sistema de compactación, el sistema de salida.

**Tolva de alimentación.** Ubicada en la parte superior de la máquina, sirve para depositar el material el cual va a ser comprimido.

**Sistema de compactación.** Consta de los rodillos y la matriz plana, tiene el objetivo de compactar el material, reduciéndolo a pequeños pellets mediante la matriz.

**Sistema de salida.** Consta de las cuchillas y la tolva de salida, empuja el material compactado mediante el corte de las cuchillas hacia la tolva de salida, expulsando el producto final.

### **1.2. Principio de funcionamiento**

El principio de la máquina peletizadora es compactar el material en pequeños cilindros conocidos como pellets. Disminuyendo el volumen de la materia para facilitar su uso.

La máquina está diseñada para compactar aserrín, no es una máquina trituradora, sin embargo, puede trabajar compactando material de baja resistencia o similar a la del aserrín. La máquina peletizadora tiene una capacidad en la tolva diseñada para compactar 175 kg de material por hora.

### **1.3. Aplicación**

La máquina está pensada para trabajar en el sector de ebanistería, carpintería y otros lugares donde se producen con residuos de madera.

## **2. Instalación**

### **2.1. Recepción**

Al recibir la máquina peletizadora verificar las sujeciones de los pernos y que todo este correctamente asegurado, verificar las condiciones externas, pintura y estado de las piezas.

### **2.2. Transporte y almacenamiento**



- Tener cuidado con el motor trifásico ubicado en la mesa de la máquina.
- No sostener la máquina desde la tolva de recepción ni desde la tolva de salida.
- Desmontar las partes móviles que se encuentran en el interior de la tolva.
- Tener cuidado con las poleas que se encuentran en la parte inferior de la mesa.

### **2.3. Ubicación**

Ubicar la máquina cerca de una conexión 220, en un espacio abierto para la recolección de pellets cuando salga de la máquina y en un lugar donde permita apoyar los 4 puntos fijos de la máquina.

Evitar lugares con humedad o lugares donde se llegue a mojar la máquina.

### **2.4. Preparación**

El material debe ser preparado con un aglutinante antes de ser llevado a la tolva de recepción para facilitar el proceso de compactación y aumentar la resistencia de los pellets al salir de la máquina.

## 2.5. Instalaciones eléctricas

La máquina trabaja con un motor trifásico de 220V , cuenta con una adaptación para que trabaje con enchufes de 220V, cuenta con un pulsador de encendido y un breaker para que dé paso a la corriente eléctrica en el motor.

## 3. Puesta en marcha

### 3.1. Puesta en marcha



- La máquina funciona conectándola a una entrada de 220V.
- Para prender la máquina peletizadora se debe mantener presionado el pulsador de color verde durante 3 segundos.



- Una vez transcurrido los 3 segundos inmediatamente se levanta el switch del breaker y se suelta el pulsador.
- Para apagar el funcionamiento de la máquina se baja el switch del breaker y la máquina dejará de recibir corriente por lo que se detendrá.

## 4. Mantenimiento

### 4.1. Generalidades

La máquina peletizadora como cualquier otra máquina requiere de un control en su mantenimiento, se recomienda hacerlo de forma periódica para evitar cualquier mal funcionamiento de esta. Las instrucciones descritas en este manual son para las personas que van a realizar el mantenimiento o para las personas responsables del cambio de las piezas.

### 4.2. Listado de piezas

Las piezas que componen esta máquina las podemos encontrar distribuidas en la siguiente imagen:



## **5.2. Instalaciones eléctricas**

Revisar las instalaciones eléctricas periódicamente para asegurar la protección de los contactos eléctricos.

Evitar tener aplastado el pulsador por más tiempo del dictado en el manual debido a que puede provocar daños en los condensadores.

Mantener la máquina en un lugar donde el motor no llegue a ser alcanzado por el agua.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- La peletizadora con la matriz plana estática y rodillos giratorios fue el modelo seleccionado para el diseño y construcción de la máquina, debido a que cumple con la necesidad de utilizar los desperdicios de madera generados por la empresa “DECOR PARQUÉT”.
- Se tiene una máquina peletizadora de residuos de madera totalmente funcional que cumple con los criterios establecidos en las normas y requerimientos descritas en este proyecto.
- La mayor parte de piezas fueran fabricadas por procesos de torneado y fresado, utilizando el acero AISI 1018 para los componentes internos y el acero ASTM A36 para la estructura externa de la máquina.
- Al realizar las pruebas de funcionamiento, se obtuvo resultados satisfactorios, en donde el pellet fabricado por la máquina cumple con los estándares establecidos en la norma UNE – EN ISO 17225 – 2: 2021.
- Elaborando el manual de uso y mantenimiento de la máquina peletizadora, se establecieron los conocimientos básicos que debe tener los operarios al momento de poner en funcionamiento el equipo.

#### 4.2 Recomendaciones

- Realizar una ponderación entre las fuentes bibliográficas y las necesidades de la empresa para diseñar una peletizadora que cumplan con los requerimientos solicitados.
- Para entregar un producto de calidad se debe respetar las normas y requerimientos para su fabricación.
- Para la construcción se debe considerar materiales que están en la mercado con precios accesibles.

- Se recomienda revisar el producto final para verificar las dimensiones señaladas en la norma.
- Capacitar a los operarios en base al manual de uso y mantenimiento de la máquina peletizadora



## MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias bibliográficas

- [1] Decor Parquet. (2018, Febrero 16). “Decor Parquet, Todo en maderas” (1<sup>ra</sup> ed) [En Línea]. Disponible en: <https://www.decorparquet.com/>
- [2] J. Arpi, C. Calderón, “Diseño de una máquina peletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético.”, Tesis de Grado, Facultad de Ingenierías, UPS, Cuenca, 2019.
- [3] E. Albán, A. Arias, “Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h”, Tesis de Grados, UPS, Quito, 2019.
- [4] A. Serrano, E. Vaquera, y D. Román, “Diseño de Maquinaria para la Producción de Alimento Peletizado para Ganado”, *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, vol. 1, pp 5, 2016.
- [5] J. Nojek Barbieri, “Pellets de Madera: Una fuente de energía renovable”, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, 2009.
- [6] A. Chang , T. Del águila, “Estudio de factibilidad para la fabricación de pellets de madera a partir de un subproducto de la industria maderera peruana”, Universidad De San Martín De Porres, Lima, pp. 23-25. 2013.
- [7] Pellet Fuels Intitute. (2020, Diciembre 13). What Are Pellets? (1<sup>ra</sup> ed) [En Línea]. Disponible en: <https://www.pelletheat.org/what-are-pellets->
- [8] P. C. Okolie, I. C. Chukwujike, J. L. Chukwuneke, and J. E. Dara, “Design and production of a fish feed pelletizing machine,” *Heliyon*, vol. 5, no. 6, Jun. 2019.

- [9] abc Machinery. (2015, Enero 15). Utilizar aglutinantes durante la producción de pellets (1<sup>st</sup> ed) [En Línea]. Disponible en: [www.plantadepellets.com/FAQ/aglutinante-produccion-pellets.html](http://www.plantadepellets.com/FAQ/aglutinante-produccion-pellets.html)
- [10] A. O. Ojomo, L. A. Agbetoye and F. O. Ologunagba, “Performance evaluation of a fish feed pelletizing machine” Nigeria, vol 5, no. 9, Sep. 2010
- [11] Andrés González Hassig, C. Augusto, G. Fernando, “Estudio de planta piloto para peletización de residuos madereros y su utilización como combustible en hornos ladrilleros,” *Tecnura*, vol. 18, no. 40, pp. 62–70, 2014.
- [12] R. A. Morales, “Diseño y cálculo de una máquina peletizadora para la producción de alimento animal.”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Mecánica, UTP, Pereira, Colombia, 2019.
- [13] H. Burschel, A. Hernández, M. Lobos, “*LEÑA, Una fuente energética renovable para Chile.*” (1<sup>ra</sup> ed). Chile: Editorial Universitaria, 2015.
- [14] M. Camps, F. Martin, *Los biocombustibles*. 2da ed. Madrid: Mundi – Prensa, 2008.
- [15] Y. Castañeda, N. Arciniegas, “Diseño de una planta productora de pellets de madera a partir del aprovechamiento de residuos forestales de un aserrío ubicado en la ciudad de Bogotá”, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UDFJC, Bogotá, 2019.
- [16] LIPSIA. (2018, Enero 16). Bioenergía (1era ed.) [En línea]. Disponible en: <https://lipsia.com.ar/bioenergia/pellet/#propiedades>
- [17] D. Resano, O. Guillen, F. Ubillus, J. Barranzuela. “Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como materia de construcción.” *Inf. Tecnol*, vol.33, n.2, pp. 247 – 258, Abril 2022.

- [18] R. Guzmán, “ Modificación de diseño de máquina peletizadora para alimentos deshidratados utilizando energías alternas”, Universidad Nacional Autónoma De México, CD. México, 2019, pp. 115.
- [19] S. Guerra, ““Diseño y simulación de una prensa granuladora de madera automatizada de hasta 200 kg/hr para la empresa reciclajes MYS S. A.””, Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2013.
- [20] Cuchillas de peletizadora “Venta.com.mx,” Venta.com.mx, 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.venta.com.mx/r/Details/maquina-peletizadora/maquina%20peletizadora\\_mercadolibre\\_mlm837811870](https://www.venta.com.mx/r/Details/maquina-peletizadora/maquina%20peletizadora_mercadolibre_mlm837811870)
- [21] “Motores trifásicos con patas 3000 rpm,” Tienda online de motores eléctricos, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.distribomotor.es/motores-trif%C3%A1sicos/motores-trif%C3%A1sicos-con-patas-3000-rpm/>
- [22] “Mini máquina de procesamiento de alimentos para granja”, Bestdealplus.com, 2022. [En línea]. Disponible en:<https://mx.bestdealplus.com/product/22733703/Mini-maquina-de-procesamiento-de-alimentos-para-granja-modelo-125-Pellet-de-alimentacion-Animal-50kg-troquel-plano-peletizadora-de-alimentos-para-aves-de-correr>
- [23] J. Pedraza, “ANÁLISIS DE FALLA A UN PERNO DE SUJECIÓN DE UNA PELETIZADORA.”, Los Libertadores Fundación Universitaria, Bogotá, 2018, pp. 25
- [24] E. Granda, “Rediseño y automatización de la máquina peletizadora para la planta de balanceados espejo”, Universidad Técnica Del Norte, Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas, Carrera De Ingeniería En Mecatrónica, Ibarra, Ecuador, 2019
- [25] R. Budynas, y J. Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, decima ed. 2018.

- [26] M. Garcés. “Optimización Del Mantenimiento Preventivo En Función Del Costo “En La Empresa Bioalimentar Cia. Ltda.””, Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad De Mecánica, Riobamba, Ecuador, 2017.
- [27] C. Garzón y L. Mendes, “Prototipo de una máquina peletizadora para la fabricación de balanceado utilizado en la alimentación de conejos”, Tesis de grado, Universidad Técnica De Cotopaxi, Facultad De Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas, Carrera De Ingeniería Industrial, Latacunga, Cotopaxi, 2021.
- [28] M. Ramos, R. Campozano, E. Naranjo, “Análisis y simulación de fuerzas en el trabajo de una prensa hidráulica a planchas de acero de distintos espesores aplicadas en perfiles estructurales angulares.”, *Pol. Con*, vol. 7, no. 2, pp. 1632-1655, Febrero 2022.
- [29] C. Castro, “Caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio y bronce SAE 40 de 10mm de diámetro.”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2018.
- [30] Matweb. “AISI 1018 Steel” Matweb.com. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3a9cc570fbb24d119f08db22a53e2421>
- [31] J. Jacome. “Diseño y construcción de un sistema de suspensión para vehículo monoplace formula SAE.” Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, UTN, Ibarra, 2022.
- [32] A. Valencia. “El acero Hadfield revisitado”, *Revista Colombiana de Materiales*, Medellín, Colombia, no. 3, pp. 1-5.
- [33] AENOR. UNE-EN ISO 17225-2: 2021. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pélets de madera. Madrid: [s.n.], 2021.

[34] M. Ramos, “Modificación de diseño de máquina peletizadora para alimentos deshidratados utilizando energías alternativas”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, UNAM, CD. México. 2019.

[35] R. Lesme, L. Ruiz, A. Palacios, y N. Lesmes, “Coeficientes de residuos de la industria forestal”, Tecnología Química, vol. XXVI, no. 3, pp. 26-29, diciembre 2006. [en línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543751004>

[36] SKF, “Catálogo de Rodamientos.”, Grupo SKF, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings--17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf#cid-121486](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings--17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf#cid-121486)

## Anexos

### Anexo 1. Tabla de densidad de materiales.

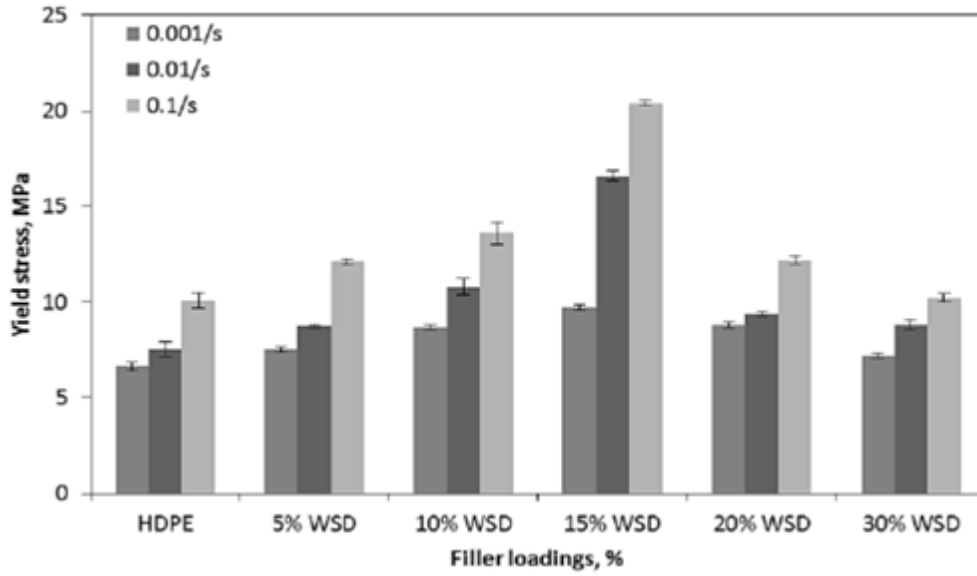
[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

Tabla de densidades			
Substancia	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Substancia	Densidad kg/m <sup>3</sup>
Aceite	920	Iridio	22500
Acero	7850	Madera (pino)	700
Agua (4 °C)	1000	Magnesio	1740
Agua de mar	1027	Mercurio	13580
Agujero negro (valor teórico)	4×10 <sup>17</sup>	Nieve compactada	300
Aire (25 °C, 1 atm)	1,184	Níquel	8900
Alcohol etílico	780	Núcleo interno terrestre	13000
Aluminio	2700	Núcleo atómico	2,3×10 <sup>17</sup>
Carbono	2260	Núcleo del Sol (aprox.)	150000
Caucho	950	Oro	19300
Cinc	7140	Osmio	22610
Cobalto	8900	Plata	10490
Cobre	8940	Platino	21450
Cuerpo humano	950	Plomo	11340
Diamante	3515	Poliuretano rígido	35
Estaño	7310	Sangre	1500
Estrella de neutrones (máx.)	1×10 <sup>18</sup>	Sol	1411
Gasolina	680	Tántalo	16650
Glicerina (glicerol)	1261	Tierra (planeta)	5515
Helio	0,18	Torio	11724
Hielo	920	Uranio	19100
Hierro	7870	Vanadio	6110
Hormigón	2400	Vidrio	2500
Litio	534	Wolframio	19250
Luna	3340		

### Anexo 2. Tabla de constantes para ángulos de avellanado.

Para un ángulo entre 50° y 60°		Para un ángulo entre 30° y 45°	
a	0.8 – 0.9	a	0.7 – 0.78
b	1.2 – 1.5	b	1 – 1.1

**Anexo 3.** Esfuerzo de fluencia de materiales.



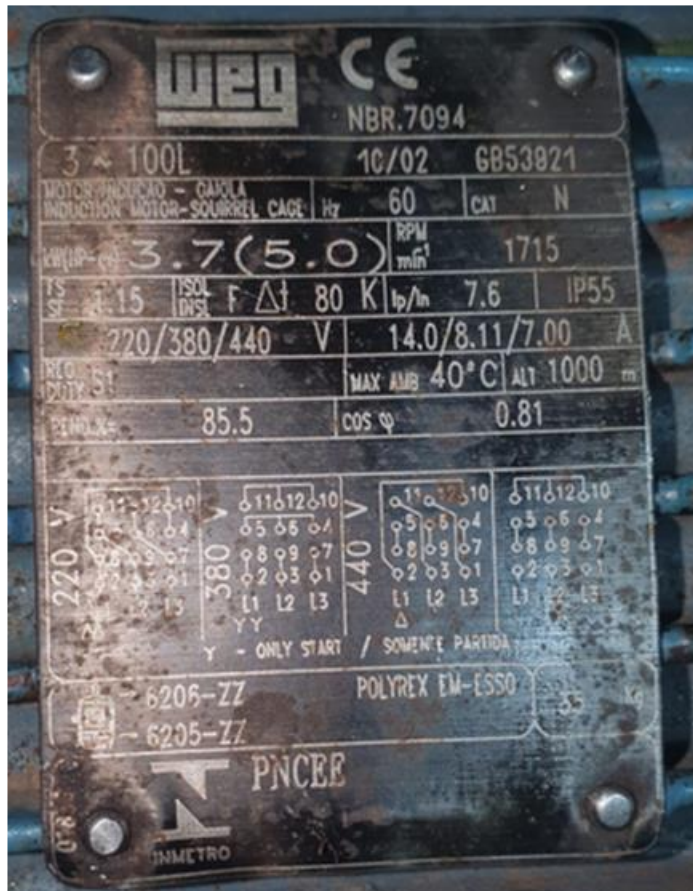
**Anexo 4.** Propiedades mecánicas de la madera.

<i>Propiedades físicas y mecánicas de la madera</i>	<i>Valor</i>
Densidad básica al aire ( $\rho_{oM}$ )	4.03 kN/m <sup>3</sup>
Densidad seca al aire ( $\rho_M$ )	3.37 kN/m <sup>3</sup>
Humedad ( $H_M$ )	16.89 %
Compresión paralela a la fibra ( $\sigma_{cp}$ )	27.05 Mpa
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra ( $E_T$ )	8.22 Gpa
Compresión perpendicular a la fibra ( $\sigma_{pp}$ )	5.32 Mpa
Módulo de elasticidad perpendicular a la fibra ( $E_{pT}$ )	157.19 Mpa
Módulo de rigidez (G)	0.84 Gpa
Relación de Poisson	0.25

### Anexo 5. Factores de servicio (Catalogo).

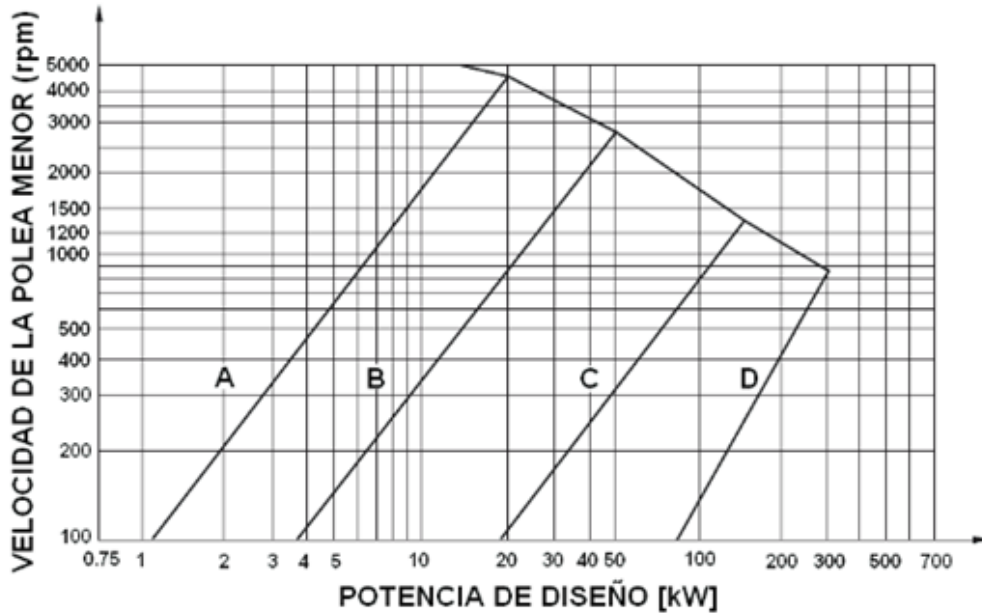
FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS						
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN	TIPOS DE UNIDADES MOTRICES					
Los tipos de máquinas impulsadas aquí listadas son solo una muestra representativa. Seleccione el equipo que se aproxime más a su aplicación. <b>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:</b> Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2	<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Síncrono AC Fase Dividida DC Devanado en Derivación <b>Motores de Combustión Interna</b>			<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> AC Alto Torque AC Hi-Torque Dividida AC Repulsión-Inducción AC Mono-fásico Devanado en Serie AC Anillo de Desplazamiento DC Devanado Compuesto		
	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores hasta 15 HP Transportadores de Trabajo Ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 HP Generadores Ejes de Línea Máquinas de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros, Prensas, Cortadores Máquinas de Imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquinas para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Plastras, Helicoidales, Tabillas) Molinos de Muebles Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Máquinas para Madera y Sierras Maquinaria Textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas, Rodillos) Grúas Calendrias de hule — Extrusoras — Molinos	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
Equipo con Ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

### Anexo 6. Ficha Técnica del motor WEG.





Anexo 7. Sección de la correa (Catalogo).



Anexo 8. Diámetro mínimo para la polea conductora (Catalogo).

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 9. Combinación de poleas (Catalogo).

# A Selección de Transmisión en Existencia

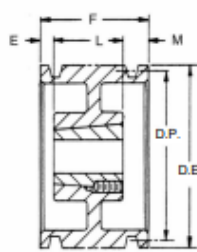
Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda						
			3500 RPM Motriz			1750 RPM Motriz			
	Motriz D.P.	Impuls. D.P.	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM
3.25	4.8	15.6	1077	8.27	9.39	538	5.34	5.76	357
3.26	4.6	15.0	1073	7.77	8.85	537	5.00	5.41	356
3.27	6.0	19.6	1071	10.88	12.32	536	7.30	7.77	355
3.30	4.0	13.2	1061	6.17	7.14	530	3.96	4.36	352
3.31	3.2	10.6	1057	3.82	4.68	528	2.52	2.91	350
<b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y A</b>									
3.33	3.6	12.0	1050	5.03	5.94	525	3.24	3.64	348
3.33	5.4	18.0	1050	9.66	10.92	525	6.33	6.78	348
3.38	5.8	19.6	1036	10.49	11.87	518	6.98	7.44	343
3.39	4.6	15.6	1032	7.77	8.85	516	5.00	5.41	342

Anexo 10. Factores de corrección por longitud y arco (Catalogo).

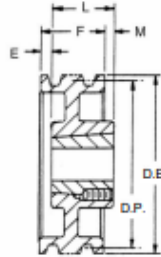
# A Selección de Transmisión en Existencia

Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda									Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco						
			3500 RPM Motriz			1750 RPM Motriz			1100 RPM Motriz			Designación de Largo de Banda A/AX						
	Motriz D.P.	Impuls. D.P.	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	26	31	35	38	42	46	51
3.25	4.8	15.6	1077	8.27	9.39	538	5.34	5.76	357	3.87	4.13	—	—	—	—	—	—	—
3.26	4.6	15.0	1073	7.77	8.85	537	5.00	5.41	356	3.63	3.88	—	—	—	—	—	—	—
3.27	6.0	19.6	1071	10.88	12.32	536	7.30	7.77	355	5.30	5.57	—	—	—	—	—	—	—
3.30	4.0	13.2	1061	6.17	7.14	530	3.96	4.36	352	2.88	3.14	—	—	—	—	—	—	11.7
3.31	3.2	10.6	1057	3.82	4.68	528	2.52	2.91	350	1.87	2.12	—	—	—	—	10.1	12.3	14.9
<b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO</b>												0.0	0.0	0.0	0.0	0.77	0.81	0.86
3.33	3.6	12.0	1050	5.03	5.94	525	3.24	3.64	348	2.38	2.63	—	—	—	—	—	10.6	13.2
3.33	5.4	18.0	1050	9.66	10.92	525	6.33	6.78	348	4.59	4.86	—	—	—	—	—	—	—
3.38	5.8	19.6	1036	10.49	11.87	518	6.98	7.44	343	5.07	5.34	—	—	—	—	—	—	—
3.39	4.6	15.6	1032	7.77	8.85	516	5.00	5.41	342	3.63	3.88	—	—	—	—	—	—	—
3.41	4.4	15.0	1027	7.26	8.29	513	4.65	5.06	340	3.38	3.64	—	—	—	—	—	—	—
<b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO</b>												0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.78	0.83
3.46	5.2	18.0	1011	9.22	10.43	506	6.01	6.44	335	4.35	4.62	—	—	—	—	—	—	—

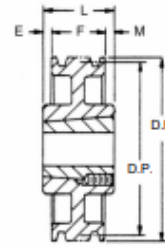
Anexo 11. Selección de poleas. (Catalogo)



TIPO A



TIPO B



TIPO C

Dimensiones en pulgadas, peso en libras

1 Ranura											2 Ranuras							
No. de Parte	D.P.		D.E.	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	Largo Total del Barreno		Peso sin Buje	No. de Parte	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	Largo Total del Barreno	M	Peso sin Buje
	Banda A	Banda B						M	M									
1 B 34 TB	3.0	3.4	3.75	A-1	1210	1%	0	1	0	2.2	2 B 34 TB	A-1	1210	1%	%	1	0	2.2
1 B 36 TB	3.2	3.6	3.95	A-1	1210	1%	0	1	0	2.6	2 B 36 TB	A-1	1210	1%	%	1	0	2.6
1 B 38 TB	3.4	3.8	4.15	A-1	1610	1%	0	1	0	2.8	2 B 38 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	2.8
1 B 40 TB	3.6	4.0	4.35	A-1	1610	1%	0	1	0	3.0	2 B 40 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	3.0
1 B 42 TB	3.8	4.2	4.55	A-1	1610	1%	0	1	0	3.5	2 B 42 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	4.0
1 B 44 TB	4.0	4.4	4.75	A-1	1610	1%	0	1	0	3.8	2 B 44 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	4.5
1 B 46 TB	4.2	4.6	4.95	A-1	1610	1%	0	1	0	4.0	2 B 46 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	5.0
1 B 48 TB	4.4	4.8	5.15	A-1	1610	1%	0	1	0	4.5	2 B 48 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	5.5
1 B 50 TB	4.6	5.0	5.35	A-1	1610	1%	0	1	0	4.8	2 B 50 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	6.0
1 B 52 TB	4.8	5.2	5.55	A-1	1610	1%	0	1	0	5.0	2 B 52 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	6.5
1 B 54 TB	5.0	5.4	5.75	A-1	1610	1%	0	1	0	5.5	2 B 54 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	7.0
1 B 56 TB	5.2	5.6	5.95	A-1	1610	1%	0	1	0	6.0	2 B 56 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	8.2
1 B 58 TB	5.4	5.8	6.15	A-1	1610	1%	0	1	0	6.3	2 B 58 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	8.6
1 B 60 TB	5.6	6.0	6.35	A-1	1610	1%	0	1	0	6.7	2 B 60 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	8.8
1 B 62 TB	5.8	6.2	6.55	A-1	1610	1%	0	1	0	7.0	2 B 62 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	9.0
1 B 64 TB	6.0	6.4	6.75	A-1	1610	1%	0	1	0	8.0	2 B 64 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	10.0
1 B 66 TB	6.2	6.6	6.95	A-1	1610	1%	0	1	0	8.5	2 B 66 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	10.5
1 B 68 TB	6.4	6.8	7.15	A-1	1610	1%	0	1	0	9.0	2 B 68 TB	A-1	1610	1%	%	1	0	11.0
1 B 70 TB	7.0	7.4	7.35	B-1	2517	2%	0	1%	%	8.5								
1 B 74 TB	7.0	7.4	7.75	B-1	2517	2%	0	1%	%	9.4	2 B 74 TB	A-1	2517	2%	0	1%	0	16.0
1 B 86 TB	8.2	8.6	8.95	B-2	2517	2%	0	1%	%	12.0	2 B 86 TB	A-2	2517	2%	0	1%	0	18.0
1 B 94 TB	9.0	9.4	9.75	B-2	2517	2%	0	1%	%	14.0	2 B 94 TB	A-2	2517	2%	0	1%	0	20.0
1 B 110 TB	10.6	11.0	11.35	B-2	2517	2%	0	1%	%	18.0	2 B 110 TB	A-2	2517	2%	0	1%	0	25.0
1 B 124 TB	12.0	12.4	12.75	C-3	2517	2%	%	1%	%	18.5	2 B 124 TB	A-3	2517	2%	0	1%	0	27.0
1 B 136 TB	13.6	14.0	13.95	C-3	2517	2%	%	1%	%	16.0	2 B 136 TB	C-3	2517	2%	0	1%	0	24.0
1 B 154 TB	15.0	15.4	15.75	C-3	2517	2%	%	1%	%	19.0	2 B 154 TB	A-3	2517	2%	0	1%	0	31.0
1 B 160 TB	16.0	16.4	16.35	C-3	2517	2%	%	1%	%	22.0	2 B 160 TB	C-3	2517	2%	0	1%	0	26.0
1 B 184 TB*	18.0	18.4	18.75	C-3	2517	2%	%	1%	%	24.0	2 B 184 TB	A-3	2517	2%	0	1%	0	33.0
	19.6	20.0	20.35								2 B 200 TB	C-3	3020	3	0	2	%	49.0
	24.6	25.0	25.35								2 B 250 TB	C-3	3020	3	0	2	%	65.0
	29.6	30.0	30.35								2 B 300 TB	C-3	3020	3	0	2	%	75.0
	37.6	38.0	38.35								2 B 380 TB	C-3	3020	3	0	2	%	112.0

\* F = 1" para la polea 1 B 154 TB  
F = 1 1/4" para la polea 1 B 184 TB

## Anexo 12. Nomenclatura de poleas. (Catalogo)

Nomenclaturas

Martin

### POLEAS FHP

**2**

# de Ranuras  
(Si no lo indica, entonces la polea es de ranura sencilla)

**AK**

Selección de Banda  
AK Sección A 3L, 4L  
BK Sección B 4L, 5L

**104**

Díámetro Exterior Aproximado  
(1 punto decimal 104 = 10.4")

**1 3/8**

Boreado  
(en pulgadas)  
Para Bujes "H"  
(Buje MST)

**Guía para Balanceo**

- 5,000 FPM y menos. Hierro Colado, Balanceo Estático (Poleas de Línea *Martin*).
- 5,000 FPM a 6,500 FPM. Hierro Colado, Balanceo Dinámico (Poleas de Línea *Martin*).
- 6,501 FPM a 10,000 FPM Hierro Dúctil O Acero Balanceo Dinámico
- Consulte a *Martin* para asistencia de aplicaciones específicas.

\* Nota: Consulte el catálogo para dimensiones reales.

### POLEAS DE PASO VARIABLE

**1**

# de Ranuras

**VP**

Paso Variable  
Selección de Banda  
Sección 3L, 4L, 5L, A, B, 5V

**68**

Díámetro Exterior Aproximado  
(1 punto decimal 68 = 6.8")

**1 1/4**

Boreado  
(en pulgadas)

### QD

**2**

# de Ranuras

**3V**

Sección de Banda  
(3V, 5V, 8V)

**220**

Díámetro Exterior  
(2 puntos decimales 2.20")

**JA**

Buje

**12**

# de Ranuras

**D**

Sección de Banda  
(A, B, C, D)

**580**

Díámetro de Paso  
(1 punto decimal 58.0")

**P**

Buje

### TB

**10**

# de Ranuras

**8V**

Sección de Banda  
(3V, 5V, 8V)

**3000**

Díámetro Exterior  
(2 puntos decimales 30.00")

**TB**

Requiere Bujes Taper

**1**

# de Ranuras

**B**

Sección de Banda  
(A, B, C, D)

**34**

Díámetro de Paso  
(1 punto decimal 3.4")

**TB**

Requiere Bujes Taper

### MST

**1**

# de Ranuras

**3V**

Sección de Banda  
(3V, 5V, 8V)

**300**

Díámetro Exterior  
(2 puntos decimales 3.00")

**G**

Buje

**10**

# de Ranuras

**C**

Sección de Banda  
(A, B, C, D)

**140**

Díámetro de Paso  
(2 puntos decimales 14.40")

**R**

Buje

### SECCIÓN DE BANDA

3V  
3/8 x 5/16

5V  
5/8 x 17/32

8V  
1 x 29/32

A  
1/2 x 5/16

B  
21/32 x 13/32


C  
7/8 x 17/32


D  
1-1/4 x 3/4

E  
1-1/2 x 23/32

Las poleas tipo B son de ranura combinada - pueden ser utilizadas tanto para banda A o B.

Anexo 13. Longitud de la correa (Catalogo).

	CATÁLOGO DE CORREAS INDUSTRIALES	<b>2010</b>
---	----------------------------------	-------------

<b>DAYCO GOLD LABEL V - MM</b> <b>CORREAS TRAPECIALES DE SECCIÓN CONVENCIONAL</b>	
--	---

SECCION \*A\* (13 x 8 mm.)

TIPO	DESARROLLO INTERIOR mm.	DESARROLLO PRIMITIVO mm.
A37,50	953	986
A38	965	998
A38,50	978	1011
A39	991	1024
A39,50	1003	1036
A40	1016	1049
A40,50	1029	1062
A41	1041	1074
A41,50	1054	1087
A41,75	1060	1093
A42	1067	1100
A42,50	1080	1113
A43	1092	1125
A43,50	1105	1138
A43,75	1111	1144
A44	1118	1151
A44,50	1130	1163
A45	1143	1176
A45,50	1156	1189
A46	1168	1201
A46,50	1181	1214
A47	1194	1227
A48	1219	1252
A48,25	1226	1259
A49	1245	1278
A50	1270	1303
A51	1295	1328
A51,50	1308	1341
A52	1321	1354
A52,50	1334	1367
A53	1346	1379
A53,25	1353	1386
A54	1372	1405
A55	1397	1430
A56	1422	1455

SECCION \*A\* (13 x 8 mm.)

TIPO	DESARROLLO INTERIOR mm.	DESARROLLO PRIMITIVO mm.
A64	1626	1659
A65	1651	1684
A66	1676	1709
A67	1702	1735
A68	1727	1760
A69	1753	1786
A70	1778	1811
A70,75	1797	1830
A71	1803	1836
A72	1829	1862
A73	1854	1887
A74	1880	1913
A75	1905	1938
A76	1930	1963
A77	1956	1989
A78	1981	2014
A79	2007	2040
A80	2032	2065
A81	2057	2090
A82	2083	2116
A83	2108	2141
A83,50	2121	2154
A84	2134	2167
A85	2159	2192
A86	2184	2217
A87	2210	2243
A88	2235	2268
A89	2261	2294
A90	2286	2319
A91	2311	2344
A92	2337	2370
A93	2362	2395
A94	2388	2421
A95	2413	2446
A96	2438	2471

Anexo 14. Coeficientes de fricción en poleas.

Tipo de correa	Material	$\varphi_0$	$\frac{\varphi_{max}}{\varphi_0}$
<b>Plana</b>	Cuero	0.6	1.35 - 1.5
	Caucho	0.6	1.15 - 1.3
	Algodón	0.4	1.25 - 1.4
	Lino	0.4	
	Lona	0.4	1.35
	Poliamina	0.45	
<b>Trapezial</b>	Común	<b>0.7 - 0.9</b>	1.5



## Anexo 15. Factores de Seguridad para materiales dúctiles.

### Materiales dúctiles

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 16. Propiedades de los aceros.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 [43]	170 [24]	30	55	86
		CD	330 [48]	280 [41]	20	45	95
G10100	1010	HR	320 [47]	180 [26]	28	50	95
		CD	370 [53]	300 [44]	20	40	105
G10150	1015	HR	340 [50]	190 [27.5]	28	50	101
		CD	390 [56]	320 [47]	18	40	111
G10180	1018	HR	400 [58]	220 [32]	25	50	116
		CD	440 [64]	370 [54]	15	40	126
G10200	1020	HR	380 [55]	210 [30]	25	50	111
		CD	470 [68]	390 [57]	15	40	131

## Anexo 17. Factores a y b para el factor por condición superficial.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ 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

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Harger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

### Anexo 18. Factores para el factor de confiabilidad.

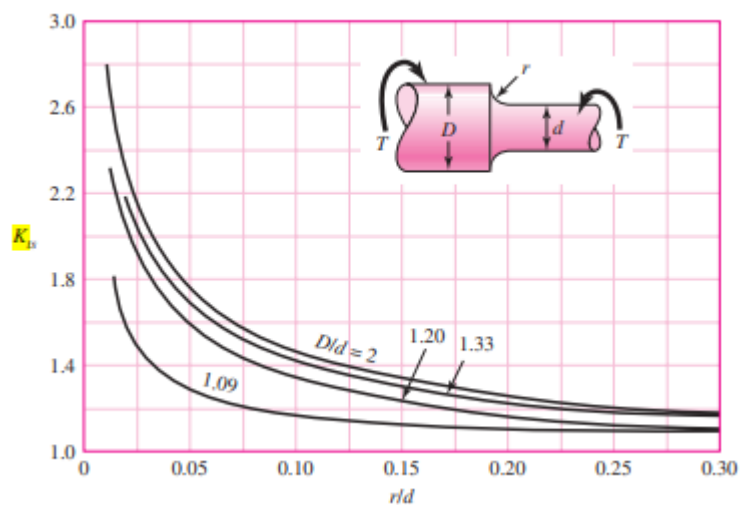
Confiabilidad, %	Variación de transformación $\alpha_c$	Factor de confiabilidad $k_c$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

### Anexo 19. Concentradores de esfuerzos.

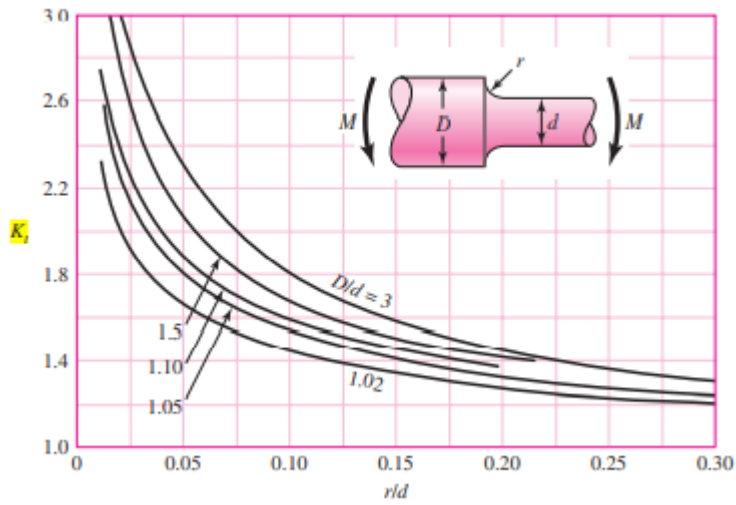
	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

### Anexo 20. Valor de la constante $K_t$ .



**Anexo 21.** Valor de la constante  $K_t$ .



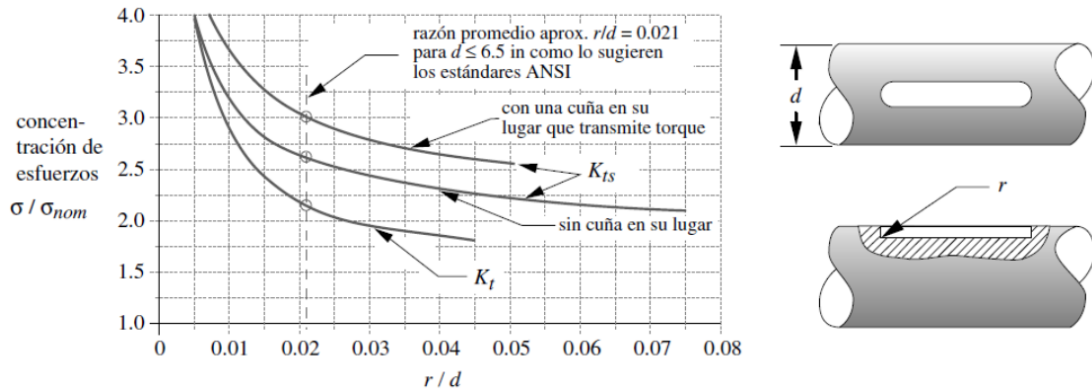
**Anexo 22.** Constante de Neuber para aceros.

$S_u$		$\sqrt{a}$			
		Carga axial y flexión		Torsión	
(ksi)	(MPa)	(in <sup>ks</sup> )	(mm <sup>ks</sup> )	(in <sup>ks</sup> )	(mm <sup>ks</sup> )
50	345	0.130	0.66	0.093	0.47
55	380	0.118	0.59	0.087	0.44
60	415	0.108	0.54	0.080	0.40
70	485	0.093	0.47	0.070	0.35
80	550	0.080	0.40	0.062	0.31
90	620	0.070	0.35	0.055	0.28
100	690	0.062	0.31	0.049	0.25
110	760	0.055	0.28	0.044	0.22
120	825	0.049	0.25	0.039	0.20
130	895	0.044	0.22	0.035	0.18
140	965	0.039	0.20	0.031	0.16
160	1100	0.031	0.16	0.024	0.12
180	1240	0.024	0.12	0.018	0.09
200	1380	0.018	0.09	0.013	0.07
220	1515	0.013	0.07	0.009	0.05
240	1655	0.009	0.05		

Los valores de la constante de Neuber para torsión equivalen a los de esfuerzos normales, cuando se toma un valor de  $S_u$  que sea 20 ksi (138 MPa) mayor que el del material.



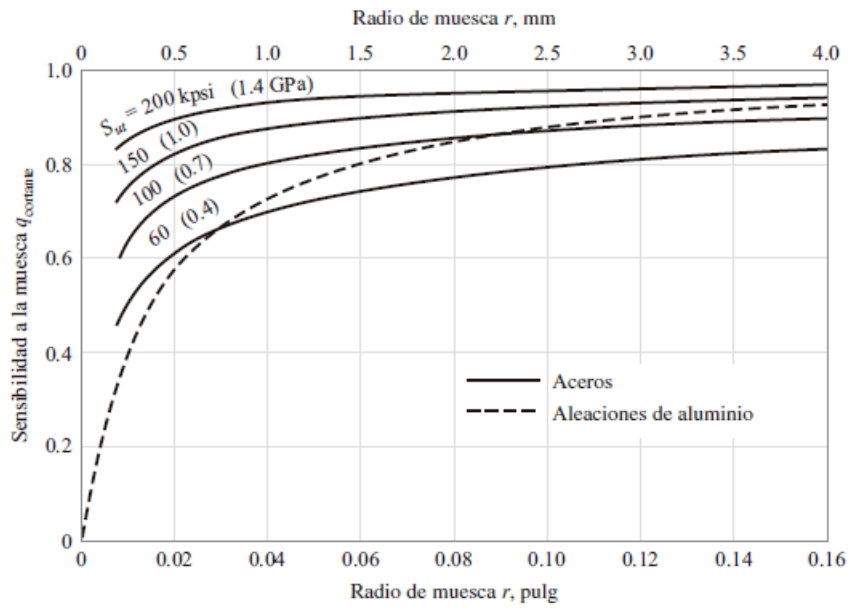
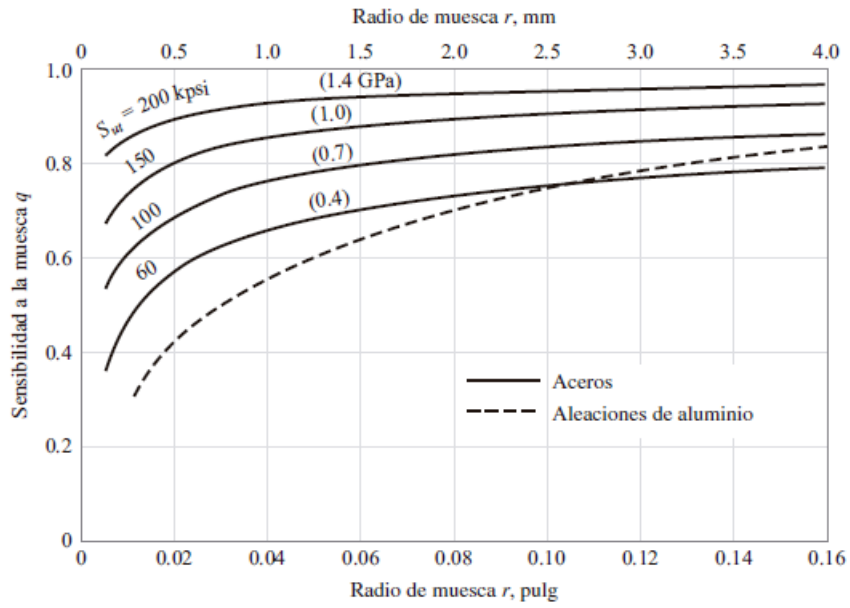
**Anexo 23.** Concentradores de esfuerzos para ranuras de chavetas.



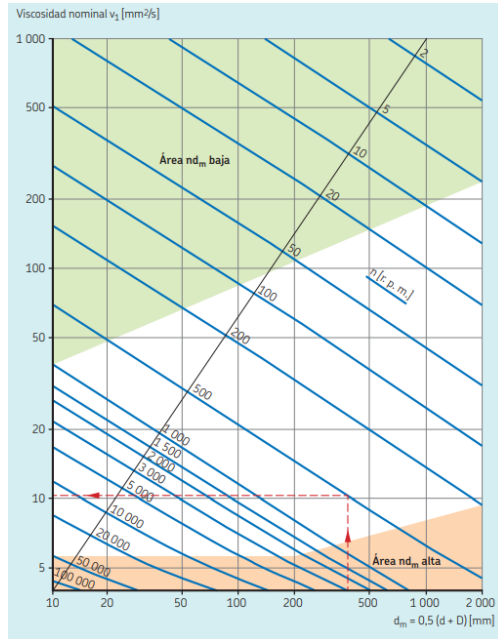
**Anexo 24.** Medidas de las chavetas según el diámetro del eje basado en la norma UNE 17102.

Diámetro del árbol $d$ , mm	Medida nominal de la chaveta, mm			Medida nominal del chavetero, mm			
	$b \times h$	Chafilán $\phi$		Profundidad		Radio $r$	
		máx	mín	En el árbol, $t_1$	En el cubot, $t_2$	máx	mín
6 a 8	2 x 2			1.2	1.0		
8 a 10	3 x 3	0.25	0.16	1.8	1.4	0.16	0.08
10 a 12	4 x 4			2.5	1.8		
12 a 17	5 x 5			3.0	2.3		
17 a 22	6 x 6	0.40	0.25	3.5	2.8	0.25	0.16
22 a 30	7 x 7			4.0	3.3		
22 a 30	8 x 7			4.0	3.3		
30 a 38	10 x 8			5.0	3.3		
38 a 44	12 x 8			5.0	3.3		
44 a 50	14 x 9	0.60	0.40	5.5	3.8	0.40	0.25
50 a 58	16 x 10			6.0	4.3		
58 a 65	18 x 11			7.0	4.4		
65 a 75	20 x 12			7.5	4.8		
75 a 85	22 x 14			9.0	5.4		
85 a 95	25 x 14	0.80	0.60	9.0	5.4	0.60	0.40
95 a 110	28 x 16			10.0	6.4		
110 a 130	32 x 18			11.0	7.4		
130 a 150	36 x 20			12.0	8.4		
150 a 170	40 x 22	1.2	1.00	13.0	9.4	1.0	0.7
170 a 200	45 x 25			16.0	10.4		
200 a 230	50 x 28			17.0	11.4		

### Anexo 25. Sensibilidad a la muesca q y qcort.



## Anexo 26. Viscosidad nominal.



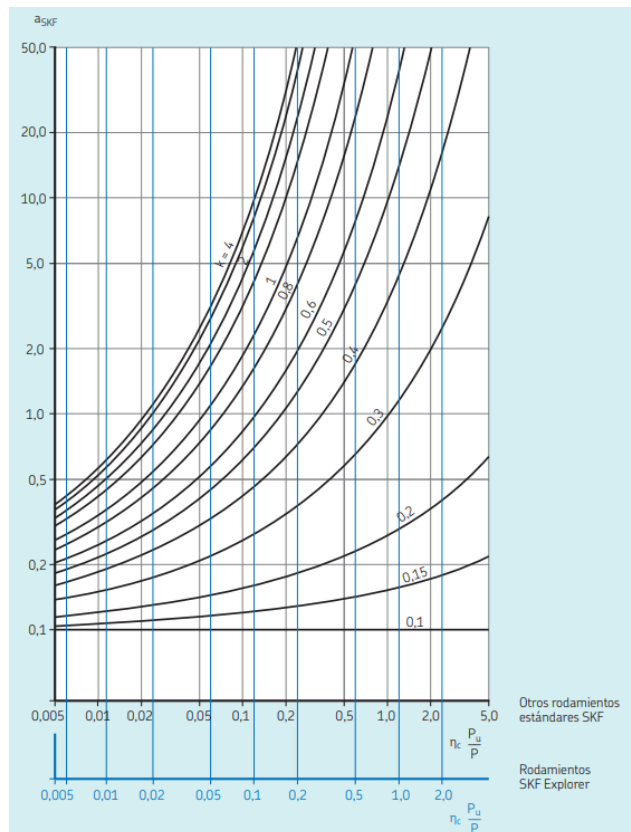
## Anexo 27. Viscosidad real.

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	mín.	máx.
–	mm <sup>2</sup> /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

## Anexo 28. Factor de contaminación.

Condiciones	Factor $\eta_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
<b>Limpieza extrema</b> • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1	1
<b>Gran limpieza</b> • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
<b>Limpieza normal</b> • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
<b>Contaminación ligera</b> • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
<b>Contaminación típica</b> • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
<b>Contaminación severa</b> • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
<b>Contaminación muy severa</b> • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de $\eta_c$ están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

## Anexo 29. Valores del factor $a_{SKF}$ .



### Anexo 30. factor de ajuste de la vida útil

**Tabla 3**

**Valores del factor de ajuste de la vida útil  $a_1$**

Confiabilidad	Probabilidad de falla $n$	Vida nominal SKF $L_{nm}$	Factor $a_1$
%	%	millones de revoluciones	–
90	10	$L_{10m}$	1
95	5	$L_{5m}$	0,64
96	4	$L_{4m}$	0,55
97	3	$L_{3m}$	0,47
98	2	$L_{2m}$	0,37
99	1	$L_{1m}$	0,25

### Anexo 31. Esfuerzo de ruptura de pernos (Kpsi).

SAE: Society of Automotive Engineers

NUMERO DE GRADO	MATERIAL	CARGA DE PRUEBA (KPSI)	ESFUERZO DE RUPTURA (KPSI)
1, 2	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	55 - 33	74 - 60
5	Acero al carbono, templado y revenido	85 - 74	120 - 105
5.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	85	120
7	Acero al carbono aleado, templado y revenido	105	133
8	Acero al carbono aleado, templado y revenido	120	150
8.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	120	150

ASTM: American Society for Testing and Materials

NUMERO DE GRADO	MATERIAL	CARGA DE PRUEBA (KPSI)	ESFUERZO DE RUPTURA (KPSI)
A307	Acero de bajo carbono	55 - 33	74 - 60
A325 tipo 1	Acero al carbono, templado y revenido	85 - 74	120 - 105
A325 tipo 2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	85 - 74	120 - 105
A325 tipo 3	Acero recubierto templado y revenido	85 - 74	120 - 105
A354 grado BC	Acero aleado, templado y revenido		
A354 grado BD	Acero aleado, templado y revenido	120	150
A449	Acero aleado, templado y revenido	85 - 74 - 55	102 - 105 - 90
A490 tipo 1	Acero aleado, templado y revenido	120	150
A490 tipo 3	Acero aleado, templado y revenido		

**Anexo 32.** Culminación del trabajo de titulación.



**DECOR**  
**PARQUÉT**  
TODO EN MADERAS®  
**ASERRADERO**

Dir.: Av. Víctor Hugo diagonal al Banco de Machala Telf.: 2415823 - 0997021773  
Web: [www.decorparquet.com](http://www.decorparquet.com) E-mail: [decorparquet@hotmail.com](mailto:decorparquet@hotmail.com)

## CERTIFICADO DE CULMINACIÓN

Ambato 08 de septiembre de 2022

Yo, **JUAN CARLOS YUMBOPATIN TISALEMA** en mi calidad de Gerente General de la Empresa **DECOR PARQUÉT**, me permito poner en conocimiento la culminación, entrega y aceptación del desarrollo del Trabajo de Integración Curricular bajo el Tema: **“DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA QUE UTILICE RESIDUOS DE MADERA PARA LA EMPRESA DECOR PARQUÉT EN LA CIUDAD DE AMBATO”** propuesto por los estudiantes PONCE RAMOS BRYAN ALEXIS, portador de la Cedula de Ciudadanía No. 1805098892 y VITERI CAIZA JORGE ESTEBAN, portador de la Cedula de Ciudadanía No 1803691896, estudiantes de la Carrera de Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Juan Carlos Yumbopatin Tisalema

1802398956

03 241 5823

099 702 1773

[decorparquet@hotmail.com](mailto:decorparquet@hotmail.com)

**Anexo 33. Planos.**