

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA LABORATORIO DE 40 Kg/h,
DE PLÁSTICO RECICLADO REFORZADO CON RESIDUOS DE MADERA: PARA
LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**JOHAN STIVEN NORATTO ROZO
ANDRES GIOVANNY RUIZ FAJARDO**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Orientador
Edgar Arturo Chalá Bustamante
Ingeniero Mecánico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.**

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Edgar Arturo Chalá Bustamante

Ing. Firma del Director
Firma del Presidente Jurado

Ing.
Firma del Jurado

Ing.
Firma del Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJIA GARZÓN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUÍS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. MARÍA ANGÉLICA ACOSTA PÉREZ

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de grado primeramente a **Dios** quien es el pilar central de mi vida, el cual me ilumino y me dio tranquilidad para llevar a cabo el desarrollo adecuado del mismo.

Agradecer de segunda mano a **mis padres y hermana** quienes estuvieron apoyándome desde del primer día de mi carrera de forma económica y principalmente aconsejándome para llevar a cabo con éxito mi formación profesional e integral.

Agradecer a cada miembro de **mi familia** quien me apporto su apoyo y conocimiento en diferentes áreas de la ingeniería y de la academia complementándome como persona integral y profesional.

Quiero agradecer a mi novia **Maritza Estefanía Pérez**, la cual me complemento como persona íntegra, como profesional y la cual es un pilar importante en mi vida, apoyándome y aconsejándome para alcanzar con éxito este trabajo y las diferentes metas propuestas.

Agradecer a mi compañero de tesis **Andrés Giovanni Ruiz Fajardo** quien fue un complemento y gran amigo siendo este fundamental para el diseño y elaboración de este trabajo, alcanzando con éxito cada logro y adquisición de conocimiento profesional.

Agradecer a cada uno de mis amigos, **Sebastián Rodríguez, Andrés Ruiz, Laura Vanegas, Sebastián Turry, Jairo Uscategui, Diego Rodríguez, Isaac Ramírez y Laura Rodríguez**, quienes fueron un pilar importante en mi crecimiento personal y profesional.

Por último, quiero agradecer al **capítulo estudiantil ASME Fundación Universidad de América** por permitir guiarlos y acompañarlos en todo el proceso de acreditación y así mismo de crecimiento continuo formándose como uno de los capítulos más importantes de la universidad y a nivel nacional.

Jhoan Stiven Noratto Rozo

DEDICATORIA

Primero quiero dedicarle este logro a Dios por darme la oportunidad de vivir esta experiencia siendo mi guía, mi camino y mi protector.

También agradecerle a mi familia ya que han sido lo más importante y además un gran apoyo en las decisiones que he tomado mi camino, a mi madre **Sulma Fajardo Suarez** por su amor incondicional, paciencia y esfuerzo para ayudarme a salir adelante siempre sin importar nada, a mi padre **Alex Orlando Ruiz** por su amor incondicional y esfuerzo, por ser ese guía y enseñarme a ser mejor persona siempre, a mi hermano **Diego Alexander Ruiz** Fajardo por todo el apoyo y guía en mis decisiones.

A **Karina Alejandra Plazas Henry**, llegaste a mi vida en un momento muy importante para mí, me has ayudado a mejorar muchas cosas que había dejado de lado y descuidado en mi vida, hemos compartido maravillosos momentos juntos, has sido mi apoyo en todas las cosas que me he propuesto, en los momentos más difíciles eres un gran apoyo emocional e incondicional. Espero seguir disfrutando juntos todos los logros que vienen en el camino.

A mis primos **Diana Carolina Bermúdez Fajardo** y **Andres Ernesto Mejía Villamil** por ser mi apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera por su paciencia y dedicación para enseñarme y ayudarme a mejorar como estudiante y ahora profesional.

Agradecer a mi compañero de tesis **Johan Stiven Noratto** quien fue un gran amigo y complemento fundamental la elaboración de este trabajo, para alcanzar con éxito cada logro y conocimiento que nos servirá en la vida profesional. A mis amigos **Paula Cortes, Johan Stiven Noratto, Jairo Uscategui Rodríguez, Laura Atara Araujo, Juan David Vélez Esquivel, Jean Pierre Betancourt, Daniel Gutiérrez, Jeisson Alvarado, Miguel Alvares** y otros amigos; por estar siempre para escuchar y darme su consejo para llegar hasta el final de esta etapa.

Andrés Giovanni Ruiz Fajardo

AGRADECIMIENTOS

Primero queremos agradecerle a Dios por darnos la salud y el bienestar para completar nuestros estudios logrando una meta importante para nuestra vida.

A el Ing. Edgar Arturo Chalá Bustamante por todo su conocimiento y entrega, sirviendo como guía para el desarrollo y culminación del proyecto de grado.

A todas las personas que gracias a su tiempo, entrega y colaboración fue posible llegar al desarrollo y presentación de este proyecto de grado.

A la Fundación Universidad de América por darnos la oportunidad de desarrollar nuestros estudios en el programa de pregrado en Ingeniería Mecánica, permitiéndonos formarnos como profesional siempre acompañados de un gran cuerpo de docentes.

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	17
Planteamiento del problema	18
Antecedentes	18
Pregunta de investigación.	22
Justificación.	23
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
Delimitaciones	25
2. TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS	26
Definición.	26
2.1.1 Peso molecular	28
Clasificación	30
2.1.2 Cadenas moleculares	30
2.1.3 Comportamiento Térmico	34
2.1.4 Polipropileno (PP).	37
2.1.5 Tipos de Polipropileno	39
2.1.6 Polipropileno reciclado.	40
Madera	43
Densidad	45
3. MATERIALES COMPUESTOS	46
Clasificación y selección	46
Función de la matriz en el material compuesto	49
Función de la matriz en el material compuesto	49
Función del refuerzo con fibras en los materiales compuestos.	49
Función del refuerzo con partículas.	50

Práctica de laboratorio	51
4. TECNOLOGÍA DE LA EXTRUSIÓN	60
Elementos principales de máquinas extrusoras.	61
4.1.1 Motor o motorreductor	62
4.1.2 Tolva.	64
4.1.3 Husillo de extrusión.	65
4.1.4 Barril o Armadura de extrusión.	66
4.1.5 Resistencias termoeléctricas.	66
4.1.6 Dado de extrusión.	67
4.1.7 Termo cuplas	68
Alternativas de diseño.	69
4.1.8 Extrusoras de desplazamiento positivo.	69
4.1.9 Identificación de alternativas.	72
4.1.10 Extrusión de fricción viscosa.	73
Método de selección alternativas	77
4.1.11 criterios a emplear.	78
4.1.12 Definición de los criterios de evaluación.	79
5. DISEÑO CONCEPTUAL	81
Sub sistema de la extrusora.	83
6. DISEÑO MATEMATICA	87
Potencia de accionamiento [N]	87
Dimensionamiento del Husillo	88
6.1.1 Diámetro mayor del Husillo [D]	88
6.1.2 Diámetro menor (Zona de Alimentación del Husillo) [D _a]	89
6.1.3 Diámetro intermedio Zona de Dosificación del Husillo [D _o]	90
6.1.4 Longitud del Husillo [L]	90
6.1.5 Longitud zona alimentación. [L _a]	90

6.1.6 Longitud Zona de transición [L_t]	91
6.1.7 Longitud zona de dosificación o compresión [L_d]	91
6.1.8 Profundidad del canal de alimentación [H_a]	92
6.1.9 Profundidad del canal de dosificación [H_d]	92
6.1.10 Paso hélice del husillo [t]	93
6.1.11 Angulo de la hélice del filete [φ]	93
6.1.12 Espesor del filete [e]	94
6.1.13 Huelgo del Husillo [δ]	94
Potencia suministrada por el motor [W_e]	95
6.1.14 Potencia requerida zona de alimentación [W_a]	95
6.1.15 Potencia requerida zona de dosificación	97
6.1.16 Potencia mecánica [W_m]	100
6.1.17 Potencia Calorífica [W_c]	100
6.1.18 Potencia Total Requerida [W_t]	101
Análisis de resistencia en el husillo	101
6.1.19 Fuerza Axial	102
6.1.20 Momentos presentes en el husillo	107
Cálculo de esfuerzos presentes en el husillo	109
6.1.21 Esfuerzo equivalente combinado	109
6.1.22 Esfuerzos principales	111
6.1.23 Análisis de esfuerzos a la falla	115
Comprobación de datos por métodos computacionales.	122
6.1.24 Análisis husillo sin redondeos.	122
6.1.25 Análisis husillo corregido.	126
6.1.26 Comprobación de cálculos en MATLAB	130
Dimensionamiento chaveta y chavetero en husillo	133
Selección de rodamientos	135

Dimensionamiento del barril	135
6.1.27 Diámetro inferior del barril [Di]	135
6.1.28 Espesor del barril	136
6.1.29 Diámetro exterior del barril.	137
6.1.30 Esfuerza Admisible del barril	137
6.1.31 Esfuerzos internos en el barril	138
6.1.32 Fatiga en el barril	141
6.1.33 Longitud del barril	143
6.1.34 Zona de alimentación del barril.	143
6.1.35 Longitud de la zona de alimentación del barril	144
6.1.36 Dimensionamiento ranura de alimentación barril	144
Flange de unión del barril.	146
Dimensionamiento de la tolva.	150
Selección de resistencias.	151
6.1.37 Calor transferido [q]	153
Selección de motorreductor.	157
Dimensionamiento de la estructura.	158
6.1.38 Selección de la soldadura de la estructura.	162
7. GUÍA DE LABORATORIO	163
8. MANUAL DE OPERACIÓN Y GUIA DE MANTENIMIENTO.	167
9. COSTOS DE FABRICACION APROXIMADOS DE LA MÁQUINA	187
10. ANALISIS AMBIENTAL	192
11. CONCLUSIONES	198
BIBLIOGRAFÍA	200
ANEXOS	203
Recomendaciones	203
Lista de planos	203

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Residuos de Bogotá en porcentajes.	22
Figura 2 Representación estructura de un monómero	27
Figura 3 Polímeros obtenidos por el método de adición.	27
Figura 4. Familia de polímeros por condensación	28
Figura 5. peso molecular en las propiedades mecánicas	29
Figura 6. Cambio de propiedades del polímero por temperatura.	29
Figura 7. Representación tipo de cadenas moleculares.	30
Figura 8. Representación gráfica de cadenas amorfas.	31
Figura 9. cizallamiento del polietileno en función de temperatura.	32
Figura 10. Estructura cristalina polímeros semicristalinos.	33
Figura 11. grado de cristalinidad de diferentes propiedades del polietileno.	34
Figura 12. Cadenas de polímeros termoestables o termofijos.	35
Figura 13. Representación de cadena de polímeros termoplásticos.	36
Figura 14. Estructura de maderas duras y blandas.	44
Figura 15. Clasificación de los materiales compuestos por su matriz	47
Figura 16. Módulo elástico VS resistencia mecánica	50
Figura 17. Prueba de llama clasificación polímeros.	51
Figura 18. Harina de madera.	52
Figura 19. Presentación de la materia prima para realizar probetas.	53
Figura 20. Prueba base medición de la dureza polipropileno.	54
Figura 21. Peso de la materia prima para probeta %P/P	55
Figura 22. Enfriamiento de las probetas	55
Figura 23. Prueba de dureza HR probeta %P/P	56
Figura 24. Peso de la materia prima para probeta %V/V	57
Figura 25. Enfriamiento de las probetas	58
Figura 26. Prueba de dureza HR probeta %V/V	59

Figura 27. Representación de las diferentes tecnologías de extrusión.	61
Figura 28. Motor eléctrico.	62
Figura 29. Motorreductor de ejes paralelos.	63
Figura 30. Representación de tolva con tornillo Crammer.	64
Figura 31. Partes y geometría generales del Husillo de extrusión.	65
Figura 32. Resistencia termoeléctrica.	67
Figura 33. Representación de diferentes dados de extrusión.	68
Figura 34. Representación gráfica funcionamiento termocupla.	69
Figura 35. Representación de extrusora con pistón sencillo.	70
Figura 36. Extrusora de bomba de engranes.	72
Figura 37. Representación de funcionamiento extrusión de rodillos.	74
Figura 39. Representación de la tecnología de extrusión por Husillo.	76
Figura 40. Caja negra general	81
Figura 41. Caja Negra Ampliada.	82
Figura 42. Diagrama de bloques de proceso operación extrusora.	86
Figura 43. Diagrama de cuerpo libre.	102
Figura 44. Circulo de Mohr	113
Figura 45. Simulación desplazamiento del husillo ángulo recto.	123
Figura 46. Simulación esfuerzo octaédricos presentes en el husillo.	124
Figura 47. Simulación esfuerzo de Von Mises presentes en el husillo.	125
Figura 48. Simulación deformación en el husillo.	126
Figura 49. Simulación desplazamiento del husillo redondeado.	127
Figura 50. Esfuerzos octaédrico del husillo redondeado.	128
Figura 51. Esfuerzo de Von Mises presentes con redondeos.	129
Figura 52. Simulación deformación en el husillo con redondeos aplicados.	130
Figura 53. Esquema cargas en sección del barril	139
Figura 54. Esquema ranura de alimentación	145

Figura 55. Dimensiones base y campana de la tolva	150
Figura 56. Esquema temperaturas presentes en el barril.	152
Figura 57. Diseño preliminar de la estructura.	158
Figura 58. Selección de perfil software ETABS V18.0	159
Figura 59. Selección de elementos principales de la estructura.	160
Figura 60. Implementación de cargas al modelo.	160
Figura 61. Resultados análisis de simulación.	161
Figura 62. Diseño de estructura final.	162

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características extrusoras para laboratorio de Brabender.	20
Tabla 2. Cristalización del polipropileno de alta y baja densidad.	33
Tabla 3. Valores de temperatura de transición vítrea.	37
Tabla 4. Ficha técnica del polipropileno (PP).	38
Tabla 5. Caracterización del PP reciclado.	42
Tabla 6. Ensayos de laboratorio para PP reciclado y PP virgen.	43
Tabla 7. Propiedades mecánicas típicas de la madera y varios refuerzos.	43
Tabla 8. Temperatura mínima soportada por el material.	48
Tabla 9. Asignación de ponderación.	79
Tabla 10. Ponderación de criterios.	79
Tabla 11. Asignación de ponderación lineal.	80
Tabla 12. Cálculo de método Scoring para cada alternativa.	80
Tabla 13. Parámetros y variables a tener en cuenta para diseño.	83
Tabla 14. Subsistemas de la máquina.	83
Tabla 15. Consideraciones adicionales.	87
Tabla 16. Factor G	96
Tabla 17. Dimensiones de chaveta según catálogo.	133
Tabla 18. Dimensionamiento de flange de unión del barril.	146
Tabla 19. Propiedades necesarias para cálculos de transferencia de calor	153
Tabla 20. Costos de fabricación.	188
Tabla 21. Relación de peso soldadura en filete por m lineal.	189
Tabla 22. Relación de peso de la soldadura a tope por m lineal.	190
Tabla 23. Costos de fabricación soldadura.	191
Tabla 24. Criterio de evaluación matriz EPM.	194
Tabla 25. Importancia en la matriz EPM.	196
Tabla 26. Matriz de impacto ambiental EPM.	196

RESUMEN

Este proyecto tiene como fin, realizar el diseño de una máquina extrusora de polipropileno reforzado con harina de madera, donde se busca ser implementada por la Universidad América en uno de sus laboratorios para completar la formación de los estudiantes inscritos a los programas de ingeniería, dando así herramientas para comprender procesos de fabricación con polímeros por medio de la evaluación y caracterización de materiales.

El estudio y la investigación de polímeros y materiales compuestos (Madera Plástica), además de la familiarización con procesos de producción es indispensable para afianzar y comprender los conocimientos del procesamiento de polímeros que permita comprender las variables a controlar en los procesos de fabricación con diferentes polímeros y materiales compuesto tales como la temperatura y la composición, para garantizar correctas características del material.

Por lo cual se lleva a cabo el diseño detallado, realizando los cálculos correspondientes de cada componente y subsistema de la máquina, comprobando por medio de software especializados de simulación los resultados obtenidos y finalmente fueron evaluados para su respectiva aprobación.

Una vez corroborado los datos, se elaboran planos correspondientes a cada sistema y subsistema de la máquina.

Por último, se realiza un análisis de costos de fabricación de la máquina, para proponer su posterior implementación por la Universidad América.

Palabras Clave: Husillo, extrusión, Madera plástica, Polímeros, Materiales Compuestos

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de los plásticos ha tenido un crecimiento bastante considerable, pues si se realiza un vistazo alrededor de cualquier hogar, en cualquier vehículo he inclusive en cualquier artículos personales de uso diario, encontramos muy pocos componentes de materiales diferentes al plástico.

Dia a día las directrices mundiales son más estrictas por la reutilización de estos elementos, causando el aumento de la implementación de máquinas capaces de no solo producir artículos plásticos que también puedan reaprovecharlos y darles nuevos usos y áreas de aplicación.

Por lo cual la Universidad de América ha venido implementando campañas de reciclaje y reutilización de estos materiales en su Eco-Campus, pero a medida que se ven los resultados obtenidos por las campañas, se toma la tarea de darle herramientas a los ingenieros egresados de procesamiento, producción y reutilización de materiales compuestos para diferentes áreas nuevas de implementación de polímeros reciclados.

Planteamiento del problema

El estudio y la investigación de polímeros y materiales compuestos (Madera Plástica), además de la familiarización con procesos de producción es indispensable para afianzar y comprender los conocimientos del procesamiento de polímeros adquiridos en las asignaturas de procesos e ingeniería de materiales de la Fundación Universidad de América.

Es por ello que se propone la adquisición de una máquina extrusora que permita comprender las variables a controlar en los procesos de fabricación con diferentes polímeros y materiales compuesto como temperatura, composición, presión y caudal para garantizar correctas características del material y por otro lado, dicho equipo preste la función de la fabricación de perfiles rectangulares que serán usados como probetas, para su estudio de propiedades físicas y mecánicas, complementando de esta manera las prácticas de laboratorio que se tienen implementadas en la asignatura de ingeniería de materiales, dando un valor agregado a una posible alternativa para el aprovechamiento de residuos generados en el ECO Campus Los Cerros como lo son polipropileno y madera, generando de esta manera un pensamiento de sostenibilidad, cuidado del medio ambiente y concientización de técnicas de reciclaje.

Antecedentes

La madera plástica, es un concepto que se ha venido utilizando a los perfiles de plástico que comprende la mezcla de varios polímeros, ya que su apariencia física es muy similar a la madera, en la actualidad se han hecho estudios de sus propiedades físicas y mecánicas y así mismo sus ventajas como el aumento de la flexibilidad, resistencia ambiental y reutilización de productos plásticos posconsumo, siendo de esta la opción más viable del reemplazo a la madera natural.

Por otro lado se han venido realizando estudios para reforzar este material con otros, convirtiéndolo así en un material compuesto, por un lado se ha intentado

realizar refuerzos de este con fibras naturales de desechos de cultivos de maíz y de cascarilla de ahorros, pero se ha demostrado que las características de la madera plástica aumentan aún más con refuerzos de fibras de madera de pino de Radiata [1], en Colombia la empresa Maderpol S.A.S realizó estudios de la composición de madera de pino y polipropileno para estibas usadas en la industria marítima, apoyados por la universidad EAFIT de Medellín [2], el cual realizó una clasificación de las propiedades físicas y mecánicas de este material compuesto aunque en la actualidad se están haciendo estudios de durabilidad, mimetización con el medio ambiente y resistencia a fenómenos naturales realizados en Estados Unidos y Europa [3].

La fabricación de polímeros reforzados con madera (madera plástica) en Colombia actualmente se han venido produciendo como alternativa innovadora de reciclaje y se ha venido desarrollando en diferentes ciudades, pero principalmente en Bogotá y Medellín siendo estas dos ciudades las dos principales generadoras de residuos plásticos. En Colombia existen organizaciones como Acoplasticos [4], en el sector de la producción de plásticos que fomentan el desarrollo y la producción de madera plástica como una alternativa para minimizar el impacto ambiental, pero diferentes empresas como en econciencia [5] han venido trabajando la madera plástica de la manera menos recomendada, dado que las máquinas utilizadas no tienen las mejores características para el desarrollo de estos materiales, debido a que se produce la madera por medio de la combinación de diferentes polímeros y usando máquinas de extrusoras ornamentales o con geometrías muy generales, las cuales no tienen en cuenta la composición del material ni las cargas que esta le puede provocar al husillo, generando así un material poco homogéneo y muy poroso con propiedades mecánicas muy variables.

Actualmente en la Fundación Universidad de América no se cuenta con estudios previos de las propiedades físicas o mecánicas de los polímeros o de materiales compuestos además no se ha desarrollado proyectos del diseño de una máquina para el procesamiento o extrusión de polímeros o materiales compuestos siendo esta una oportunidad para el desarrollo de este tipo de proyectos y permitir que se

genere una herramienta para el estudio de los polímeros y los materiales compuestos.

En la actualidad se encuentran varias empresas internacionales especializadas en la fabricación de extrusoras de laboratorio, las cuales tienen parámetros similares a sus productos.

Brabender [6], es una empresa alemana con aproximadamente 100 años de experiencia en el diseño y la fabricación de equipos de laboratorio, para análisis de polímeros, en la que en la actualidad manejan 11 tipos de extrusoras de laboratorio con diferentes dimensiones y aplicaciones, que van desde una capacidad de producción de 0.5 a 15 Kg/h, entregando parámetros de control en la temperatura, dosificación y RPM's para el control de la presión del fluido.

Tabla 1.
Características extrusoras para laboratorio de Brabender.

	Measuring Extruder 19/10 DW	Measuring Extruder 19/15	Measuring Extruder 19/20	Grooved Extruder 19/20	Measuring Extruder 19/25	Extrusiograph 19/25	Measuring Extruder/ Extrusiograph 19/32	Thermoset Extrusiograph 30/15	Measuring Extruder 30/25	Extrusiograph 30/25	Measuring Extruder/ Extrusiograph 30/32
Screw diameter D [mm]	19	19	19	19	19	19	19	30	30	30	30
Screw length [L : D]	10 D	15 D	20 D	20 D	25 D	25 D	32 D	15 D	25 D	25 D	32 D
Number of heating zones [H] and heating/cooling zones [HK]	1 HK	1 H 1 HK	1 H 1 HK	2 HK	1 H 2 HK	1 H 2 HK	1 H 3 HK	3 HK	4 HK	4 HK	5 HK
Electric heating power per zone [W]	1500	250 1500	1500	liquid	1500	1500	1500	liquid	2100	2100	2100
Max. operating temperature [°C]	300	450	450	350 ⁽¹⁾	450	450	450	350 ⁽¹⁾	450	450	450
Max. torque [Nm]	150	150	150	150	150	150	150	400	400	400	400
Number of measuring points for:											
Control temperature	1	2	2	2	3	3	4	3	4	4	5
Melt temperature	1	1	1	1	1	3	1 / 4	1	1	4	1 / 5
Pressure	1	1	1	1	1	3	1 / 4	1	1	4	1 / 5
Output dep. on material and speed [kg/h]	0.5 - 5	0.5 - 5	0.5 - 5	0.5 - 5	0.5 - 8	0.5 - 8	0.5 - 8	0.5 - 10	0.5 - 15	0.5 - 15	0.5 - 15
Compatibility:											
Plastograph EC Plus	•	•	•	•	•	•	•				
Lab-Station	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Nota: Selección de productos de Brabender tomada de <https://bit.ly/3ABHVOL> [En línea] visto el 25/11/2020.

Nanjing Tengda Machinery Co, Ltd. Es una empresa China dedicada a la fabricación de máquinas extrusoras de doble husillo de alta calidad la cual fomenta la investigación y el desarrollo, ofreciendo 3 tipos de extrusoras de doble husillo, en las cuales se diferencian por la capacidad de material entregado que varían entre 5 a 40 Kg/h con los que se especifica diferentes medidas de los husillos. Además, la empresa se especializa en el equipo de modificación de mezcla de polímeros plásticos con la extrusora de doble husillo [7].

Techland Systems [8] es una empresa española la cual ofrece diseño, fabricación y mantenimiento de extrusoras y maquinaria para la transformación de polímeros, la cual tiene una línea para extrusoras de laboratorio, ofreciendo 5 tipos de extrusoras, en las cuales se diferencian por la capacidad de material entregado que varían entre 6 a 36 Kg/h con los que se especifica diferentes medidas del husillo.

En conclusión, esta información entregada por los fabricantes, puede definir dimensiones fundamentales de la extrusora, como lo es el tamaño y la cantidad de producto ya que dichas empresas manejan relaciones y características similares, por otro lado permite identificar los parámetros de control y supervisión que se tienen que tener en cuenta a la hora de realizar una práctica de laboratorio o una investigación del diferentes procesos que se pueden realizar con estas máquinas, cabe destacar que para el manejo de los materiales compuestos es necesario contemplar las variaciones que cambian al realizar la mezcla de los materiales y la incidencia de la mezcla al momento de realizar la extrusión por esto es necesario delimitar las cargas máximas a las que va a estar sometida la máquina .

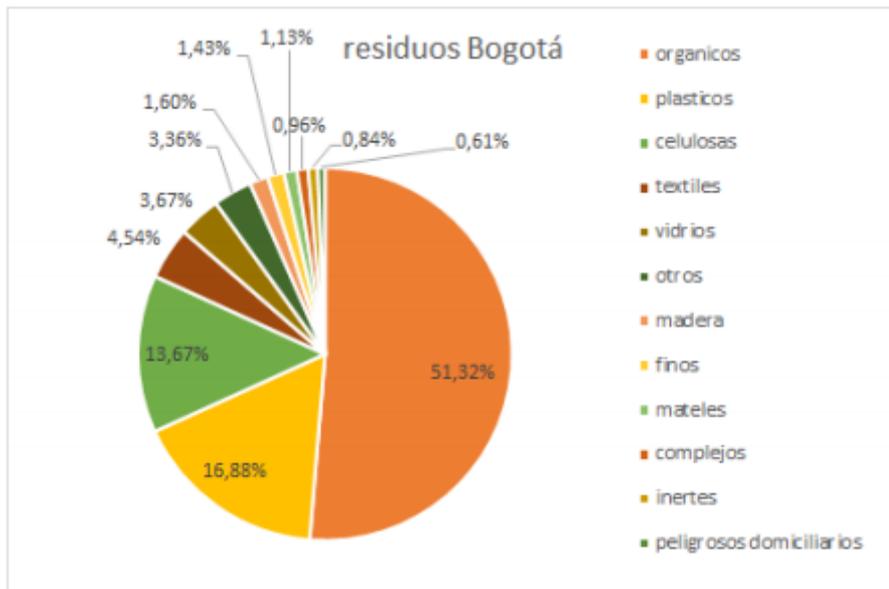
En los años 2018 y 2019, Colombia tuvo un aumento en la producción de productos plásticos de un 2,4% según el DANE [9], eso implica unas 26.000 toneladas de envases plásticos, 23.000 toneladas anuales de tapas plásticas y etiquetas para envases.

En estudios hechos por Ciudad Limpia de Bogotá S.A en el relleno sanitario Doña Juana, BOGOTÁ genera cerca de 12 millones de toneladas de basura al año, de las cuales se recicla en promedio un 17%. Solo en Bogotá se producen 6.300

toneladas de basura al día y solo se aprovechan entre el 14% y 15%, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Figura 1.

Residuos de Bogotá en porcentajes.



Nota: En esta figura se hace la representación gráfica del porcentaje de desechos generados por la ciudad de Bogotá disponible en: <https://www.habitatbogota.gov.co> [En línea] Visto el 25/11/2020.

Según la revista reportero industrial [10], la industria plástica representa el 15% del PIB manufacturero, emplea a cerca de 65.000 personas, cuenta con cerca de 650 empresas y fabricantes y alrededor de 2.500 establecimientos dedicados a plástico y similares (incluidos comercios), de los cuales en Bogotá se encuentran el 60% de la producción del país.

Pregunta de investigación.

¿Cómo es el diseño más adecuado para una máquina extrusora de plástico reciclado reforzado con residuos de madera que tenga una capacidad de 40 Kg/h para laboratorio de la Fundación Universidad de América?

Justificación.

En la sede del Eco-Campus los cerros de la Fundación Universidad de América, en donde está actualmente la facultad de ingenierías, cuenta con diferentes laboratorios de ingeniería mecánica. Los laboratorios en los cuales se pueden hacer investigación del comportamiento de fluidos y su interacción con turbomáquinas, análisis de tratamientos térmicos en materiales metálicos, mecanizado de materiales y pruebas físicas o mecánicas. Por lo cual es necesario complementar estos laboratorios con el estudio de procesos de transformación de polímeros, así como su composición y propiedades.

Como consiguiente, hace que los estudiantes de ingeniería mecánica cuenten con el conocimiento teórico de estos procesos, pero no se tenga una base práctica que lo complemente, dejando así una desventaja frente a la formación de ingenieros mecánicos en el país ya que una de las industrias más fuertes en Colombia [9] [10], es la de los plásticos.

Uno de los temas de investigaciones de artículos que son constantemente sometidos a la subsección de “Compuestos, Polímeros y Fibras” son las fibras naturales y materiales compuestos reforzados con éstas [11], las cuales permiten la creación y utilización de materiales biodegradables o más eco-amigables con el medio ambiente, abriendo de esta manera un nuevo campo de desarrollo en materiales que disminuyan la huella ambiental que se tiene actualmente, por lo cual es fundamental contar con un equipo que permita realizar diferentes perfiles de estos materiales compuesto para que facilite realizar pruebas físicas y mecánicas.

Actualmente la Fundación Universidad de América, no cuenta con un laboratorio para el estudio de estos materiales, por esto es recomendable la implementación de una máquina extrusora dado que esta sería la mejor opción entre los procesos de producción actuales ya que esta permite por medio de la configuración del dado realizar diferentes perfiles o geometrías, además de ello permite realizar una buena homogeneización del material y paletizado para poderlo utilizar en otros procesos diferentes como la inyección, rotomoldeo, etc.

Este proyecto además servirá como una herramienta que permitirá comprender las variables a controlar en los procesos de fabricación con diferentes polímeros y materiales compuesto como temperatura, composición, presión y caudal para garantizar correctas características del material y por otro lado, dicho equipo preste la función de la fabricación de perfiles rectangulares que serán usados como probetas, para su estudio de propiedades físicas y mecánicas, complementando de esta manera las prácticas de laboratorio que se tienen implementadas en la asignatura de ingeniería de materiales, dando un valor agregado a una posible alternativa para el aprovechamiento de residuos generados en el ECO Campus Los Cerros como lo son polipropileno y madera, generando de esta manera un pensamiento de sostenibilidad, cuidado del medio ambiente y concientización de técnicas de reciclaje.

Objetivo general

Diseñar una máquina extrusora de material plástico reciclado reforzado con residuos de madera para el laboratorio de la Fundación Universidad de América con el fin de elaborar perfiles rectangulares de material reciclado (madera 25% - polipropileno 75%) con una capacidad de 40 Kg/h

Objetivos específicos

1. Analizar las propiedades y características de materiales plásticos y compuestos con madera para extrusión y el estado del arte de la tecnología de extrusión para laboratorios.
2. Seleccionar la alternativa más adecuada de diseño conceptual para escoger la mejor solución al problema.
3. Diseñar a detalle la extrusora para el laboratorio con una capacidad de 40 Kg/h.
4. Elaborar plan de mantenimiento, guía de operación de la máquina y guía de laboratorio.
5. Evaluar financieramente el proyecto.

Delimitaciones

- Diseño mecánico a detalle de una extrusora de laboratorio para la fabricación de polímero reforzado con madera.
- Entrega de planos a detalle de la máquina extrusora para el futuro laboratorio de polímeros.
- Simular por elementos finitos en el programa NX y comprobación de cálculos en Matlab, que permita la verificación en los resultados obtenidos en los cálculos de diseño.
- Elaborar manuales de mantenimiento y operación que definan la correcta composición del material de extrusión y el correcto funcionamiento de esta.
- Elaborar guía de laboratorio para las prácticas en la extrusora.
- Elaborar un estudio financiero, que permitan determinar los costos de diseño y posterior fabricación de la máquina.
- La capacidad de la maquina será aproximada de 40Kg/h, dado el material de refuerzo usado.

Nota Aclaratoria: Todo lo que no esté descrito anteriormente, no hará parte del proyecto como lo es:

- Entrega de un prototipo o la construcción de máquina diseñada en el proyecto.
- Descripción del preproceso de la materia prima.
- El material deberá entrar en la maquina como una mezcla homogenizada según guía de laboratorio y manual de operaciones.

2. TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS

Definición.

Con el descubrimiento de los polímeros se logró un cambio importante en el desarrollo industrial, ya que muchos componentes de maquinarias fueron remplazados por estos debido a su costo y fácil fabricación.

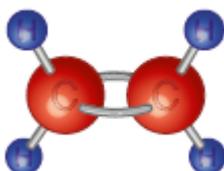
Los plásticos o también conocidos polímeros, son materiales que se dejan moldear fácilmente, ya que son materiales sintéticos o naturales que cuentan con macromoléculas con grandes pesos moleculares, pero con una estructura química simple. [12]

Su principal clasificación está dada por su forma de obtención, ya que estos pueden ser naturales como la celulosa, el almidón, las proteínas, el látex y las resinas naturales [13], Por otro lado, están los polímeros sintéticos, obtenidos principalmente de moléculas derivadas del petróleo, gas natural, carbón entre otros. [13]

Los polímeros sintéticos están formados por macromoléculas, las cuales son moléculas de gran tamaño formadas por la unión de varios monómeros, los cuales se observa en la figura 2; estos monómeros son moléculas de baja masa molecular, entre menor sea la unión de monómeros el polímero será de forma líquida como los aceites sintéticos o ceras, y entre mayor sea la repetición de monómeros el producto será sólido, esto es llamado grado de polimerización y es el que le da la característica principal a cada polímero que conocemos, ya que cada uno cuenta con su propio grado de polimerización, [12]

Figura 2

Representación estructura de un monómero



Nota. La figura muestra la estructura grafica de un monómero. Tomado de: S. L. Reynoso, Los polímeros plásticos, México, 2018.

Según James Shackelford como lo especifica en su libro Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, “Los polímeros son moléculas lineales o ramificadas, formadas por la repetición indefinida de grupos funcionales simples (monómeros) que se componen básicamente de C, H, O, N”. [12] La cual nos da paso para hablar de la síntesis de los polímeros, ya que como se mencionaba anterior mente, este es un factor importante para la clasificación y el nombramiento de los polímeros, también radica en el tipo de obtención de esto, por lo general los más usados como las poliolefinas, se obtienen por procesos de **polimerización por adición**, el cual trata de la adición de monómeros insaturados a una cadena de crecimiento, [12] algunos de los polímeros obtenidos por este método se pueden observar en la figura 3.

Figura 3

Polímeros obtenidos por el método de adición.

Abreviatura	Nombre	Monómero
PE	Poliétileno	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$
PP	Polipropileno	$\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_3)$
PS	Poliestireno	$\text{CH}_2=\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)$
PVC	Policloruro de vinilo	$\text{CH}_2=\text{CHCl}$
PAN	Poliacronitrilo	$\text{CH}_2=\text{CHCN}$
PMMA	Polimetacrilato de metilo	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{COO}-\text{CH}_3$
BUNA	Polibutadieno	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$
POM	Polióxido de metileno	$\text{CH}_2=\text{O}$

Nota. La figura muestra la información de los polímeros. Tomado de: J. F. Shackelford, Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, California: Pearson, 2005.

Otro proceso de obtención de polímeros, es la **polimerización por condensación** el cual consiste en la combinación de monómeros por medio de una reacción química de crecimientos por pasos, la cual deja un producto derivado que generalmente es agua [14]. En la figura 4 se pueden ver algunos de los polímeros que se obtienen por este método y que permiten un sinnúmero de combinaciones para formar diferentes familias [12].

Figura 4.

Familia de polímeros por condensación

	Reactantes	Polímero
Dioles	$\text{HOH}_2\text{C}-\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$	Poliésteres
Diácidos	$\text{HOOC}-\text{R}'-\text{COOH}$	$-\text{R}-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{R}'-$
Diaminas	$\text{H}_2\text{N}-\text{R}-\text{NH}_2$	Poliámidas
Diácidos	$\text{HOOC}-\text{R}'-\text{COOH}$	$-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-$
Dioles	$\text{HOH}_2\text{C}-\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$	Poliuretanos
Diisocianatos	$\text{OCN}-\text{R}'-\text{NCO}$	$-\text{R}-\text{CH}_2-\text{NHCOO}-\text{R}'-$

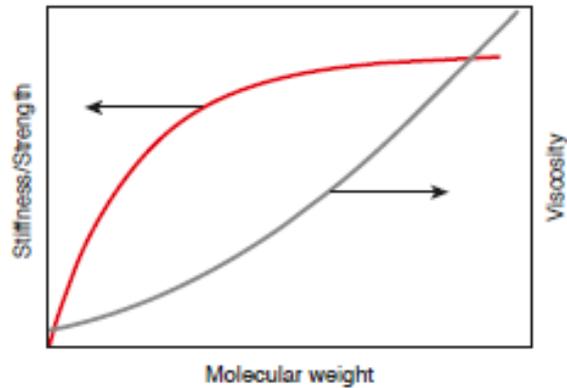
Nota: La figura muestra los polímeros obtenidos por condensación. Tomado de: J. F. Shackelford, Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, California: Pearson, 2005.

2.1.1 Peso molecular

Las cadenas de polímeros pueden llegar a ser muy similares entre sí o estar formadas por los mismos monómeros debido a su grado de polimerización, por lo cual esto permite que el polímero este fuertemente enlazado a su peso molecular [15], ya que este radica principalmente en sus propiedades mecánicas, por un lado un polímero que tenga un grado de polimerización demasiado alto, alrededor de 1.000 el polímero es rígido y quebradizo, mientras que el grado de polimerización es de grado 10, el polímero será pegajoso y bando [15], por lo cual se puede decir que el peso molecular está asociado también a la viscosidad del polímero, entre más alto sea el peso molecular, más alta será su viscosidad [12], como se puede ver en la figura 5.

Figura 5.

peso molecular en las propiedades mecánicas

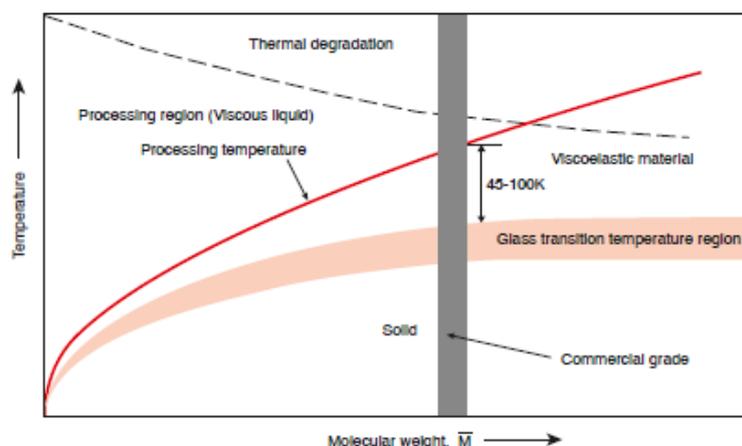


Nota. La figura muestra como el peso molecular aumenta la viscosidad. Tomado de: S. L. Reynoso, Los polímeros plásticos, México, 2018.

Es importante considerar que la viscosidad y el peso molecular es proporcional a la temperatura, afectando de esta manera las propiedades mecánicas del polímero, en la figura 6 se puede observar por medio de un diagrama, el cambio que sufren las propiedades del polímero y la viscosidad por medio del cambio en la temperatura [15].

Figura 6.

Cambio de propiedades del polímero por temperatura.



Nota. La figura muestra como el peso molecular aumenta la viscosidad. Tomado de: S. L. Reynoso, Los polímeros plásticos, México, 2018.

Clasificación

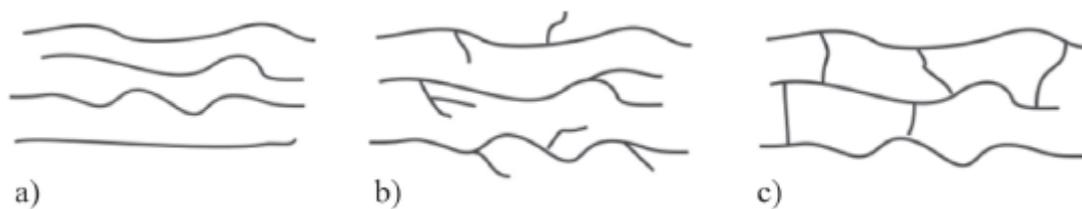
Los polímeros Tienen diferentes formas de clasificarse, estas pueden ser por su modo de obtención como se vio en la sección anterior, por su elasticidad (Elastómeros y cristalinos), o por sus propiedades mecánicas y físicas [14].

2.1.2 Cadenas moleculares

Los polímeros se pueden clasificar por medio del tipo de cadena que posee. Existen tres tipos de cadena, la cadena lineal, ramificada y entrecruzada como se muestra en a figura 7. Las cuales tienen incidencias importantes en sus propiedades mecánicas y físicas [13].

Figura 7.

Representación tipo de cadenas moleculares.



Nota: En esta imagen, se muestran los tres tipos de cadenas de polímeros que existen; A) Cadena lineal, B) Cadena ramificada y C) Cadena entrecruzada. Tomado de: T. M. Gutiérrez, Polímeros: Generalidades y tendencias de investigación en Colombia, Popayán-Colombia: Universidad del Cauca, 2019.

Estas cadenas son formadas por medio de su fuerza intermolecular dadas principalmente por las fuerzas de dispersión, efectos dipolo, enlaces de hidrogeno y enlaces primarios, entre mayor sea esta fuerza mayor será los enlaces primarios, secundarios, efectos dipolos fuerzas de dispersión [13].

Estas cadenas son formadas por medio de su fuerza intermolecular dadas principalmente por las fuerzas de dispersión, efectos dipolo, enlaces de hidrogeno y enlaces primarios, entre mayor sea esta fuerza mayor será los enlaces primarios, secundarios, efectos dipolos fuerzas de dispersión [13]. Las cadenas moleculares

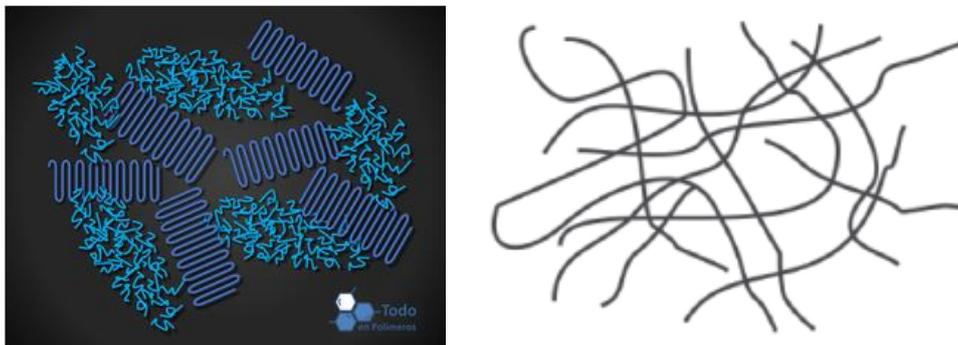
pueden asumir diferentes formas de organización, por un lado, están las cadenas que toman un orden regular llamados polímeros cristalinos o de lo contrario no contar con un orden en específico son llamados polímeros amorfos [13].

2.1.2.a Polímeros amorfos: Los termo plásticos amorfos, cuentan con una estructura aleatoria [3] cómo se observa en la figura 8, esto quiere decir que, al momento de solidificarse, no buscan un orden específico, dando propiedades físicas específicas [14].

Estos polímeros cuentan con un espacio entre la cadena, causando que los haces de luz pasen por ellos, lo que conlleva a que este tipo de polímeros sea transparente.

Figura 8.

Representación gráfica de cadenas amorfas.



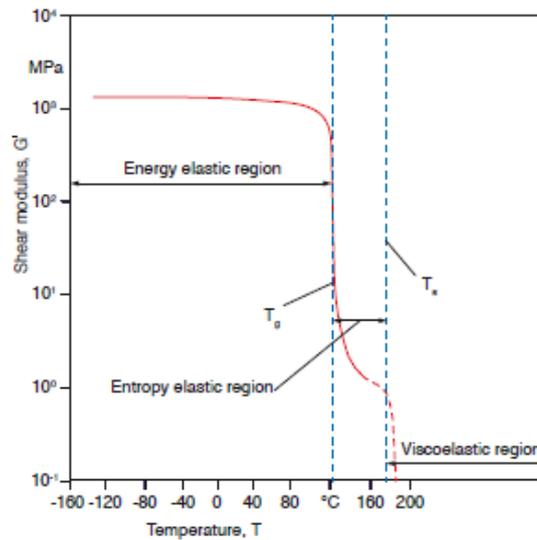
Nota: En esta imagen se muestra ejemplos de cómo se ve una cadena amorfa y las diferentes formas que esta toma. Tomado de: T. A. osswald, Material science of polymers for engineers, Munich: Hanser, 2012.

Este tipo de polímeros son por lo general flexibles y frágiles. Por otra parte, estos polímeros poseen un rango de cizallamiento el cual es esencial para poder controlar y manipular este polímero, ya que en este está comprendido la temperatura vítrea (T_s) el fluido para que este pueda fluir, aunque este tema será profundizado más adelante. En la figura 9 se muestra el diagrama de cizallamiento

del poliestireno, mostrando que no se necesitan temperaturas altas para alcanzar la temperatura vítrea (T_s) [15].

Figura 9.

cizallamiento del polietileno en función de temperatura.



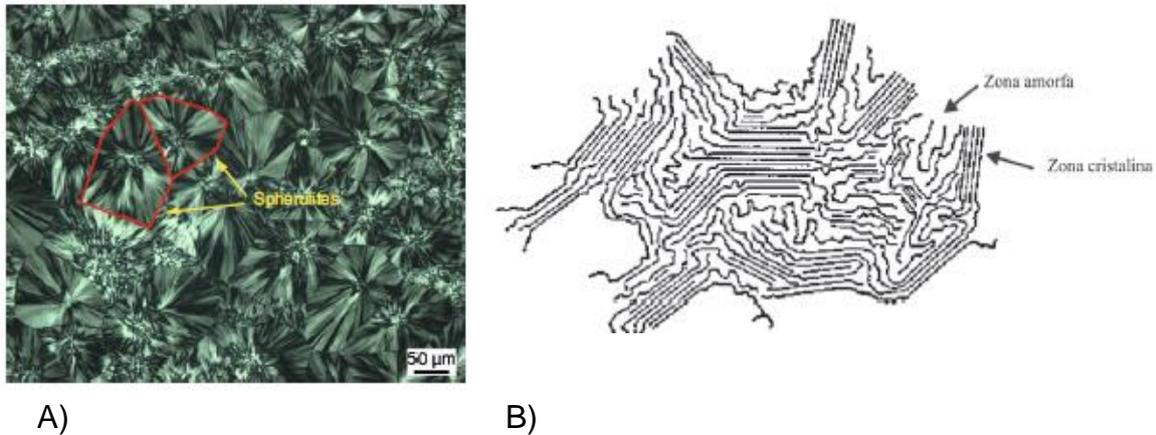
Nota: Esquema de cizallamiento en donde se muestra las temperaturas del material. Tomado de T. A. osswald, Material science of polymers for engineers, Munich: Hanser, 2012.

2.1.2.b POLIMEROS SEMICRISTALINOS

A diferencia de los polímeros amorfos, estos polímeros al solidificarse, buscan crear una forma ordenada de cristalitas como se observa en la figura 9 [14], esta estructura cristalina molecular generalmente sus cadenas poseen unas fuerzas intermoleculares mayores, causando que estos polímeros no dejen pasar la luz haciendo que estos materiales sean opacos.

Figura 10.

Estructura cristalina polímeros semicristianos.



Nota: Representación de formación semicristiana, en la imagen A) se muestra la formación de cristales por medio de esferulitas del polímero Polipropileno. En la imagen C) se muestra la formación semicristiana, en la cual está compuesta por una zona cristalina y una zona amorfa. Tomado de: T. A. osswald, Material science of polymers for engineers, Munich: Hanser, 2012.

Los polímeros semicristianos, basan sus características físicas y mecánicas debido a su grado de cristalinidad, el cual es afectado por las ramificaciones de sus cadenas cristalinas y la velocidad de enfriamiento de este. El grado de cristalinidad afecta también la resistencia y la densidad de este, como se muestra en la tabla 2, en donde se realiza una comparación entre un polímero cristalino de baja densidad con respecto a uno de alta densidad.

Tabla 2.

Cristalización del polipropileno de alta y baja densidad.

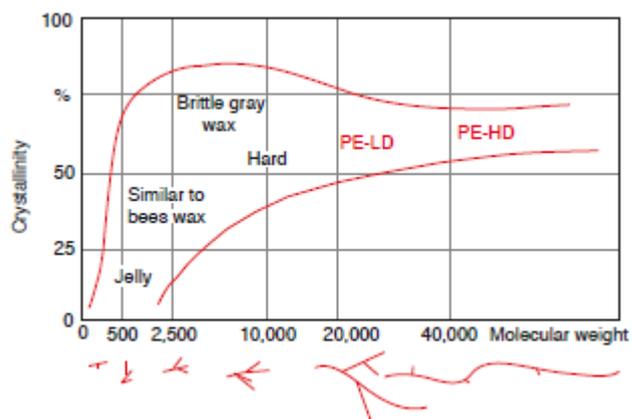
Property	Low density	High density
Density (g/cm ³)	0.91 - 0.925	0.941 - 0.965
% crystallinity	42 - 53	64 - 80
Melting temperature (°C)	110 - 120	130 - 136
Tensile modulus (MPa)	17 - 26	41 - 124
Tensile strength (MPa)	4.1 - 16	21 - 38

Nota: Representación de propiedades de cristalización del propileno según su densidad. Tomado de: T. A. osswald, Material science of polymers for engineers, Munich: Hanser, 2012.

Gracias a estas características, permite que los polímeros semicristalinos sea un polímero que soporte mayores cargas que los polímeros amorfos y que sean más flexibles que estos, ya que poseen módulos de elasticidad mayores entre 1.1- 1.5 Gpa con respecto a los amorfos que tienen un rango de módulo de elasticidad entre 0.1- 0.28 Gpa [15].

Figura 11.

grado de cristalinidad de diferentes propiedades del polietileno.



Nota: Se muestra el rango de cristalización con relación a la cadena cristalina, adquiriendo las propiedades mecánicas específicas. Toma do de: T. A. Oswald, Material science of polymers for engineers, Munich: Hanser, 2012.

2.1.3 Comportamiento Térmico

Los polímeros también se pueden clasificar por su comportamiento térmico, lo que hace la clasificación más importante si se desea trabajar con estos para algún proceso de fabricación industrial.

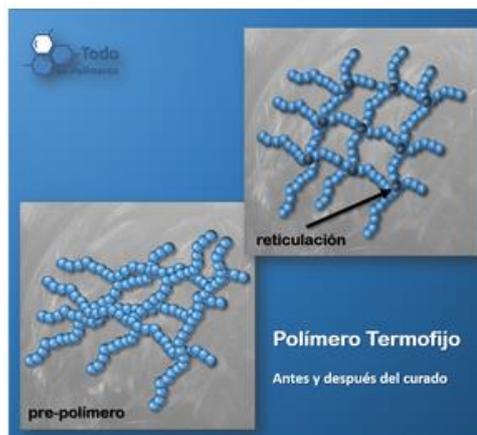
2.1.3.a Termo estables o termofijos: Los polímeros termoestables o también conocidos como termo fijos, son polímeros que no se funden o son insolubles [14], lo que causa que la estructura química de este polímero, se vea afectada por altas temperaturas, esto ocurre debido a que las cadenas de doble enlace se rompan por medio de la temperatura y estas busquen unirse a un enlace vecino [15].

Las cadenas de estos polímeros, forman una red de enlaces entrelazados y ordenados (figura 12), con fuertes enlaces covalentes, aumentando de esta manera la resistencia a la temperatura. Cuando estos son expuestos a altas temperaturas, las cadenas se compactan o se unen aún más hasta llegar al punto de degradarse cambiando rápidamente de estado sólido a gaseoso [14].

Las cadenas de estos polímeros, forman una red de enlaces entrelazados y ordenados (figura 12), con fuertes enlaces covalentes, aumentando de esta manera la resistencia a la temperatura. Cuando estos son expuestos a altas temperaturas, las cadenas se compactan o se unen aún más hasta llegar al punto de degradarse cambiando rápidamente de estado sólido a gaseoso [14].

Figura 12.

Cadenas de polímeros termoestables o termofijos.



Nota: Se muestra la estructura molecular del polímero tomado de: S.L.

Reynoso; los polímeros plásticos;
México 2018.

2.1.3.b Termo plástico: Los polímeros termoplásticos, son aquellos que pueden fundirse varias veces sin que estos presenten un cambio o degradación de este, es decir se funden cuando se calientan y se endurecen cuando se enfrían [14].

Cabe resaltar que los polímeros termoplásticos son también los polímeros amorfos anteriormente descritos, en la figura 13 se observa una de las estructuras de este.

Figura 13.

Representación de cadena de polímeros termoplásticos.



Nota: Se muestra la estructura molecular del polímero tomado de: S.L. Reynoso; los polímeros plásticos; México 2018.

Gracias a las propiedades de este tipo de polímeros se pueden realizar procesos de reciclaje y reutilización, el cual los hace ideales para procesos industriales y elementos de bajos costos.

Debido a que este tipo de polímeros es capaz de fundirse, es necesario hablar de la temperatura de transición, la cual permite el cambio de propiedades físicas y mecánicas para poder trabajar con estos materiales.

La temperatura de transición vítrea (T_g) es la temperatura que permite pasar el polímero de un estado duro y quebradizo a blandos y flexibles [13], basado en el cambio de su capacidad calorífica.

Por otro lado, si el polímero cuenta con una cadena cristalina a parte de la temperatura vítrea, tendrá **la temperatura de fusión (T_f)**, que generalmente es superior a la temperatura vítrea, provocando así el cambio de estado sólido a líquido directamente, cada polímero tiene rango distintivo de temperatura como se muestra a continuación en la tabla 3 [12].

Tabla 3.
Valores de temperatura de transición vítrea.

$^{\circ}\text{C}$	PE	NR	PP	PA6	PET	PVC	PS	PMMA
T_g	-115	-73	-20	53	613	81	100	105
T_f	137	(28)	176	265	265	213	240	
T_d	406				280-320			200

Nota: Se presentan las temperaturas de algunos polímeros, en donde el pp se refiere al polipropileno. Tomado de: S.L. Reynoso; los polímeros plásticos; México 2018.

2.1.4 Polipropileno (PP).

El polipropileno es un polímero termoplástico semicristiano amorfo, por lo cual lo hace un materia blando y flexible, haciendo de este uno de los materiales que mayor uso tiene, por su adaptabilidad con diferentes procesos como el de extrusión claro está.

Este material es obtenido por la polimerización del propileno, lo que lo hace ideal para usos en la industria alimenticia, resistente a diferentes químicos y ácidos a temperaturas ambientes, algunos usos de ingeniería por sus propiedades mecánicas como se muestra en la tabla 4 [16].

Tabla 4.
Ficha técnica del polipropileno (PP).

POLIPROPILENO			
PROPIEDADES MECANICAS	METODO TEST	UNIDAD	VALORES
Peso específico	DIN 53479	gr/cm ³	0.91
Resistencia a la tracción	DIN 53455	kg/cm ²	300
Resistencia a la compresión	DIN 53454	kg/cm ²	80/120
Resistencia a la flexión	DIN 53452	kg/cm ²	230
Resistencia al choque sin estalla	DIN 53453	kg.cm/cm ²	No rompe
Alargamiento a la rotura	DIN 53455	%	600
Módulo de elasticidad	DIN 53457	kg/cm ²	11500
Dureza	DIN 53505	Shore D	71-74
Resistencia al desgaste por roce			Regular
PROPIEDADES TERMICAS	METODO TEST	UNIDAD	VALORES
Calor específico	ASTM C-351	Kcal/kg.°C	0.48
Temperatura de uso continuo en aire		°C	0 a 100
Temperatura de fusión		°C	160
Coef. de dilatación térmica lineal de 23 a 1	DIN 52752	Por °C	0.00018
Coeficiente de conducción térmica	DIN 52612	Kcal/m.h. °C	0.19
PROPIEDADES ELECTRICAS	METODO TEST	UNIDAD	VALORES
Constante dieléctrica	DIN 52483		2.4
Absorción de humedad al aire	DIN 53472	%	< 0.01
Resistencia de volumétrica	DIN 53482	Ω*cm	> 10 a la 15
Resistencia superficial	DIN 53482	Ω	> 10 a la 16
Rigidez dieléctrica	ASTM D-149	kV/mm	50
PROPIEDADES QUIMICAS			
Contacto con alimentos	FDA		Aprobado
Resistencia a hidrocarburos			Regular
Resistencia a ácidos débiles a temp. Ambiente			Muy buena
Resistencia a álcalis débiles a temp. Ambiente			Muy buena
Efectos de los rayos solares			Lo afectan
Comportamiento a la combustión			Arde fácilmente
Propagación de llama			La llama se mantiene
Color de la llama			Azul punta amarilla

Nota: Propiedades mecánicas del polipropileno, tomada de ITC S.A.S disponible en [FICHA-TECNICA-POLYHARD-PP.pdf \(itcsas.com.co\)](https://www.itcsas.com.co/FICHA-TECNICA-POLYHARD-PP.pdf) [En Línea.] consultado el 26/02/2021.

El polipropileno como se puede analizar en la tabla 1, se puede concluir que cuenta con un resistencia a la tracción, rigidez y dureza altos, resiste altas cargas a impacto por su propiedades de recuperación elástica que posee, cabe aclarar que estas características se dan cuando el polímero es virgen, es decir que no ha pasado anterior mente por un proceso de reciclado o reutilizado [17].

2.1.5 Tipos de Polipropileno

El polipropileno se puede clasificar en 3 grupos importantes, el cual le da características al material importantes que se deben tener en cuenta dependiendo la aplicación que se desea.

2.1.5.a Polipropileno Homopolímero: Este tipo de polipropileno, está formado por cadenas poliméricas de igual estructura, generalmente está formado por cadenas de propileno, causando que este polipropileno tenga un alto grado de cristalización, causando de esta forma una rigidez elevada del material [18].

2.1.5.b Polipropileno Random o aleatorio: Este tipo de polipropileno, está formada por cadenas poliméricas de composiciones químicas diferentes, es decir que a lo largo de la cadena se encuentran uniones de cadenas por medio de copolímeros de etileno ubicándose de esta manera de forma aleatoria, causando así que el polipropileno tenga bajas formaciones cristalinas, por lo cual forma una transparencia importante en el material y un menos punto de fusión [18].

2.1.5.c Polipropileno de impacto: Este tipo de polipropileno, está formado mediante a la combinación de cadenas de polipropileno homopolímero con una cadena de polipropileno Random, causando de esta manera que el polímero resultante tenga propiedades de alta tenacidad a bajas temperaturas.

2.1.6 Polipropileno reciclado.

El polipropileno, después de haber pasado por un procesos de calentamiento hasta su temperatura de fusión y luego dejarlo enfriar nuevamente, pierde en un porcentaje del 1.03% de sus propiedades originales siendo un polímero virgen como se explicó anterior mente [17], ya que al querer reutilizarlo, se tiene, como primera medida realizar un separado de este por colores, ya que en la mayoría de los casos es mesclado con pigmentos llamados Master Batc, los cuales son hechos por medio de resinas poliméricas, por otro lado también pueden ser mezclados por pigmentos orgánicos, los cuales tienen alto contenido de carbono para que la mezcla sea más eficaz, por lo cual hace que el polímero este sobrecargado de otras sustancias químicas que al mezclarse entre sí, puede afectar la coloración final de los productos que se desee con la reutilización de este.

Como segundo proceso el PP reciclado, se tiene que triturar después de la separación de colores, para alcanzar hojuelas o partículas de entre 1 y 2 Cm que son medidas óptimas para el uso de este en procesos como la extrusión o la inyección, aunque en algunas industrias que se dedican a la venta del polipropileno reciclado, los venden en forma de pellets y no en hojuelas [17].

Luego de su trituración, el PP reciclado debe pasar por un proceso de lavado, ya que como este es un producto posconsumo, trae consigo residuos de comida, pegantes o adhesivos he incluso residuos peligrosos ya que eran parte de contenedores químicos. El lavado del PP se realiza con agua y 2% de contenido de soda caustica por cada litro de agua usada en el proceso [17].

Es importante que el PP no contenga ningún tipo de humedad, ya que puede presentar problemas en el producto final como burbujas en el interior de este, por lo cual se debe realizar un secado de este por medio de secado centrifugo o por calentado en horno a una temperatura no mayor que la temperatura vítrea o de fusión, para no causar la fluidez del material [17].

Teniendo en cuenta todo el procesos de reutilización anteriormente mencionado, la universidad EAFIT de Medellín, Colombia, realizo un estudio de caracterización del PP reciclado [17], para determinar que tanto cambia el PP reciclado con respecto al PP virgen y que propiedades recupera el PP reciclado si se mezcla en un porcentaje con el PP virgen, obteniendo los resultados que se aprecian en la tabla 5.

Tabla 5.
Caracterización del PP reciclado.

Propiedades físicas			
	Valor	Unidades	Método de ensayo
Densidad	0,96	g/cm ³	ASTM D1895-96
Densidad aparente	0,33	g/cm ³	ASTM D1895-96
Factor de empaquetamiento	0,97	N.A	ASTM D1895-96
Propiedades reológicas			
	Valor	Unidades	Método de ensayo
Índice de fluidez volumétrico, MVR	13,5	cm ³ /10min	ASTM D 1238-2004c
Temperatura	230	°C	ASTM D 1238-2004c
Carga	2,16	kg	ASTM D 1238-2004c
Propiedades mecánicas			
	Valor	Unidades	Método de ensayo
Módulo de elasticidad	1474	MPa	ASTM D 638-02a
Resistencia a la tracción	30,485	Mpa	ASTM D 638-02a
Alargamiento a rotura	8	%	ASTM D 638-02a
Propiedades térmicas			
	Valor	Unidades	Método de ensayo
Temperatura de fusión	220	°C	ASTM D4101 - 14
Moldeo por inyección, temperatura de la masa	220	°C	ASTM D4101 - 14
Moldeo por inyección, temperatura del molde	80	°C	ASTM D4101 - 14
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	70	°C	ASTM D4101 - 14
Propiedades Químicas			
	Descripción		
Absorción de agua	Baja		
Absorción de humedad	Superficial		
Alcoholes	Buena		
Grasas y Aceites	Aceptable		

Nota: Representación de las propiedades físicas y mecánicas del Polipropileno posconsumo. Tomado de “caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen”, disponible en [*Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen \(eafit.edu.co\)](http://eafit.edu.co) [En Línea] Consultado el 02/03/2021.

Como se mencionó en los párrafos anteriores, este mismo estudio muestra los resultados obtenidos de ensayos para determinar su modulo elástico, resistencia a la tracción y porcentaje de alargamiento de PP virgen, PP reciclado y con algunos porcentajes de mezcla entre ellos, como se muestra en la tabla 6, en la cual encontramos el 14%, 25% y 8% de diferencia el uno del otro respectivamente [17].

Tabla 6.

Ensayos de laboratorio para PP reciclado y PP virgen.

Propiedades mecánicas probetas	Probeta 100% Polipropileno virgen	Probeta 70-30% Polipropileno virgen-Polipropileno reciclado	Probeta 70-30% Polipropileno reciclado-Polipropileno virgen	Probeta 50-50% Polipropileno virgen-Polipropileno reciclado	Probeta 100% Polipropileno reciclado
Módulo de elasticidad (Mpa)	1746	1674	1576	1516	1474
Resistencia a la tracción (Mpa)	38	37,485	37,955	34,385	33,175
Alargamiento a rotura (%)	25	15	10	11	9

Nota: Representación de resultados de laboratorio, realizados por medio de normas ASTM D 638-02^a, en el cual demuestra claramente la pérdida de propiedades al reutilizar el PP. Tomado de “caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen”, disponible en [*Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen \(eafit.edu.co\)](http://*Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen (eafit.edu.co) [En Línea]) [En Línea] Consultado el 02/03/2021.

Madera

La madera contiene polímeros naturales como lignina, celulosa y varias hemicelulosas, pero tiene propiedades muy diferentes a las de los polímeros sintéticos con los que se combina con mayor frecuencia. La estructura y la anatomía eficientes, la convierten en un material rígido, fuerte, resistente y liviano que puede realizar de manera eficiente funciones como el transporte de humedad que son críticas para la supervivencia del árbol. Su excelente rendimiento material y su bajo costo lo han convertido en un material estructural muy útil que ha sido aprovechado durante milenios lo que ha permitido estudiar las profundidades las propiedades mecánicas típicas de la madera y así poder compararlas con otros tipos de refuerzos. [19]

Tabla 7.

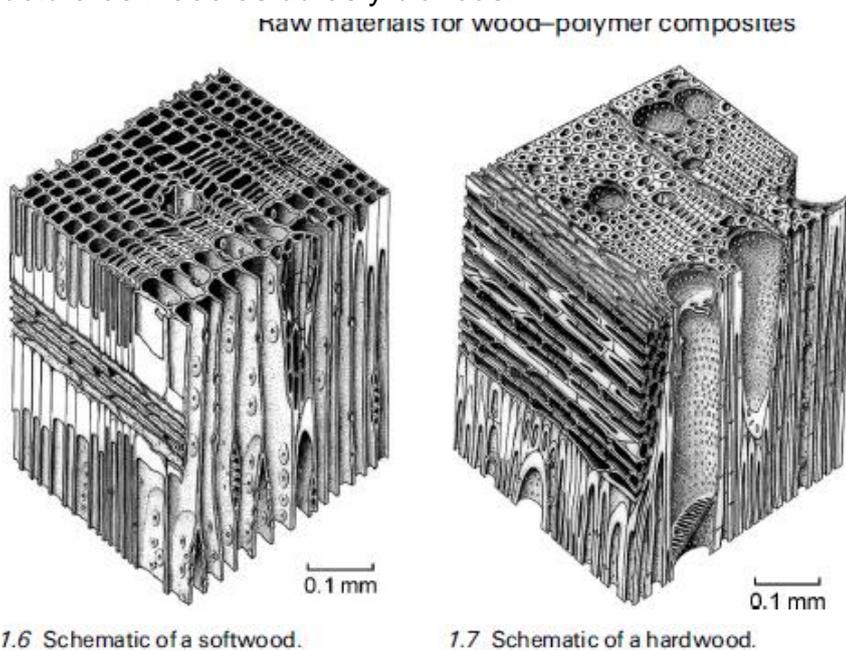
Propiedades mecánicas típicas de la madera y varios refuerzos.

Material	Módulo de tensión (GPa)	Fuerza de tensión (MPa)	
Madera de pino del sur Sulfato de pino del sur	12-27(∥) 0.7-1.4(⊥)	100-200(∥) 3-5(⊥)	Kretschmann and Green (1996)
fibra de pulpa	5±10	350±700	Mark (1967)
Fibra de lino	26±107	750±1100	Mark (1967)
Fibra de vidrio electrónico	76	1500	Xanthos (2005)
Fibra de carbono	230±340	3200±2500	Xanthos (2005)

Nota: Propiedades mecánicas de diferentes productos usados como refuerzo en la industria de los polímeros. Tomado de: Petrocuyo, Petrocuyo [En línea] tomado de <http://www.petrocuyo.com/es/tecnologia/el-polipropileno>.

Figura 14.

Estructura de maderas duras y blandas.



Nota: Se muestra la estructura de la madera de pinos y abetos Disponible en. Kristiina Oksman Niska, Mohini Sain, Institute of Materials, Minerals, and Mining. - Wood-polymer composites-CRC Press Cambridge, England (2008)

Por lo general la longitud de las fibras de madera que son obtenidas en procesos de fabricación, están alrededor de 1 mm en maderas duras y entre 3 y 8 mm en maderas blandas con diámetros de entre 15 y 45 μm [19].

Densidad

<<Aunque la densidad de la pared celular de madera es de aproximadamente $1,44 \pm 1,50 \text{ g/cm}^3$ (Kellogg, 1981), la anatomía porosa de la madera sólida da como resultado densidades de $0,32 \pm 0,72 \text{ g/cm}^3$ ($20 \pm 45 \text{ lb/ft}^3$) cuando están secos (Simpson y TenWolde, 1999). No sorprendentemente, la producción de rellenos y refuerzos de madera materiales con densidades a granel que son significativamente más bajas que la madera. Para, por ejemplo, la densidad a granel de la harina de madera depende de factores como la humedad contenida, tamaño de partícula y especies, pero por lo general es de aproximadamente $0,19 \pm 0,22 \text{ g/m}^3$ ($12 \pm 14 \text{ lb/ft}^3$)>> [19].

<<Aunque la densidad de la pared celular de madera es de aproximadamente $1,44 \pm 1,50 \text{ g/cm}^3$ (Kellogg, 1981), la anatomía porosa de la madera sólida da como resultado densidades de $0,32 \pm 0,72 \text{ g/cm}^3$ ($20 \pm 45 \text{ lb/ft}^3$) cuando están secos (Simpson y TenWolde, 1999). No sorprendentemente, la producción de rellenos y refuerzos de madera materiales con densidades a granel que son significativamente más bajas que la madera. Para, por ejemplo, la densidad a granel de la harina de madera depende de factores como la humedad contenido, tamaño de partícula y especies, pero por lo general es de aproximadamente $0,19 \pm 0,22 \text{ g/m}^3$ ($12 \pm 14 \text{ lb/ft}^3$)>> [19].

3. MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son aquellos materiales que han mejorado las propiedades físicas y mecánicas de los convencionales, estos se componen de la mezcla de dos o más materiales donde no logran mezclarse entre sí, por ende, ninguno pierde sus propiedades y mejora las propiedades del otro.

Los materiales compuestos le han permitido a la industria un gran avance ya que han disminuido el peso de los elementos y aumentado la resistencia a la carga de estos. Siendo estos materiales los más utilizados en aplicaciones exigentes donde otro tipo de materiales no soportarían o serían menos óptimos.

Desde la antigüedad se han utilizado materiales compuestos para mejorar la resistencia de las construcciones, haciendo mezcla de diferentes fibras naturales con arcillas u otros compuestos para disminuir la creación de grietas, a lo largo del tiempo la utilización de estos materiales ha ido mejorando hasta el punto que se han creado los denominados materiales compuestos de alta resistencia el desarrollo de estos ha sido en su mayoría en el último siglo, se caracterizan por ser reforzados con fibras continuas de altas características, estos materiales son fuertemente anisó trópicos, permitiendo de esta manera que se genere in diseño de los materiales adaptado a las geometrías y a la cargas mecánicas previstas para la estructura. [12]

Clasificación y selección

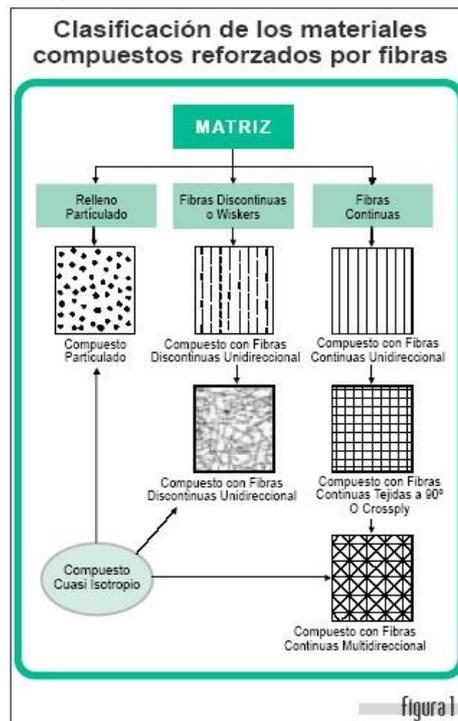
La clasificación de los materiales compuestos viene dada por las características que debe tener el material para la aplicación a utilizar, ya que los materiales compuestos están formados por dos fases volviéndose así una estructura monolítica es necesario entender la función que cumple cada una de ellas, una de ellas la fase discontinua (refuerzo) es la responsable de brindarle al material las propiedades mecánicas, y la otra la fase continua (matriz) que le brinda las propiedades térmicas y ambientales al material. La selección de las fases para la

composición del material viene dada por diferentes clasificaciones la primera depende de forma del refuerzo (matriz):

- ✓ Material compuesto granulares o de relleno particulado
- ✓ Material compuesto de fibra corta o fibras discontinuas
- ✓ Material compuesto de fibra larga o fibras continuas

Figura 15.

Clasificación de los materiales compuestos por su matriz.



Nota: Materiales compuestos poseen una clasificación según la estructura que tomen. Tomado de. Kristiina Oksman Niska, Mohini Sain, Institute of Materials, Minerals, and Mining. - Wood-polymer composites-CRC Press Cambridge, England (2008).

La siguiente forma de clasificación viene dada por el tipo de refuerzo (matriz) estos pueden ser:

- ✓ Polimérica
- ✓ Cerámica
- ✓ Metálica

La selección del tipo de refuerzo debe estar dada por la temperatura de servicio a la que debe estar sometido el material [12]

Tabla 8.
Temperatura mínima soportada por el material.

Tipo de matriz	Poliméricas	Metálicas	Cerámicas
Temperaturas límite de trabajo	200°C	Hasta la casi la temperatura de fusión de la aleación	Temperaturas extremas (650°C – 1400°C)

Nota: El material de refuerzo que se requiere, debe de cumplir unas características de trabajo específicas. Toma do de. Kristiina Oksman Niska, Mohini Sain, Institute of Materials, Minerals, and Mining. - Wood-polymer composites-CRC Press Cambridge, England (2008).

El tipo de fabricación es otro punto relevante para las propiedades finales que pueda tener el material y para la geometría que este pueda tener. Por ende es indispensable tener en cuenta el sistema de fabricación para la selección del material ya que este nos puede determinar la aplicación para la cual servirá el material compuesto, por ejemplo a partir de una pre impregnados, que son los más utilizados en las industria aeronáutica donde se requieren las mejores prestaciones en los materiales o los procesados por prensa SMC que son los más utilizados actualmente en la industria automotriz ya que es un factor muy importante que estos permiten la reducción de costos y las mecanización del proceso además siendo medida su calidad por el volumen de fibra y las posible orientación de esta.

Por otra parte, el tipo de fibra nos da la identificación del material algunos de los acrónimos más comunes son CFRP (*Carbón Fiber Reinforced Plástico*), GRP (*Glass*

Reinforced Plástico) y AFRP (*Aramid Fiber Reinforced Plástico*) los cuales corresponden a plásticos reforzados con fibras. [12]

Función de la matriz en el material compuesto

Dentro de los materiales compuestos la matriz cumple un papel importante en cuanto a las condiciones de trabajo ambientales que pueda soportar el material compuesto dado que es la encargada de mantener la fibra en su lugar, así como de aislarla, permitiendo de esta manera que la fibra pueda soportar las cargas de una mejor manera. Se ha demostrado que para que un material compuesto sea eficaz debe poder contener el mayor volumen posible de fibra por su relación de propiedades mecánicas por eso es necesario que la impregnación de la matriz con las fibras alta.

Función de la matriz en el material compuesto

Dentro de los materiales compuestos la matriz cumple un papel importante en cuanto a las condiciones de trabajo ambientales que pueda soportar el material compuesto dado que es la encargada de mantener la fibra en su lugar, así como de aislarla, permitiendo de esta manera que la fibra pueda soportar las cargas de una mejor manera. Se ha demostrado que para que un material compuesto sea eficaz debe poder contener el mayor volumen posible de fibra por su relación de propiedades mecánicas por eso es necesario que la impregnación de la matriz con las fibras alta.

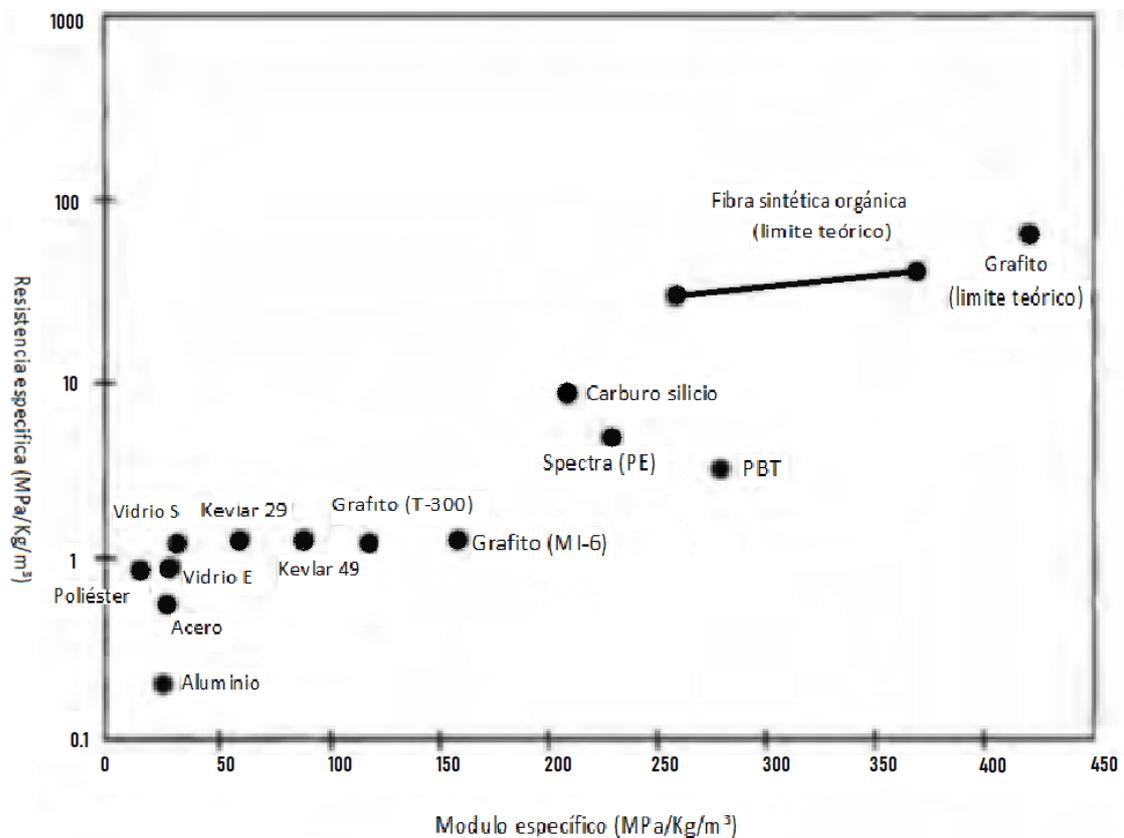
Función del refuerzo con fibras en los materiales compuestos.

Para el refuerzo de los materiales compuestos cuando un material está presente en forma de fibras sus propiedades mecánicas son superiores varían tanto su rigidez como su resistencia esto se debe a que el comportamiento del material cambia debido a la ausencia dominante de defectos que impiden la respuesta del material, esto fue demostrado en 1920 por Griffith, al ensayar barras de vidrio de

diámetros inferiores cada vez. Se percato que aumentaba la resistencia mecánica ya que es más difícil la presencia de defectos de gran tamaño en el material es por esto que como se muestra en la figura 15 se modifica la resistencia mecánica de diferentes materiales al estar presentes en forma de fibras. [12].

Figura 164.

Módulo elástico VS resistencia mecánica



Nota: Se muestra la influencia del módulo elástico frente a la resistencia mecánica en relación de la densidad. Tomado de J. F Shackelford, Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, california: Pearson 2005.

Función del refuerzo con partículas.

Los refuerzos de este tipo en los materiales compuestos generan que características mecánicas sean isotrópicas ya que permiten la mezcla de ambos materiales homogéneamente ya que siendo su refuerzo de partículas equiaxiales

(las dimensiones de las partículas son aproximadamente iguales) permite también que las características del material compuesto aproveche las especificaciones de ambos los materiales, además de facilitar el proceso de elaboración del material compuesto reduciendo de esta manera los costos de fabricación del material. [12]

Práctica de laboratorio

Se realizó una práctica de laboratorio, el día 21 de mayo de 2021, en donde se realizaron experimentalmente 2 probetas de madera plástica con el fin de determinar las propiedades físicas de dicho material con relación al % p/p y al % v/v de cada uno de los compuestos.

Primero se realizó una selección de los materiales donde se observó que existen diferentes tipos de plásticos y maderas las cuales pueden afectar la calidad del producto deseado.

Figura 17.

Prueba de llama clasificación polímeros.



Nota. Como se puede observar el polipropileno nos da una llama azul tenue característica a diferencia de otros polímeros.

La selección del material plástico se hizo teniendo en cuenta que se va utilizar polipropileno, para esto se determinó por medio del análisis de llama si las tapas recolectadas son del material requerido, donde se caracteriza el tipo de polímero

según el color de la llama durante la combustión, como podemos observar en la imagen la tapa de color blanco la cual proviene de empaques Tetrapak arroja una llama amarilla la cual no es característica del polipropileno el cual presente una llama de color azul claro como lo podemos observar en la tapa de color rojo que proviene de un empaque de bebida gaseosa.

Figura 158.

Harina de madera.



Nota. *Harina de madera utilizada en las probetas no puede ser residuos de aglomerado.*

Para la madera se escogió harina de madera la cual puede ser de cualquier tipo de madera reciclada teniendo en cuenta que esta no puede ser de madera aglomerada ya que está en su proceso de aglomeración se le agregan ciertos aditivos los cuales cambian sus propiedades por ende se afectaría la calidad de la madera plástica.

Ya después de seleccionados los materiales, para el polipropileno se procedió a cortarlo en trozos pequeños y la madera se dejó intacta como podemos observar en la siguiente imagen.

Figura 19.

Presentación de la materia prima para realizar probetas.



Nota. Se le pica la materia prima en pedazos de tamaño similar para facilitar la homogenización de la mezcla

Esto se hace con el fin de lograr una mejor homogenización del material a producir de manera experimental, además de esto se agregaron 20 mL de acetona pura a la mezcla con el fin de lograr una mejor fundición del polipropileno, dejando evaporar la acetona pura al ambiente para evitar que dentro de la mufla ocurra una combustión; esto se realiza dado que durante el proceso experimental no es posible realizar el proceso de mezclado constante del material cabe aclarar que agregar la acetona pura es solo para el experimento realizado a nivel laboratorio ya que en la máquina extrusora no es necesario y no se debe agregar acetona pura dada la volatilidad del dicho producto ya que podría generar una combustión dentro de la máquina.

Realizado este proceso se procede a llevar a las dos probetas a la mufla a una temperatura de 120°C la cual se fue subiendo gradualmente hasta llegar a una temperatura de 220°C para lograr una mejor fundición de los materiales.

Para determinar la resistencia mecánica del polipropileno solo se realizó una prueba de dureza Rockwell la cual consiste en saber cuál es la resistencia que tiene

un cierto material a ser atravesado lo cual nos sirve como base para verificar la mejora en las propiedades al hacer un material compuesto, a continuación, podemos observar que el resultado de dicha prueba es de 36.2 HR.

Figura 20.

Prueba base medición de la dureza polipropileno.



Nota. Se toma una muestra de material para medir la dureza base.

En este experimento se realizaron dos probetas las cuales fueron hechas con distintas proporciones.

La primera probeta experimental se realizó haciendo una relación de %p/p (peso de polipropileno/peso de la mezcla) en la que el 75% de polipropileno son 28.0969g de peso para una mezcla de 40 gramos. Como podemos observar en la siguiente imagen podemos ver los materiales pesados en balanza analítica.

Figura 21.

Peso de la materia prima para probeta %P/P



Nota. Se peso la metería prima en la proporción 75% PP y 25% harina de madera para una probeta de 40gr.

Después de pesado y mezclado el material, se agregaron los 20 mL de acetona pura la cual fue dejada evaporar al ambiente, se procedió a llevar la mezcla a la mufla donde se introdujo la mezcla a una temperatura de 120°C la cual fue subiendo hasta llegar a los 220°C. Posteriormente se realizó el proceso de enfriamiento de la probeta dejándola reposar por 10 minutos en agua con hielo a una temperatura de 4°C.

Figura 22.

Enfriamiento de las probetas



Nota. El enfriamiento de las probetas se realiza en agua con hielo a 4°C.

Como podemos observar en la imagen anterior se evidencio el resultado experimental de la probeta realiza bajo una relación %p/p con el cual pudimos determinar que al tener un mayor porcentaje de harina de madera la mezcla se homogeniza de una mejor manera dando como resultado mejores propiedades mecánicas y acabo del material compuesto.

Figura 23.

Prueba de dureza HR probeta %P/P



Nota. Se realizo una medición de dureza HR para la probeta %P/P.

En la anterior imagen podemos observar el resultado de la prueba de dureza Rockwell para la probeta hecha con base al %p/p dándonos un resultado de 83.5 HR mostrándonos que el material si mejora su resistencia a ser atravesado lo cual nos quiere decir que el material compuesto tiene mejores propiedades físicas que el solo polipropileno.

Con la segunda probeta experimental se realizó el procedimiento haciendo una relación %v/v (volumen de polipropileno/volumen de mezcla) en la que el 75% de

polipropileno son 150 mL para una mezcla de 200 mL. Como podemos observar en la siguiente imagen podemos ver los materiales pesados en balanza analítica.

Figura 24.

Peso de la materia prima para probeta %V/V



Nota. Se peso la metería prima en la proporción 75% PP y 25% harina de madera para una probeta de 40mL

Después de pesado y mezclado el material, se agregaron los 20 mL de acetona pura la cual fue dejada evaporar al ambiente, se procedió a llevar la mezcla a la mufla donde se introdujo la mezcla a una temperatura de 120°C la cual fue subiendo hasta llegar a los 220°C. Posteriormente se realizó el proceso de enfriamiento de la probeta dejándola reposar por 10 minutos en agua con hielo a una temperatura de 4°C.

Figura 25.

Enfriamiento de las probetas



Nota. El enfriamiento de las probetas se realiza en agua con hielo a 4°C.

Como podemos observar en la imagen anterior se evidencio el resultado experimental de la probeta realiza bajo una relación %v/v con el cual pudimos determinar que al tener un mayor porcentaje de polipropileno la mezcla se homogeniza un poco menos esto lo podemos evidenciar en la imagen anterior ya que se observa una menor adherencia por parte de los materiales.

Figura 266.

Prueba de dureza HR probeta %V/V



Nota. Cabe resaltar que al realizar la prueba de dureza Rockwell se obtuvo un resultado de 49.0 HR para la probeta hecha con base al %v/v dándonos a entender que, si mejora sus propiedades físicas, pero no de la manera esperada.

Podemos decir que la mejor manera de realizar la probeta es por medio de la relación %p/p comparada con la probeta realizada por medio de la relación %v/v y el polipropileno solo ya que fue la que presento un mejor nivel de resistencia al ser atravesado dándonos a conocer que este material compuesto presenta grandes propiedades físicas y puede ser utilizado como material de pequeñas estructuras, estiba, muebles, etc. Además de esto representa una alternativa de reciclaje.

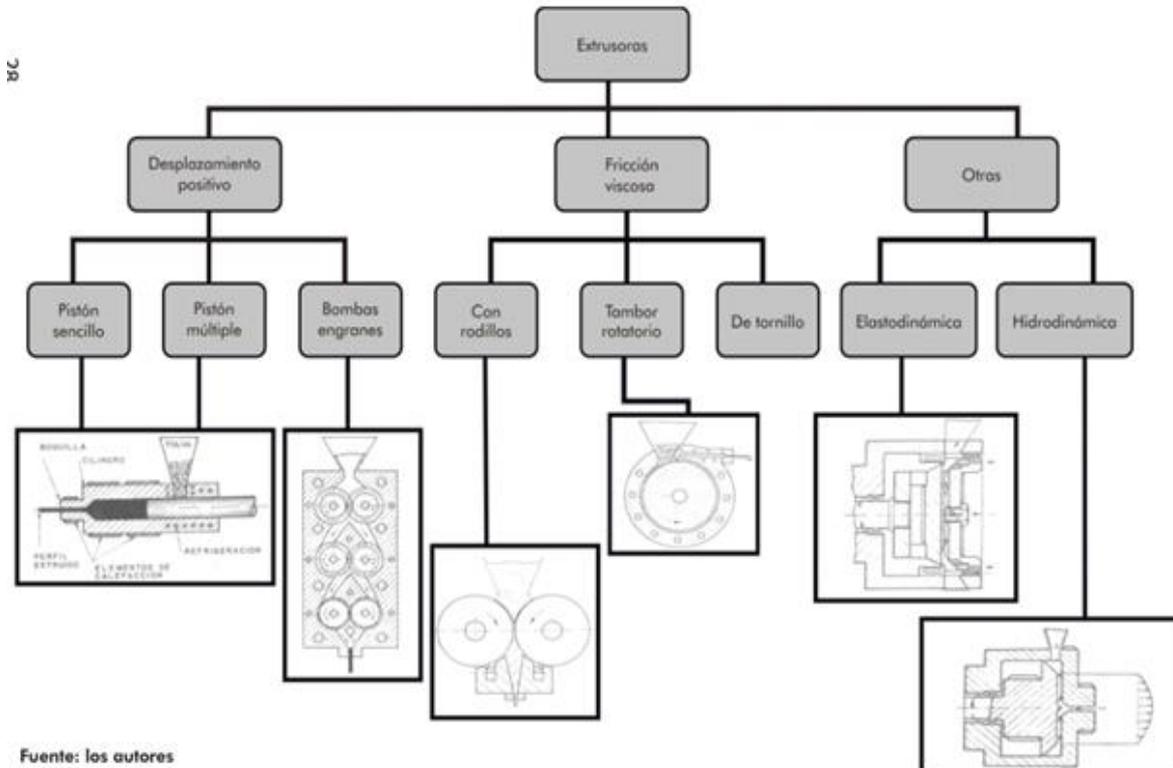
4. TECNOLOGÍA DE LA EXTRUSIÓN

Para la realización del diseño adecuado de la extrusora, es necesario conocer de los procesos que actualmente se tiene con respecto a la tecnología de extrusión y cuáles de estos son los más usados y más rentables para la utilización en laboratorio.

La extrusión, se define como empujar o forzar hacia afuera un material. La extrusión es un proceso que se usa ampliamente en la industria desde mediados de los años 1930 siendo dispositivos comunes del procesamiento de polímeros, metales, arcillas, cerámicas y es normalmente utilizada en la fabricación de productos dirigidos a la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética. Por otro lado, la extrusión es el proceso más adecuado para la fabricación de tuberías, bolsas y empaques, por lo cual se obtienen diferentes formas y tecnologías según su aplicación, como se muestra en la figura 16 [20].

Figura 27.

Representación de las diferentes tecnologías de extrusión.



Fuente: los autores

Nota: En esta figura, se muestra el tipo y la clasificación de extrusoras que se han diseñado a la fecha. Disponible en P. Gutiérrez and J. Bornacelli, METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TORNILLOS DE MÁQUINAS EXTRUSORAS MONOHUSILLO, 1st ed. Cali: Universidad Autónoma del occidente, 2008, p. 28.

Los principios fundamentales de la extrusión, radica principalmente en el calor transferido al material, para que este alcance su temperatura vítrea o de fusión, aunque con algunos materiales, como los metales, este proceso se hace en seco, es decir que no se necesita ningún tipo de calentamiento del material, por lo que dependen de la otra característica fundamental de la extrusión que es por medio de la presión de la máquina para hacer fluir el material por un dado o matriz con una geometría deseada.

Elementos principales de máquinas extrusoras.

Antes de mencionar los tipos de tecnología de extrusión que existen, es importante tener en cuenta los elementos que la mayoría de las tecnologías mencionadas anteriormente tienen en común, para facilitar su alimentación, calentado y entrega del producto final.

4.1.1 Motor o motorreductor

El motor o motorreductor, es el encargado de brindarle a la máquina la potencia necesaria para el proceso de extrusión estos normalmente eléctricos y pueden ser de energía continua o alterna y funcionar con voltajes a 110v o 220v dependiendo de las necesidades del proceso en el caso de los motores que tienen un menor costo es necesario la implementación de cajas de transmisión para poder controlar la potencia y velocidad entregada al husillo y poleas para conexión al mismo dado que es necesario reducir tamaño y peso en el chasis de la máquina.

Figura 28.

Motor eléctrico.



Nota: Se puede observar la geometría que tiene un motor eléctrico trifásico sin polea. Tomado de Exhibir [En línea]. Disponible en <https://bit.ly/37OqldX> Consultado: el 04/03/2021.

En el caso de los motorreductores es necesario únicamente un regulador de frecuencia para el manejo de la velocidad y la potencia, además de un eje de

rodamientos para unión entre el husillo y la salida del motorreductor y de esta manera reducir las cargas.

Figura 29.

Motorreductor de ejes paralelos.



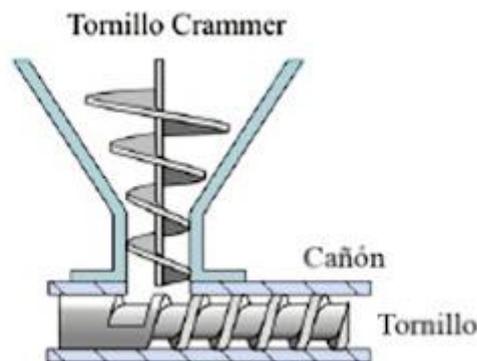
Nota: Se puede observar la geometría que tiene el motorreductor y así mismo la disposición de los ejes que llega al eje de rodamientos para la conexión con el Husillo. Tomado de Direct Industry [En línea]. Disponible en <https://www.directindustry.es/prod/getriebebau-nord-gmbh-co-kg/product-4808-2190869.html> Consultado: el 04/03/2021.

4.1.2 Tolva.

La tolva, es el elemento fundamental de cualquier proceso de extrusión, ya que esta tiene la tarea de ser la que alimente la extrusora. Por lo general la tolva es de forma cónica garantizando así una caída del material de forma controlada, aunque en algunas ocasiones por su forma y el tamaño del pellet se pueden llegar a producir estancamiento, por lo cual se puede llegar a encontrar en ellas un tornillo sin fino más llamado tornillo Crammer, que garantiza el movimiento y alimentación de los pellets al ingreso de la extrusora y también permite el mezclado uniforme si polímero será combinado con algún pigmento u otro material [21].

Figura 30.

Representación de tolva con tornillo Crammer.



Nota: Se puede observar la forma que tiene la tolva y así mismo la disposición del tornillo Grammer que llega a la entrada del Husillo y la camisa o también llamado cañón en un proceso de extrusión por tornillo. Tomado de Tomado de Tecnología de los plásticos [En línea]. Disponible en <https://bit.ly/3xC7Ljt> Consultado: el 03/03/2021.

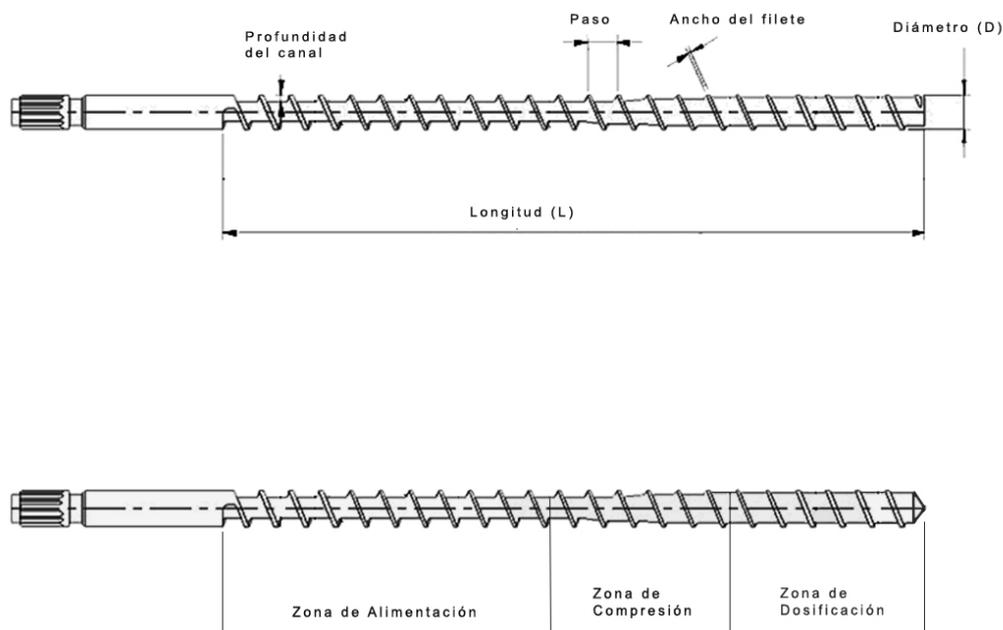
4.1.3 Husillo de extrusión.

El husillo ha ido evolucionando ampliamente desde el inicio de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene más tecnología dentro de una máquina de extrusión.

Por esto, es la pieza que en alto grado determina la calidad y el éxito de una operación de extrusión. Con base al diagrama, se describen a continuación las dimensiones fundamentales para un husillo y que, en los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora dependiendo el material con el que se desea trabajar, dando mayor compresión a la salida de este o aumentando la presión desde el inicio como se muestran en la figura 21. [22].

Figura 31.

Partes y geometría generales del Husillo de extrusión.



Nota: Se muestra las propiedades y geometría de husillo de extrusión de plástico. Disponible en:

<https://bit.ly/2XiJqTs> [En línea] visto el 23/11/2020.

4.1.4 Barril o Armadura de extrusión.

Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcasa que envuelve al tornillo. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste.

La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y la corrosión durante la operación del equipo [22].

4.1.5 Resistencias termoeléctricas.

La resistencia térmica, es un elemento de transferencia de calor, el cual funciona por el calor generado de una diferencia de potencial en circuitos eléctricos, ya que entre mayor voltaje mayor será la temperatura generada por el mismo, estos elementos están diseñados por medio de un material altamente conductor y revestidos con materiales cerámicos refractarios que mejoran la transmisión de calor a altas temperaturas.

Figura 32.

Resistencia termoeléctrica.



Nota: Se muestra la geometría de una resistencia tipo banda cerámica de extrusión de plástico. Disponible en <https://ceiv.com.mx/resistencia-banda-ceramica/> [En Línea] visto el 03/03/2021.

4.1.6 Dado de extrusión.

El dado de extrusión o la boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extrusado. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes. Las geometrías de esta pueden variar dependiendo de las formas deseadas del producto dentro del diseño del dado de extrusión se debe tener en cuenta las características del material y las dimensiones deseadas después del enfriamiento del material [21].

Figura 33.

Representación de diferentes dados de extrusión.



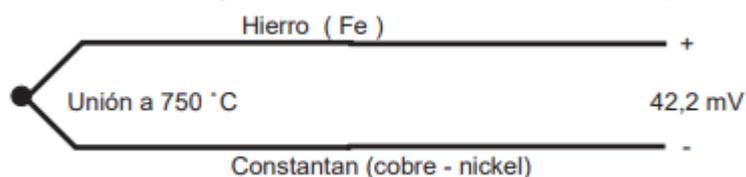
Nota: Se muestra las geometrías de los dados de extrusión de plástico. Disponible en. <https://www.solostocks.com.mx/venta-productos/aluminio/otros-productos-aluminio/fabricacion-de-dados-de-extrusion-2307023> [En Línea] visto el 23/11/2020.

4.1.7 Termo cuplas

La termocupla, es un sensor de temperatura industrial. Su funcionamiento esta dado por medio de dos alambres de diferentes materiales soldados en uno de sus extremos, mientras que los extremos libres, se convierten en polos, ya que cuando aumenta la temperatura, en la punta soldada se genera un voltaje conocido como el efecto Seebeck, generando de esta forma un circuito cerrado como se observa en la figura 34, por ejemplo, si el circuito recorre 42.2 mV, se tendrán 750°C de temperatura [23].

Figura 34.

Representación gráfica funcionamiento termocupla.



Nota: En la punta, donde se muestra el círculo negro, se representa la soldadura de los materiales, el cual este compuesto por hierro y cobre, donde el hierro es el polo positivo y el cobre será quien cierre el circuito como el polo negativo.

Disponible en [nt-002-b \(arian.cl\)](#) [En línea] Visto el 03/04/2021.

Alternativas de diseño.

Para la elaboración del diseño de la máquina extrusora, se hace una selección basada en las tecnologías mencionadas en la figura 16, las cuales serán explicadas a continuación y serán tomadas como alternativas de diseño, teniendo en cuenta su uso y la entrega de las mejores características para soportar el polipropileno con aporte de madera.

4.1.8 Extrusoras de desplazamiento positivo.

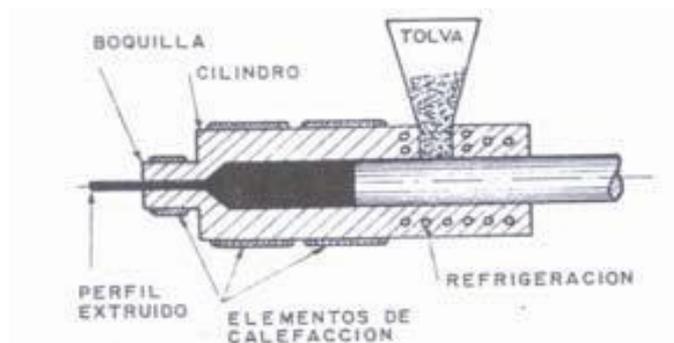
El desplazamiento positivo, se define como el movimiento del fluido por medio de la reducción de aire en una cámara con volumen determinado [24].

Gracias a este desplazamiento, se tiene tres tipos de extrusión que se verán a continuación:

4.1.8.a Extrusoras de pistón sencillo: Al comienzo de la historia de la tecnología de extrusión, se llevaron a cabo el uso de esta máquina ya que era la década de la revolución industrial de vapor, por lo cual la mayoría de máquinas tenían como principio el uso de pistones y la compresión de vapor o de aire, por lo cual este tipo de extrusoras vasa su funcionamiento en el calentamiento del polímero o material hasta el punto de alcanzar su temperatura vítrea o de fusión, en una cámara con volumen específico, el cual se hace por medio de electricidad y en algunos casos por quema de combustibles fósiles; luego de esto, el material es movido o comprimido por medio de un pisto, el cual reduce el volumen de la cámara, haciendo que el material en estado líquido o viscoso (con densidad baja), es vertido por el dado o por una boquilla la cual contiene el tipo de forma deseada final del material, este tipo de tecnología es el concepto principal del proceso de inyección [24].

Figura 35.

Representación de extrusora con pistón sencillo.



Nota: Se muestra en la figura las partes de una extrusora de pistón sencillo. Tomada de METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TORNILLOS DE MÁQUINAS EXTRUSORAS MONOHUSILLO [En línea] Disponible en

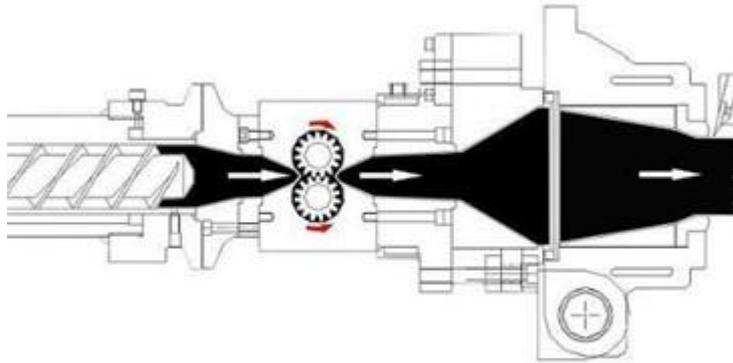
4.1.8.b Extrusoras de Pistón Múltiple: Este tipo de extrusoras tiene el mismo principio de funcionamiento que las extrusoras con Pistón sencillo, la diferencia radica principalmente en que estas cuentan con una serie de dos a tres pistones las cuales son usadas para la formación de materiales poliméricos compuestos, o también son usadas para dar un tipo de coloración específica al elemento final que se desea, por lo cual se puede jugar con la gama de colores para un terminado ideal, aunque tan bien son usadas para contar con un proceso de producción continuo en industrias automatizadas, ya que permiten que mientras el material está siendo calentado en una cámara de pistón, el otro pistón está entregando material.

4.1.8.c Extrusoras de bombas de engrane. La extrusión de bombas de engranajes, se basa principalmente en entregar el movimiento positivo al fluido y así mismo suministrarle la presión necesaria para que el polímero en estado líquido o con una baja densidad, sea succionado por un extremo de los engranajes el cual están girando en sentido horario o positivo, haciendo que se venza la inercia y aumentando su presión como se mencionó anteriormente, con el cual es expulsado por el dado o la matriz para que el polímero o material adquieran la geometría deseada.

Este tipo de extracción es usada fundamental mente para que el material no tenga grandes esfuerzos cortantes y sea entregado de una forma más laminar a la matriz o dado, este proceso se ve más que todo con el uso del Poliestireno expandido.

Figura 376.

Extrusora de bomba de engranes.



Nota: Se realiza la representación de las bombas de engranes usado en procesos de extrusión, actualmente este tipo de tecnologías es un complemento de la tecnología actual. Tomado de Barwell [En línea] Disponible en www.barwell.com/esbarwell-continuous-gear-pump-preforming# Consultado el 03/03/2021.

Teniendo en cuenta que estas tecnologías es el principio de la inyección, quedaría descartada esta propuesta por anticipado, ya que se busca diseñar una extrusora y no una inyectora que es lo que entrega el pistón sencillo o doble.

4.1.9 Identificación de alternativas.

Otro punto a tener en cuenta son las alternativas de diseño, que nombraron anteriormente:

- Alternativa 1: Extrusora por rodillos

- Alternativa 2: Tambor Rotatorio
- Alternativa 3: mono husillo
- Alternativa 4: bi husillo

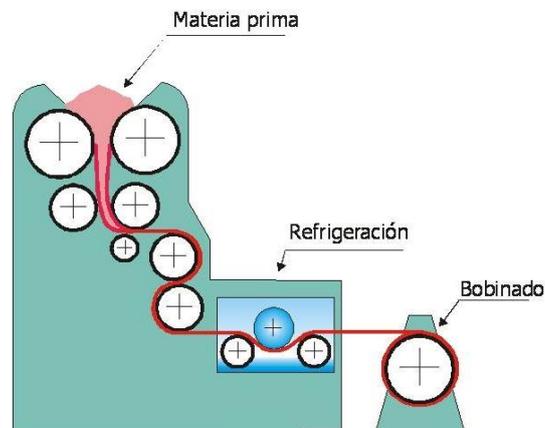
4.1.10 Extrusión de fricción viscosa.

En estas la acción del polímero y la fricción generada entre este y las paredes de la máquina [24], esto quiere decir que se aprovecha la viscosidad del material que previamente fue calentado para alcanzar su temperatura vítrea o su temperatura de fusión, haciendo que la máquina aproveche el esfuerzo de cizallamiento del material para que adquiera la presión necesaria para que este fluya a través del dado o matriz con el que se desea que el material adquiera la geometría deseada, en este tipo de extracción, se encuentran las siguientes tecnologías [24].

4.1.10.a Extrusión por rodillos. La extrusión por rodillos, está dada por dos rodillos como su nombre lo dice, esta tecnología se basa en la compresión que hacen los rodillos al material, aumentando así no solo la presión si no también el movimiento del fluido, para que este pueda salir por el dado o la matriz. Por lo general, los rodillos son alimentados de forma superior por el fluido y el material sale por su extremo inferior, este tipo de tecnologías es usado principalmente para el manejo y la transformación de cauchos.

Figura 37.

Representación de funcionamiento extrusión de rodillos.

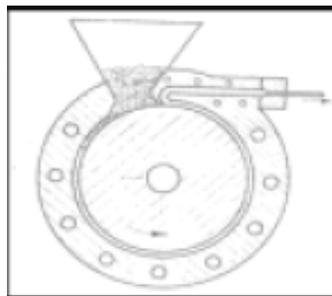


Nota: Se puede ver la alimentación de la extrusora de rodillos por la parte superior, por combinación de movimiento de rodillos se cambia la dirección del material extruido de forma horizontal a vertical y se le realiza un proceso de enfriamiento para obtener el producto fina. Tomado de Los materiales Plásticos [En lines] Disponible en: [CALANDRADO \(educarex.es\)](http://CALANDRADO(educarex.es)) Consultado el 03/03/2021.

4.1.10.b Extrusion por tambor rotatorio. Esta tecnología, basa su funcionamiento en el ingreso del material por medio de una cavidad comprimida por una rueda o tambor que se van moviendo por medio de unas revoluciones determinadas o por lapsos de tiempo, por lo cual al entrar el fluido en esta cavidad, es movido por la fuerza producida por la fricción del tambor con respecto al fluido, aumentando de esta manera la presión y así mismos la temperatura haciendo que el material adquiera alcance su temperatura vítrea o su temperatura de fusión, en algunos casos la camisa inmóvil se calienta o se enfría para controla la temperatura del material [24], que luego es entregada por medio del dado o la matriz.

Figura 38.

Representación de la extrusora de tambor.



Nota: Entre la camisa externa y el tambor se produce una holgura, en la cual fluye el material adquiriendo presión y temperatura. Tomada de METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TORNILLOS DE MÁQUINAS EXTRUSORAS

MONOHUSILLO [En línea]

Disponible en [L0110.pdf](#)

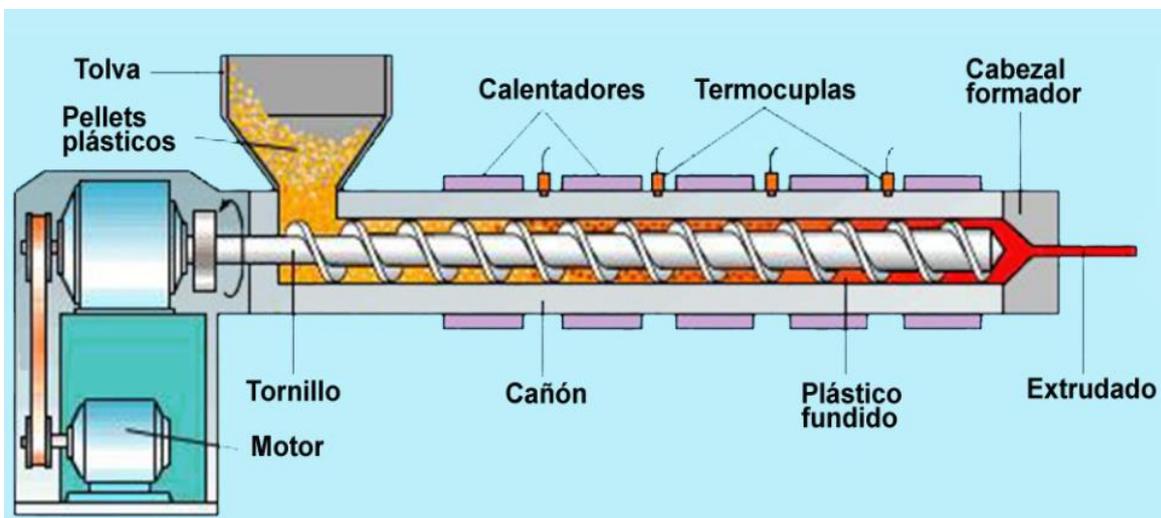
[\(uao.edu.co\)](#) Consultado el

03/03/2021.

4.1.10.c Extrusión por tornillo o Husillo. Este tipo de extrusión es el más usado en la actualidad para diferentes procesos de producción con los polímeros, esta tecnología basa su funcionamiento por medio de un tornillo sin fin, también llamado Husillo, el cual tiene la particularidad de que su diámetro es variante, es decir que este tornillo es de forma cónica y así mismo el paso de la rosca o alabes cambia con respecto al diámetro, entregando así la presión necesaria al para reducir los esfuerzos de cizallamiento del material mientras alcanza su temperatura vítrea o su temperatura de fusión. Por otro lado, en la camisa que recubre el tornillo, se presentan diferentes termocupas, las cuales ayudan con el calentamiento del material, cabe resaltar que entre la camisa y el tronillo hay una pequeña holgura por donde se va moviendo el material mientras cambia de estado.

Figura 39.

Representación de la tecnología de extrusión por Husillo.



Nota: El tornillo o husillo es el corazón de la extrusora, en color amarillo y rojo, se hace la representación del cambio de estado y el aumento de la temperatura del material en el proceso. Tomado de Tecnología de los plásticos [En línea]. Disponible en [EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS | Tecnología de los Plásticos \(tecnologiadelosplasticos.blogspot.com\)](http://EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS | Tecnología de los Plásticos (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com)) Consultado: el 03/03/2021.

Este tipo de tecnología también se desarrolla con multi husillos, los cuales, dependiendo del material a trabajar, disminuyen los esfuerzos de cizallamiento del material, permitiendo que el material fluya de forma más tranquila, garantizando una calidad alta en el material, por otro lado, este proceso doble permite la mezcla de pigmentos o de materiales formando así elementos multicolor o materiales compuestos.

Método de selección alternativas

Para realizar una correcta selección de la alternativa de diseño, esta se debe realizar por medio del método Scoring, el cual es un método estadístico para la selección de soluciones viables o requerimiento de clasificación en términos de importancia para el desarrollo de problemas o proyectos. Este método será usado, teniendo en cuenta los requerimientos de diseño mencionados a continuación [25].

- Costo de fabricación de la máquina.
- Costo de operación de la máquina.
- Optimización del espacio de la máquina.
- Facilidad de operación.
- Seguridad de operación.
- Procesabilidad del Material

El método Scoring se basa en la aplicación de ponderaciones a cada una de las alternativas con respecto a los requerimientos de diseño basados en el modelo matemático de la ecuación 1 mostrado a continuación [25].

$$S_j = \sum_i W_i r_{ij}$$

Donde:

R_{ij} = Rating de la alternativa j en función del criterio i

W_i = Ponderación para cada criterio.

S_j = Score para alternativa J

Para desarrollar el modelo matemático que propone este método, se debe tener en cuenta, que este método pretende identificar, cuál de los sistemas de tecnología de extrusión se acopla mejor a los requerimientos de diseño mencionados anteriormente.

4.1.11 criterios a emplear.

- Costos de fabricación de la máquina: teniendo en cuenta la posterior fabricación de la máquina por parte de la universidad, es necesario que se contemplen para el diseño, bajos costos de fabricación de la misma.
- Costo de operación de la máquina: Dado que la máquina tendrá un fin didáctico y académico su mantenimiento e insumos deben ser asequibles para la Universidad.
- Optimización del espacio de la máquina: Teniendo en cuenta el fin didáctico de la máquina esta debe ser de un reducido tamaño para facilitar su operación dentro de los laboratorios de la Universidad.
- Facilidad de operación: Al ser una máquina de laboratorio es de vital importancia que su operación sea contralada e intuitiva dado que va a ser manipulada en parte de los estudiantes.
- Seguridad de operación: La máquina debe ser confiable además de prevenir cualquier incidente, dado que la manipulación de la misma va a ser por parte de estudiantes.

- Procesabilidad del Material: La máquina tiene que ser capaz de procesar el material compuesto, entregando así, un material con propiedades homogéneas.

Consideración	Ponderación
Muy poco Importante	1
Poco importante	2
Importancia media	3
Algo importante	4
Muy importante	5

4.1.12 Definición de los criterios de evaluación.

Teniendo en cuenta los criterios a emplear, serán evaluados con la siguiente asignación.

Tabla 9.
Asignación de ponderación.

Teniendo en cuenta la tabla 9, se les dio una ponderación al listado de los criterios a emplear, los cuales son los siguientes:

Tabla 10.
Ponderación de criterios.

CONSIDERACIONES	PONDERACION
Costo de fabricacion de la Maquina	4
Costo de Operación de la Maquina	4
Optimizacion del espacio de la Maquina	5
Facilidad de opercaion	5
Procesavilidad del material	4
Seguridad de Operacion	5

Para la selección de la alternativa de diseño, se da una ponderación según la importancia del criterio con una escala de 1 a 9 que se asigna de la siguiente manera.

Tabla 11.
Asignación de ponderación lineal.

Extra bajo	1
Muy bajo	2
Bajo	3
Poco bajo	4
Medio	5
Poco alto	6
Alto	7
Muy alto	8
Extra alto	9

Con los criterios mencionados en la tabla 11 y las consideraciones obtenidas para los requerimientos de diseño mostrados en la tabla 10, se realiza el cálculo del modelo matemático Scoring, seleccionando de esta manera la alternativa que obtiene un valor mayor como se muestra en la tabla 12, indicando así la alternativa que más se acomoda a los criterios de diseño solicitados.

Tabla 12.
Cálculo de método Scoring para cada alternativa.

CRITERIO	PONDERACION nWi	ALTERNATIVA 1 ri1	ALTERNATIVA 2 ri2	ALTERNATIVA 3 ri3	ALTERNATIVA 4 ri4
Costo de fabricacion de la Maquina	4	8	9	6	7
Costo de Operación de la Maquina	4	7	7	4	5
Optimizacion del espacio de la Maquina	5	2	4	8	7
Facilidad de opercaion	5	6	4	8	5
Procesabilidad del material	4	1	5	8	9
Seguridad de Operacion	5	1	7	9	8
Total	-	109	159	197	184

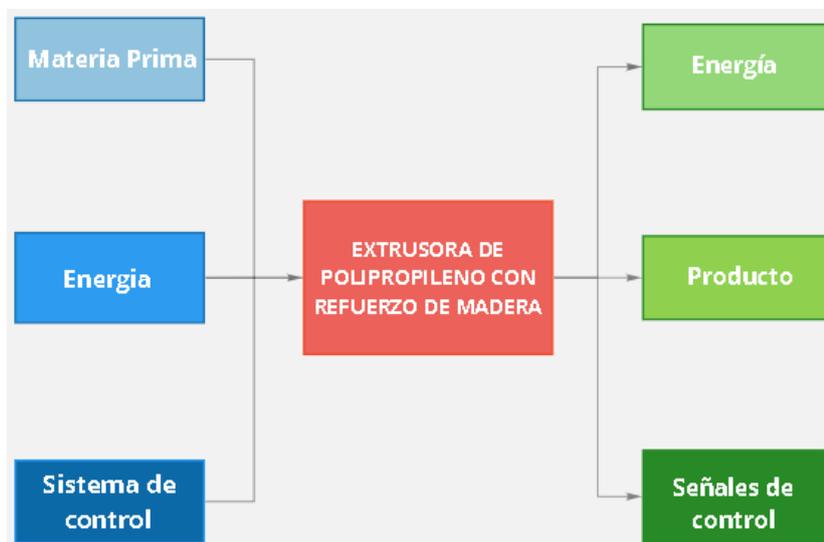
Desarrollado el método numérico Scoring se determina que la alternativa 3: mono husillo, es la más viable y apropiada ya que se acomoda a los criterios de diseño solicitados dado que el costo de fabricaciones es un poco alto, además de esto su costo de operación es bajo y es una máquina apropiada para laboratorio por su reducido tamaño. Permite una fácil y segura operación, cumpliendo con las necesidades del proyecto.

5. DISEÑO CONCEPTUAL

Para dar inicio al diseño de la extrusora, es necesario identificar y analizar los grupos principales y subgrupos, que forman el corazón de la máquina para cumplir con los requerimientos de fabricación y funcionalidad de la misma, por lo cual se plantea una caja negra general, mostrada en la figura 40 y una caja negra ampliada, en donde se muestra el requerimiento de estos grupos y su utilidad como se muestra en la figura 41.

Figura 40.

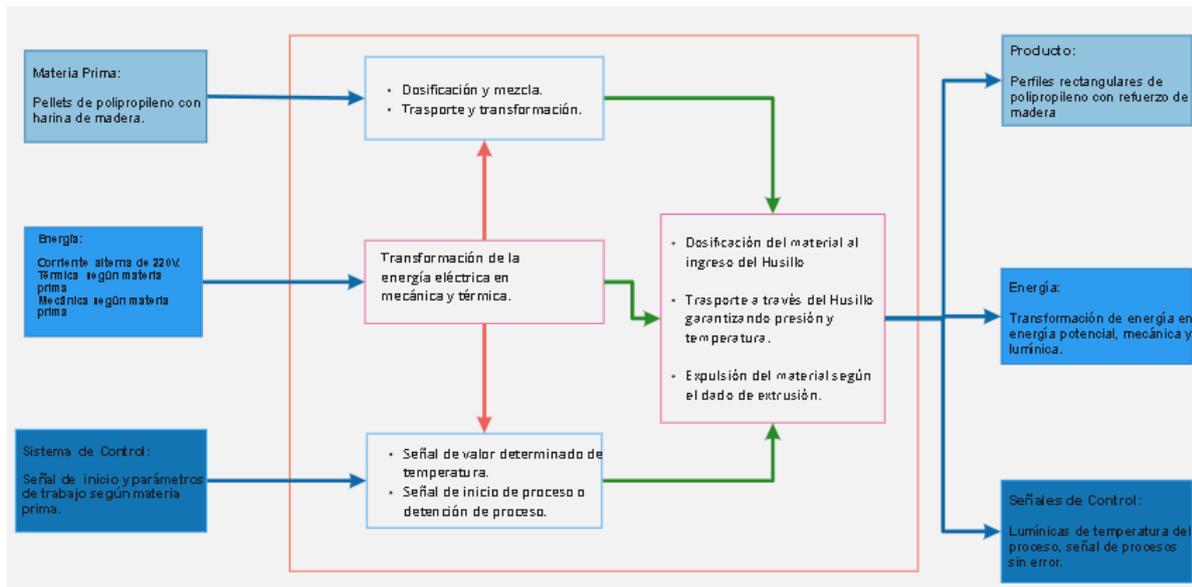
Caja negra general.



Nota: Representación gráfica de los sistemas principales de la extrusora por medio de la generación de caja negra.

Figura 41.

Caja Negra Ampliada.



Nota: Representación gráfica de la caja negra aplicada, mostrando los sistemas y la afectación que se tienen el uno del otro y el sistema principal como lo es la energía, la cual afecta principalmente la energía mecánica y térmica, procesos de funcionamiento fundamental de la máquina.

Las cajas negras dan un indicio fundamental de los procesos y los principales sistemas que requieren más atención en el proceso de transformación de la materia prima, es decir del polipropileno con refuerzo de madera, en perfiles rectangulares, pero también se requieren parámetros y variables importantes como se ven en la tabla 13, para llevar a cabo una delimitación y un diseño más adecuado.

Tabla 13.

Parámetros y variables a tener en cuenta para diseño.

NOMBRE DE PARAMETRO	VALOR
Temperatura (°C)	240
Longitud / diámetro	30
Capacidad de la máquina (Kg/h)	40
Densidad de PP (g/cm ³)	0,9
Densidad de la madera (g/m ³)	0,19 ± 0,22
Corriente	220V
Seguridad	Alta

Nota: Se muestran los parámetros de ingeniería esenciales a tener en cuenta para el diseño adecuado de la extrusora y sus componentes.

Por otro lado, es necesario reconocer los subsistemas de la máquina para poder llevar un listado de control de los elementos, no solo a tener en cuenta si no también a diseñar.

Sub sistema de la extrusora.

Tabla 14.

Subsistemas de la máquina.

Sistema	Propuesta de Solución	
Sistema Mecánico	Mono Husillo	El manejo de un mono husillo con filete de un hilo permite reducir las cargas sobre el material y evitar una degradación del material
	Eje de rodamientos	Permite la transmisión de potencia entre el motorreductor y el husillo de extrusión
	Rodamientos	Permiten distribuir las cargas generadas por el

		husillo y el motorreductor sobre el eje de rodamientos,
	Motorreductor Trifásico	Su gasto de operación es bajo y así mismo su tamaño es ideal para máquinas pequeñas o que no cuenten con grandes espacios de instalación.
	Plato rompedor	El tamaño de este tiene que ser igual que el diámetro interno del barril de extrusión.
	Dado de extrusión	Sera diseñado para que permita dar la geometría rectangular a los perfiles extruidos.
Sistema Estructural	Barril de extrusión	Depende del tamaño del husillo, protegiendo a si de este y se encarga de la transferencia de calor entre las resistencias eléctricas hacia el material.
	Chasis de soporte	Longitud y ancho para soportar la extrusora, permitiendo también contener y proteger el motorreductor, minimizando vibraciones.
	Base de Anclaje	Se requiere anclaje en cuatro puntas al piso para evitar que la máquina sea inestable.
Sistema térmico	Resistencias eléctricas	Capases de ser graduables de 60°C a 300° C

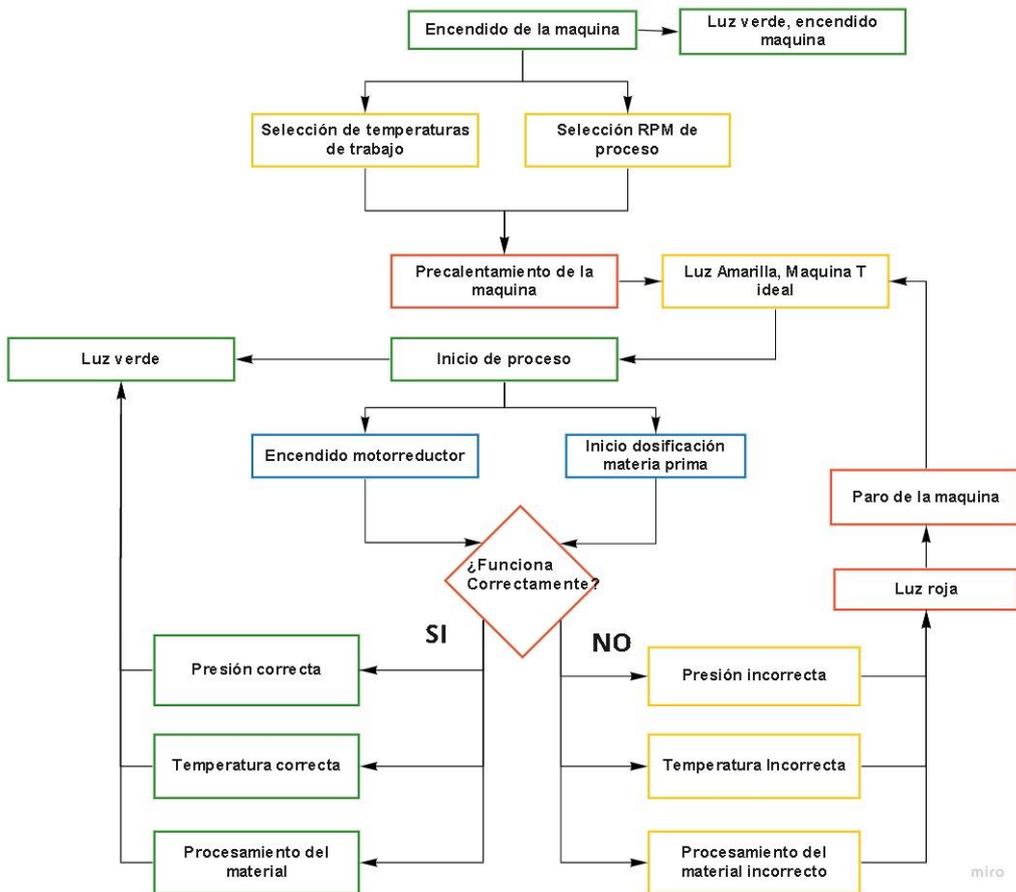
	Termocuplas	Fácil instalación de anclaje en el barril de extrusión con capacidad de hasta 350°C
Sistema Eléctrico	Resistencias eléctricas	
	Termocuplas	
	Motorreductor	mismo su tamaño es ideal para máquinas pequeñas o que no cuenten con grandes espacios de instalación, manejar energía alterna a 220v.
	Sistema de control	Se encarga de manejar las variables del proceso a través de PLC y variadores de frecuencia para el manejo del proceso
Sistema de control	PLC	Control lógico programable que permite la semi automatización y control de proceso.
	Variador de frecuencia	Capas de variar potencia del motorreductor seleccionado con el fin de alcanzar las RPM adecuadas.
	Potenciómetro Digital	Con capacidad de mostrar la temperatura que se desea para las resistencias eléctricas.
	Luces de control	Luces de indicación de inicio/Fin de proceso, precalentamiento

		de la máquina y error de operación
	Switch de proceso	Inicio/Fin de proceso, paro de emergencia y precalentamiento de la máquina.

Nota: Se muestran los diferentes subsistemas de la extrusora y los requerimientos de diseño de estos.

Figura 42.

Diagrama de bloques de proceso operación extrusora.



Nota: En este diagrama se muestra el proceso de funcionamiento y parámetros para el inicio de operación o paro de la máquina.

Algunos componentes de los subsistemas de la máquina son seleccionados de acuerdo a diseño de otros componentes, por ejemplo, el motorreductor será seleccionado según la carga necesaria que requiere la máquina para alcanzar las RPM según proceso de uso, por otro lado, las resistencias deberán cumplir con las indicaciones de transferencia de calor, según espesor del barril de extrusión.

6. DISEÑO MATEMATICA

Para poder comenzar con el diseño matemático de la extrusora, se utilizarán las consideraciones de la tabla 15 anterior mente mostradas y algunas otras que serán mencionadas a continuación.

Tabla 15.
Consideraciones adicionales.

Consideración	Valor
Índice de fluidez PP [g/10 min]	8
Gravedad Especifica PP	1,0385
Capacidad Calorífica madera-PP [J/Kg.°c]	190
Factor H	0,035
RPM	140
Numero canales Husillo (m)	1
Viscosidad madera-PP [Pa. s]	1993
Factor K	66,7

Nota: Algunas consideraciones mostrados, serán explicados su obtención más adelante.

Potencia de accionamiento [N]

Como no se tiene definido el diámetro del husillo de la extrusora, será preciso usar una ecuación que integre la capacidad calorífica del material, la capacidad de la máquina, junto con las temperaturas internas en la máquina y a la salida de la tolva como se muestra en la ecuación 1 [26].

$$N = 35 \times 10^{-5} * Q * C * (T_m - T_0); [KW] \quad (1)$$

Donde:

Q= Producción o caudal de la máquina [Kg/h].

C= Calor específico del material [J/Kg. °C]

T_m= Temperatura fundición del material [°C]

T₀= Temperatura a la salida de la tolva [°C]

Por lo cual reemplazando la ecuación 1, teniendo en cuenta que la máquina tiene una capacidad de 40 Kg/h, capacidad calorífica de 190 J/Kg°C y que el polipropileno se funde a 160°C, pero se agrega 10°C más, teniendo en cuenta que el material adquiere temperatura por el esfuerzo cortante que se somete el material por medio del paso por el husillo.

$$N = 35 \times 10^{-5} \left(40 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \left(190 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \right) (170^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$N = 364,80 \text{ W}$$

Dimensionamiento del Husillo

6.1.1 Diámetro mayor del Husillo [D]

El diámetro mayor del husillo se encuentra en la zona de Compresión o también llamada Zona de dosificación, la cual es la última zona por donde pasa el material antes de ser entregada al dado de extrusión.

Teniendo en cuenta que, a lo largo de la historia y el avance de la tecnología de la extrusión, se han planteado diferentes ecuaciones experimentales, por lo cual usaremos la ecuación 2 la cual es una ecuación usada para determinar las RPM de la máquina, con el fin de poder despejar el diámetro de esta (Ecuacion2.1), recordemos que el polipropileno es fundido a bajas RPM, por lo cual en la tabla 13 se especificó, que la máquina trabajara a 140 RPM [26].

$$n = \frac{K^2 N}{\pi D^3} ; [rpm] \quad (2)$$

Despejando el diámetro queda:

$$D = \sqrt[3]{\frac{K^2 N}{\pi n}}; [mm] \quad (2.1)$$

Donde:

K= Constante total de cabeza, depende de la configuración geométrica en este caso es (66,7)

N= Potencia de accionamiento [W]

n= RPM de la máquina [rad]

Por lo cual:

$$D = \sqrt[3]{\frac{(66,7)^2 * (364,80)}{\pi(7,33)}}$$

$$D = 41,3 \text{ mm}$$

6.1.2 Diámetro menor (Zona de Alimentación del Husillo) [D_a]

El diámetro menor del husillo, generalmente está ubicado en la entrada del material de tamaño de pellets, ya que como el pellet ocupa un volumen mayor que cuando se encuentra en estado visco-elástico.

Para calcular este diámetro, teniendo en cuenta que los tamaños de pellets casi siempre tienen el mismo tamaño, se aplica un factor de 0,6 veces el diámetro mayor como se muestra en la ecuación 3.

$$D_a = 0,6D ; [mm] \quad (3)$$

Por lo cual:

$$D_a = 0,6 * (41,3)$$

$$D_a = 24,8 \text{ mm}$$

6.1.3 Diámetro intermedio Zona de Dosificación del Husillo [D_d]

El diámetro dosificación, como su nombre lo indica, es el diámetro que se encuentra entre los dos diámetros, uniendo de esta manera ambos diámetros del husillo, generalmente en esta zona de dosificación se encuentran mezcladores los cuales tiene la tarea de homogenizar aún más el material. La mejor forma de calcular este diámetro, es utilizando un factor del 0.83 veces el diámetro del husillo como se muestra en la ecuación 4.

$$D_d = D * (0.83); [mm] \quad (4)$$

Por lo cual:

$$D_d = 41.3 * 0.83$$

$$D_d = 34.3 \text{ mm}$$

6.1.4 Longitud del Husillo [L]

La longitud del husillo esta dado por la relación de L/D mostrado en la tabla 13, en donde es despejado la longitud como se muestra en la ecuación 5.

$$\frac{L}{D} = 30 \quad (5)$$

$$L = 30 D ; [mm] \quad (5.1)$$

Por lo cual:

$$L = 30 (41.3)$$

$$L = 1239 \text{ mm}$$

6.1.5 Longitud zona alimentación. [L_a]

La zona de alimentación, es la zona más importante de todo el husillo, ya que es en esta en donde el material adquiere gran parte de su transformación de pellet a su estado de fluido newtoniano visco-elástico por lo cual, la longitud de esta zona, será

el 50% de la longitud total del husillo, por lo cual como muestra la ecuación 6, la longitud de la zona de alimentación será [27]:

$$L_a = \left(\frac{L}{D} * D\right) * 0.5 \quad (6)$$

Por lo cual:

$$L_a = (30 * 41,3) * 0.5$$

$$L_a = 619,5 \text{ mm}$$

6.1.6 Longitud Zona de transición [L_t]

La zona de transición, es la zona donde se efectuar el cambio de diámetros, por un lado, para conservar el caudal interno en el husillo y por otro lado para seguir homogenizando el material, haciendo que la reducción gradual la profundidad en el husillo, por lo que hace que el material por medio del esfuerzo cortante ejercido sobre el cause la fusión del material polimérico y el acoplamiento completo con la harina de madera [28]. Por lo general, la longitud de esta zona es el 25% de la longitud total como se muestra en la ecuación 7.

$$L_t = \left(\frac{L}{D} * D\right) * 0,25; [mm] \quad (7)$$

Por lo cual:

$$L_t = (30 * 41,3) * 0,25$$

$$L_t = 309,75 \text{ mm}$$

6.1.7 Longitud zona de dosificación o compresión [L_d]

La zona de dosificación, es la última zona presente en el husillo, la cual tiene la tarea de completar la fusión y homogenización del material y también es la encargada de ejercer la presión necesaria para vencer la resistencia que ejerce el dado extrusor o el cabezal, por lo que en esta zona generalmente la profundidad en el canal es pequeña y cuenta en algunas ocasiones con la adición de un

mezclador de diferentes formas o geometrías para cumplir con este fin [28]. La longitud en esta zona será el 25% restante de la longitud total del husillo.

$$L_d = \left(\frac{L}{D} * D\right) * 0,25; [mm] \quad (8)$$

Por lo cual:

$$L_d = (30 * 41,3) * 0,25$$

$$L_d = 309,75 \text{ mm}$$

6.1.8 Profundidad del canal de alimentación [H_a]

El canal de dosificación puede variar su profundidad según el diámetro del husillo y así mismo del material a usar. A lo largo de historia del diseño de husillos de extrusión, se ha encontrado que las profundidades más eficientes están dentro del rango $(0,12 \text{ a } 0,20) * D$ [26].

Para el diseño de la extrusora para madera pastica, en donde está basada este desarrollo, se toma el valor mayor del rango, siendo este de 0,20 con el cual se cumple un valor adecuado para un correcto transporte y compresión del material, teniendo en cuenta que es harina de madera y polipropileno.

$$H_a = 0,20 * D; [mm] \quad (9)$$

Por lo cual:

$$H_a = 0,20 * (41,3)$$

$$H_a = 8,27 \text{ mm}$$

6.1.9 Profundidad del canal de dosificación [H_d]

El canal de dosificación tiene el mismo rango mencionado en la profundidad del canal de alimentación, con diferencia que esta vez se escoge el valor mínimo de este rango, ya que como se menciona en la sección 6.8, esta profundidad es pequeña con el fin de tener una buena compresión y homogenización del material.

$$H_d = 0,12 * D; [mm] \quad (10)$$

Por lo cual:

$$H_d = 0,12 * (41,3)$$

$$H_d = 4,95 \text{ mm}$$

6.1.10 Paso hélice del husillo [t]

Es el espacio entre un filete y el otro, convencionalmente es el mismo paso que se puede observar en un tornillo o perno roscado, como en estos elementos, el paso es un factor importante, ya que tiene la tarea de dosificar y mantener la presión ejercida al material [26].

Como se mencionó en la profundidad del canal, se tiene un rango óptimo para este, el cual está definido como $(0,8 \text{ a } 1,2) * D$, por lo cual, para el material compuesto de harina de madera y polipropileno, se escoge el valor promedio del rango para garantizar una correcta dosificación.

$$t = 1D; [mm] \quad (11)$$

Por lo cual:

$$t = 1(41,3)$$

$$t = 41,3 \text{ mm}$$

6.1.11 Angulo de la hélice del filete [φ]

El ángulo del usillo es un factor importante a tener en cuenta, ya que este tiene la tarea de aumentar el esfuerzo cortante ejercido al material para disminuir el tiempo de fusión de este, así como también la correcta homogenización de este y el aumento de la presión en el material, por lo cual se puede inferir en este valor, pero se recomienda que el ángulo tenga la proporción adecuada con la geometría y el dimensionamiento del material dada por la ecuación 12.

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{t}{\pi D}\right) \quad (12)$$

Por lo cual:

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{41,3}{\pi*(41,3)}\right)$$

$$\varphi = 20,33^\circ$$

6.1.12 Espesor del filete [e]

El espesor de filete, como su nombre lo indica, es el ancho que tiene el filete de la hélice del husillo. Como se ha mencionado anteriormente, para este, también se tiene definido un rango óptimo, el cual está definido como $(0,06 \text{ a } 0,1) *D$, por lo cual se toma el valor máximo de este rango, para garantizar un buen transporte de la harina de madera y el polipropileno [26].

$$e = 0,1D; [mm] \quad (13)$$

Por lo cual:

$$e = 0,1 * (41,3)$$

$$e = 4,13 \text{ mm}$$

6.1.13 Huelgo del Husillo [δ]

El huelgo del husillo, es el espacio o tolerancia que se tiene entre la cresta mayor del filete y la camisa de este, dependiendo el material se tiene un rango óptimo, el cual está definido como $(0,002 \text{ a } 0,003) *D$, por lo cual se escoge el valor promedio de este rango garantizando un espacio apropiado para el material compuesto [27].

$$\delta = 0,0025D; [mm] \quad (14)$$

Por lo cual:

$$\delta = 0,0025 * (41,3)$$

$$\delta = 0,1033 \text{ mm}$$

Potencia suministrada por el motor [\dot{W}_e]

Antes de realizar los cálculos de resistencia del husillo, es importante llevar a cabo los cálculos de potencia requerida y así mismo la potencia suministrada por el motor, los cuales serán fundamentales en algunos cálculos que se llevarán a cabo más adelante.

Recordemos que la potencia requerida, es una sumatoria de potencias requeridas en las diferentes zonas del husillo.

6.1.14 Potencia requerida zona de alimentación [\dot{W}_a]

Como en esta zona se realiza un proceso principalmente de transporte, ya que en esta zona como se mencionó anterior mente, recoge el material suministrado por la tolva, lo mezcla y ayuda con el calentamiento paulatino del material, por lo cual se tomará como si fuera un tornillo sin fin, pero antes de calcular dicha potencia, es necesario realizar algunos cálculos como lo es el flujo volumétrico en el tornillo como se expresa en la ecuación 15.

Recordemos que la extrusora tendrá una capacidad de 40 Kg/h, por lo cual este será nuestro flujo masico y la densidad del material fue calculada anterior mente.

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (15)$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{Flujo masico} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\rho = \text{Densidad PP - Madera} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Por lo cual:

$$\dot{Q} = \frac{40}{940}$$

$$\dot{Q} = 0,0426 \frac{m^3}{h}$$

Para poder calcular la potencia requerida en esta zona se tiene en cuenta un factor total de cabeza (K), el cual se obtiene de la sumatoria de factores de configuración y dimensionamiento de esta asociada a esta, pero para las extrusoras generalmente es de $66,7 \frac{Kg}{m^2s^2}$ [26].

Por otro lado, se requiere un factor G, el cual es el factor geométrico según las características de uso de la máquina, este factor se toma de la tabla 16, aunque para el tipo de máquina como lo es la extrusión, se usan valores de G=2.

Tabla 16.
Factor G

G	A
2	A ≤ 1
1,5	1 < A < 2
1,25	2 < A < 4
1,1	4 < A < 5
1,0	5 ≤ A

Nota: Tabla de selección del factor G para obtener factores de rendimiento A.

Como ya se cuentan los factores importantes, se procede a hacer el cálculo para el factor de rendimiento A, el cual sale al despejar de la ecuación 16.

$$\dot{W}_a = \frac{\dot{Q} L_a K G}{1 \times 10^6} = A G \quad (16)$$

Donde:

\dot{Q} = Flujo Volumétrico del husillo $[\frac{m^3}{s}]$

L_a = Longitud zona alimentación [m]

K = Factor total de cabezal $[\frac{Kg}{m^2s^2}]$

G = Factor geométrico

A=Factor de rendimiento [W]

Por lo cual:

$$A = \frac{\dot{Q}L_a KG}{1x10^6 G} \quad (17)$$

El resultado será:

$$A = \frac{1,18x10^{-5}(0,61)(66,7)(2)}{1x10^6(2)}$$

$$A = 4,88x10^{-10} [W] < 1$$

Como se pudo demostrar, la igual sugerida en la tabla 16 se cumple completamente, por lo cual ya se puede calcular el valor de la potencia requerida en la zona de alimentación, por medio de la parte derecha de la igualdad de la ecuación 16.

$$\dot{W}_a = A \cdot G [w] \quad (18)$$

Por lo cual para dejarlo en HP:

$$\dot{W}_a = \frac{(4,88x10^{-10})(2)}{746}$$

$$\dot{W}_a = 1,31x10^{-12} HP$$

Como el tornillo esta realizando una acción de transporte, el material es transportado principalmente por la geometría del husillo, por lo cual se obtiene resultados de potencia bajos.

6.1.15 Potencia requerida zona de dosificación

Esta zona, es la zona que más requiere o demanda potencia del motor, ya que en esta zona el material (madera-PP) ya se encuentra en un estado visco-elástico y está realizando la homogenización del material compuesto, por lo cual se realizará un estudio profundo del requerimiento de potencia en esta zona, la cual

estará dada por la sumatoria de potencias disipada como calor, potencia consumida por la energía de flujo y potencia consumida por la holgura [29].

6.1.15.a Potencia disipada como calor [P_c]. La potencia disipada como calor está dada por la siguiente ecuación.

$$P_{dc} = \frac{\pi^3 D^3 n \mu}{h_d} \left(1 - \frac{me}{t}\right) [1,75 \text{Cos}(\varphi) + 4 \text{Sen}(\varphi)] L_d \quad (19)$$

Donde:

D= Diametro del husillo [m]

n= RPM [Rad]

μ = Viscosidad del material [Pa.s]

h_d = Profundidad del canal zona dosificacion [m]

m= Numero de canales del filete

e= Espesor del filete [m]

t= Paso helice del husillo [m]

φ = Angulo del filete del husillo

L_d = Longitud zona dosificacion

Por lo cual:

$$P_{dc} = \frac{\pi^3 (0,041)^3 (7,33) (1993,23)}{3,51 \times 10^{-3}} \left(1 - \frac{1(0,0041)}{0,041}\right) [1,75 \text{Cos}(20) + 4 \text{Sen}(20)] 0,30$$

$$P_{dc} = 381,24 J \cong 0,4956 HP$$

6.1.15.b Potencia consumida por el flujo [P_{cc}]. Está definida por la potencia requerida para vencer el cambio de presiones al momento de ingresar en el dado de extrusión, por lo cual el primer calculo a tener en cuenta para hallar dicha potencia será dada por un delta de presiones.

$$\Delta P = P_f - P_o \quad (20)$$

Donde:

P_f = Presión de fusión del material [Pa] ($6,86 \times 10^7$)

P_o = Presión a la entrada del husillo [Pa] (P atm Bogotá)

Por lo cual:

$$\Delta P = 6,86 \times 10^7 - 7,47 \times 10^4$$

$$\Delta P = 6,86 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Como ya se tiene el cambio de presiones, es posible calcular la potencia consumida por el flujo.

$$P_{cc} = \dot{Q} \cdot \Delta P \quad (21)$$

Donde:

\dot{Q} = Flujo volumétrico [$\frac{m^3}{s}$]

ΔP = Delta de presión [Pa]

Por lo cual:

$$P_{cc} = 1,18 \times 10^{-5} (6,86 \times 10^7)$$

$$P_{cc} = 810,55 \text{ W} \cong 1,087 \text{ HP}$$

6.1.15.c Potencia disipada por la holgura [P_{dh}]. Esta potencia es causada por el roce del material por el cilindro, dado por la holgura entre el husillo y la camisa del barril.

$$P_{dh} = \frac{\pi^2 D^2 N \mu_L e L_D}{\delta \tan(\varphi)} \quad (22)$$

Donde:

D= Diámetro del husillo [m]

N= RPM [Rad]

μ_L = Viscosidad del material a 250°C [$\frac{Kg}{m \cdot s}$] (PP= 99,83)

e= Espesor de filete [m]

L_D= Longitud zona dosificación [m]

δ = Huelgo del husillo [m]

Por lo cual:

$$P_{dh} = \frac{\pi^2(0,0413^2)(7,33)(99,83)(0,0041)(0,30)}{1,03 \times 10^{-4} \tan(20)}$$

$$P_{dh} = 399,65 \text{ W} \cong 0,53 \text{ HP}$$

6.1.16 Potencia mecánica [\dot{W}_m]

Como ya se cuentan con las potencias requeridas en la zona de dosificación, se puede realizar el cálculo de la potencia mecánica dada por la sumatoria por la potencia suministrada en la zona de alimentación y la potencia consumida por el flujo.

$$\dot{W}_m = \dot{W}_a + P_{cc} \tag{23}$$

Por lo cual:

$$\dot{W}_m = 1,31 \times 10^{-12} + 1,087$$

$$\dot{W}_m = 1,086 \text{ HP}$$

6.1.17 Potencia Calorífica [\dot{W}_c]

La potencia calorífica, está dada por la sumatoria entre la potencia disipada como calor y la potencia disipada en la holgura.

$$\dot{W}_c = P_{dc} + P_{dh} \quad (24)$$

Por lo cual:

$$\dot{W}_c = 0,49 + 0,53$$

$$\dot{W}_c = 1,03 \text{ HP}$$

6.1.18 Potencia Total Requerida $[\dot{W}_t]$

La potencia total requerida va a estar dada por sumatoria de la potencia calorífica y la potencia mecánica.

$$\dot{W}_t = \dot{W}_m + \dot{W}_c \quad (25)$$

Por lo cual:

$$\dot{W}_t = 1,086 + 1,03$$

$$\dot{W}_t = 2,11 \text{ HP}$$

Al analizar el resultado de la potencia requerida, se decide operar con un **motor de 2,5 HP**, con el fin de asegurar que se cuente con la potencia suficiente para la operación completa de la máquina.

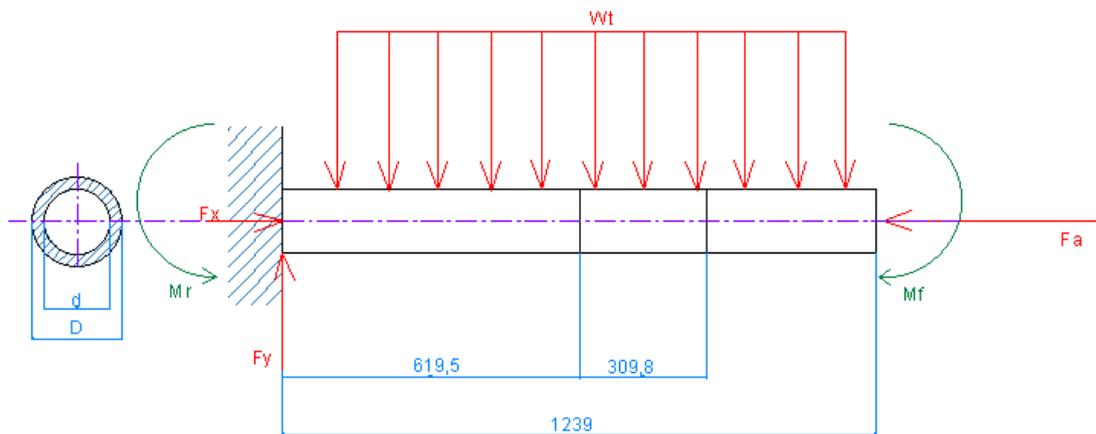
Análisis de resistencia en el husillo

Este elemento está sometido a cargas y esfuerzos combinados, debido a su operación, por un lado, se tiene cargas axiales y de torsión, debido al desplazamiento del material y la contra presión a este, también se somete a flexión y cargas tangenciales.

Debido a que el elemento se encuentra apoyado en uno de los extremos, como se muestra en el diagrama de cuerpo libre (figura 33), se tomara como una viga empotrada, analizando así la resistencia de este.

Figura 43.

Diagrama de cuerpo libre.



Nota: Se muestra el diagrama de cuerpo libre con las reacciones generadas por el empotramiento en una viga.

6.1.19 Fuerza Axial

Esta fuerza axial, es causada por la resistencia que tiene al material para vencer la presión generada a la entrada del cabezal, por lo cual se tiene que conocer primero dicha presión para tener un cálculo adecuado de la fuerza axial, teniendo en cuenta que el flujo de fricción y de presión tienen que ser iguales para que no hallan restricciones de la salida del material, por lo tanto el flujo de salida se tomara como un flujo de cero, es decir como si la salida de este estuviera cerrado, por lo cual se tiene.

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_f - \dot{Q}_p \quad (26)$$

Donde:

$$\dot{Q}_T = \text{Flujo de salida} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_f = \text{Flujo de fricción} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_p = \text{Flujo de presión} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza el cálculo del flujo de fricción por medio de la ecuación 27.

$$\dot{Q}_f = \frac{\pi^2 * D^2 * N * h_d * \text{sen}(\varphi) * \text{Cos}(\varphi)}{2} \quad (27)$$

Donde:

D= Diámetro de husillo [m]

N= RPM [Rad]

h_d= Profundidad canal dosificación [m]

φ= Angulo de filete

Por lo cual al remplazar se obtiene:

$$\dot{Q}_f = \frac{\pi * 0,0413^2 * 7,33 * 3,51 * 10^{-3} * \text{sen}(20^\circ) * \text{Cos}(20^\circ)}{2}$$

$$\dot{Q}_f = 1,85 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Teniendo el flujo de fricción, se procede a hacer el cálculo del flujo de presión, pero como no se cuenta con una presión dentro de la máquina, de la ecuación 28 se deja expresado en el factor de presión.

$$\dot{Q}_p = \frac{\pi D h_d^3 P \text{Sen}^2(\varphi)}{12 \mu L_d} \quad (28)$$

Donde:

D= Diámetro del husillo [m]

h_d= Profundidad canal zona dosificación [m]

P= Presión [Pa]

φ= Angulo de filete

μ= Viscosidad del material [Pa. s]

L_d= Longitud zona de dosificación

Como no se cuenta con la presión, se hace el desarrollo de la ecuación, dejándola en función de esta.

Por lo cual:

$$\dot{Q}_P = 7,52 \times 10^{-13} P$$

Como ya se tienen los valores para remplazarlos en la ecuación 26, teniendo en cuenta que flujo en la salida es cero, como se explicó anterior mente, se hace el despeje de la ecuación para hallar el valor de la presión en la máquina.

$$0 = 1,85 \times 10^{-5} - 7,52 \times 10^{-13} P$$

$$P = 24,58 \text{ MPa} \cong 245,76 \text{ Bar}$$

Como ya se cuenta con el valor de la presión, solo haría falta calcular el área transversal del husillo para poder usar la ecuación 30 y de esta manera calcular la fuerza axial o real presente en el husillo, por lo cual se realiza el cálculo del área transversal mediante la ecuación 29.

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (29)$$

Donde:

D= Diámetro del husillo zona dosificación [m]

d= Diámetro del husillo zona dosificación [m]

Por lo cual:

$$A = \frac{\pi(0,0413^2 - 0,0248^2)}{4}$$

$$A = 8,58 \times 10^{-4} m^2$$

Ya se cuentan con los valores necesarios para calcular la fuerza axial o también llamada fuerza real obtenida al despejar la ecuación 30.

$$P = \frac{F_r}{A} \quad (30)$$

Donde:

P= Presión ejercida [Pa]

F_r= Fuerza máxima ejercida [N]

A= Área del husillo [m²]

Por lo cual:

$$F_r = P \cdot A \quad (31)$$

$$F_r = 24,58 \times 10^6 (8,58 \times 10^{-4})$$

$$F_r = 21,076 \text{ KN}$$

Contando con la carga axial que se le ejerce al elemento, es importante comprobar si esta carga será soportada teniendo en cuenta el material seleccionado, junto al dimensionamiento calculado para este, teniendo en cuenta que la fuerza admisible, tiene que ser mayor a la fuerza real ($F_{ad} > F_{real}$).

Teniendo en cuenta dicho principio, se realiza el cálculo para la carga relativa, según propiedades del material, el cual es un acero 1045 mostrado en la ecuación 32.

$$F_{cr} = \frac{C\pi^2 EI}{l_r^2} \quad (32)$$

Donde:

C= Constante de condición externos (25D) [m]

E= Modulo elástico del material [Pa]

I= Momento de inercia [m⁴]

L_r= Longitud efectiva [m]

El momento de inercia se obtuvo mediante la ecuación 33.

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (33)$$

Por lo cual:

$$I = \frac{\pi(0,0413^2 - 0,0248^2)}{64}$$
$$I = 1,24 \times 10^{-7} m^4$$

Por lo cual remplazamos la ecuación 32:

$$F_{cr} = \frac{1,03\pi^2(2,00 \times 10^{11})(1,24 \times 10^{-7})}{1,2^2}$$
$$F_{er} = 165,1 KN$$

Ahora que se obtiene la carga relativa, se puede calcular la fuerza admisible del material (ecuación 34), teniendo en cuenta un factor de seguridad de 3, ya que como se mencionó en los criterios de diseño, la maquina tiene que tener un factor mayor a 1,5, según su aplicación de máquinas de laboratorio.

$$F_{adm} = \frac{F_{cr}}{F.S} \quad (34)$$

Donde:

F_{er} = Fuerza relativa [N]

F. S= Factor de seguridad

Por lo cual:

$$F_{adm} = \frac{165,1}{3}$$
$$F_{adm} = 55,03 KN$$

Si realizamos la comparación ($F_{ad} > F_{real}$), se llega a la conclusión de que el material soporta la carga ejercida sobre él, por lo cual el elemento no fallara.

$$55,03 \text{ KN} > 21,076 \text{ KN}$$

6.1.20 Momentos presentes en el husillo

6.1.20.a Momento Flector (M_f). Como se está analizando el husillo como si fuera una viga empotrada en voladizo, se producirá un momento flector efectuado por el peso que tiene el material, por lo cual se realizan algunos cálculos pertinentes para poder calcularlo.

El primer calculo que se lleva a cabo, es el del volumen del husillo, dado por la ecuación 35, como se muestra a continuación.

$$V = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)L \quad (35)$$

Donde:

D= Diámetro zona dosificación [m]

d= Diámetro zona alimentación [m]

L= Longitud total husillo [m]

Por lo cual:

$$V = \frac{\pi}{4}(0,0413^2 - 0,0248^2)(1,2)$$

$$V = 1,06 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Contando con el volumen del husillo, podremos hallar la masa de este dada por la ecuación 36, recordemos que la masa del husillo también está dada por la densidad del material, que en este caso será dada por un acero 1045.

$$m = V \cdot \rho \quad (36)$$

Donde:

V= Volumen del husillo [m³]

ρ = DEnsidad del material [$\frac{Kg}{m^3}$]

Por lo cual:

$$m = 1,06 \times 10^{-3} (7870)$$

$$m = 8,36 \text{ Kg}$$

Ya con estos datos, se puede encontrar el peso de husillo, multiplicando la masa por la gravedad, por lo cual el peso del husillo será:

$$W_t = 82,05 \text{ N}$$

Con estos valores, se calcula el momento flector, dado por la ecuación 37, como se muestra a continuación.

$$M_f = \frac{W_t L}{2} \quad (37)$$

Donde:

W_t= Peso del Husillo [N]

L= Longitud del husillo [m]

Por lo cual:

$$M_f = \frac{82,05(1,2)}{2}$$

$$M_f = 50,84 \text{ N.m}$$

6.1.20.b Momento torsor (M_t). Este momento, es generado debido al par rotor dado por el motor o la potencia de accionamiento entregado por este y la velocidad angular del husillo.

$$M_t = \frac{\dot{W}_{mot}}{n} \quad (38)$$

Donde:

\dot{W}_{mot} = Potencia suministrada por el motor [w]

n= RPM [Rad]

Por lo cual:

$$M_t = \frac{1862,5}{7,33}$$

$$M_t = 254,079 \text{ N.m}$$

Cálculo de esfuerzos presentes en el husillo

Debido a las condiciones de trabajo del husillo y el trabajo que este ejerce en cada una de las zonas, presenta una combinación de esfuerzos bastante importante, como lo son esfuerzos de flexión, torsión, cargas axiales y tangenciales, por esta razón es fundamental calcular los esfuerzos equivalentes con el fin de comparar la resistencia máxima que tiene el material (esfuerzos admisibles) y de esta manera evitar que el elemento falle en operación.

6.1.21 Esfuerzo equivalente combinado

Para realizar el cálculo del esfuerzo combinado equivalente, es importante realizar el cálculo del momento resistente dado por la ecuación 39.

$$w = \frac{I}{R} = \frac{\pi r^3}{4} \quad (39)$$

Donde:

R= Radio del husillo [m]

I= Momento de inercia [m⁴]

Por lo cual:

$$w = \frac{\pi(2,07 \times 10^2)}{4}$$

$$w = 6,92 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Con este valor se calcula el esfuerzo combinado equivalente dado por la ecuación 40.

$$\sigma_{equc} = \sqrt{\left(\frac{M_f}{w} + \frac{F_a}{A}\right)^2 + \frac{M_t^2}{w^2}} \leq \sigma_{Adm} \quad (40)$$

Donde:

M_f = Momento Flector [N.m]

W= Momento resistente [m³]

F_a = Carga Axial [N]

A= Área transversal [m²]

M_t = Momento torsor [N.m]

Por lo cual:

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\left(\frac{50,84}{6,92 \times 10^{-6}} + \frac{2,11 \times 10^4}{8,58 \times 10^{-4}}\right)^2 + \frac{254,079^2}{(6,92 \times 10^{-6})^2}}$$

$$\sigma_{equ} = 48,65 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa (acero 1045)}$$

Analizando el resultado, se determinó que el material soporta los esfuerzos combinados presentes en este.

6.1.22 Esfuerzos principales

Se realizan los cálculos pertinentes para los esfuerzos normales presentes en el husillo.

6.1.22.a Esfuerzo normal en x [σ_x]. El esfuerzo en x o presente en el eje x, es el dado por la carga axial, el momento de inercia y el momento de inercia, como se muestra en la ecuación 41.

$$\sigma_x = \frac{F_a}{A} - \frac{M_f C}{I} \quad (41)$$

Donde:

F_a = Carga Axial [N]

A = Área transversal husillo [m^2]

M_f = Momento flector [N.m]

C = Radio del husillo [m]

I = Momento de inercia [m^4]

Por lo cual:

$$\sigma_x = \frac{2,11 \times 10^4}{8,58 \times 10^{-4}} + \frac{50,84(2,07 \times 10^{-2})}{1,24 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma_x = 16,134 \text{ MPa}$$

6.1.22.b Esfuerzo Cortante (τ). Para poder calcular el esfuerzo cortante, es importante calcular los momentos geométricos como lo es el momento polar de inercia y el factor Q de media circunferencia.

$$J = \frac{\pi}{2} r^4 \quad (42)$$

Donde:

r= Radio del husillo [m]

Por lo cual:

$$J = \frac{\pi}{2} (2,07 \times 10^{-2})^4$$

$$J = 2,86 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

El Factor geométrico Q esta dado por:

$$Q = \frac{2}{3} r^3 \quad (43)$$

Por lo cual:

$$Q = \frac{2}{3} (2,07 \times 10^{-2})^3$$

$$Q = 5,87 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Teniendo presentes estos momentos de inercia geométrico, es pertinente calcular el esfuerzo cortante, dado por los factores anteriores, el torque o momento torsor y algunos parámetros geométricos del husillo.

$$\tau_y = \frac{TC}{J} + \frac{W_t Q}{ID} \quad (44)$$

Donde:

T= al torque o momento torsor [N.m]

C=Radio del husillo [m]

J= Momento polar de inercia [m⁴]

W_t= Peso del husillo [N]

Q= Factor geométrico [m³]

I= Momento de inercia [m⁴]

D= diámetro del husillo [m]

Por lo cual:

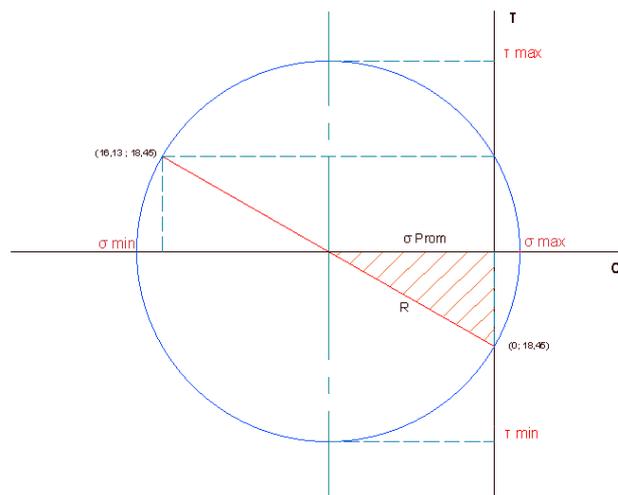
$$\tau_y = \frac{254,09(2,07 \times 10^{-2})}{2,86 \times 10^{-7}} + \frac{82,05(5,87 \times 10^{-6})}{1,24 \times 10^{-7}(0,0413)}$$

$$\tau_y = 18,455 \text{ MPa}$$

6.1.22.c Esfuerzos máximos y mínimos en el husillo. Como ya se cuenta con los esfuerzos principales, se puede calcular los esfuerzos máximos presentes, debido a la transformación de estos por medio del círculo de Mohr como se observa en la figura 44.

Recordemos que, para graficar el círculo de Mohr, las coordenadas para este están dadas por los esfuerzos principales (normal y cortante), los cuales serían $x = (0; 18,455)$ y $Y = (-16,134; 18,455)$ el esfuerzo normal, por la forma en la que está entrando al elemento estudiado, se tomara negativo [30].

Figura 44.
Circulo de Mohr



Nota: Círculo de Mohr que representa los esfuerzos máximos y mínimos principales presentes en el husillo de extrusión.

Para calcular los esfuerzos máximos, es importante determinar el esfuerzo promedio. Recordemos que en el círculo de Mohr se hacen se refleja un triángulo rectángulo, permitiendo por medio de la geometría hallar los esfuerzos máximos,

por lo cual el esfuerzo promedio será la base del triángulo, dado por la ecuación 45.

$$\sigma_{Prom} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} \quad (45)$$

Donde:

σ_y =Esfuerzo normal en la coordenada Y

σ_z =Esfuerzo normal en la coordenada z ($\sigma_z = 0$)

Por lo cual:

$$\sigma_{prom} = \frac{-16,134+0}{2}$$

$$\sigma_{prom} = -8,067 \text{ MPa}$$

Contando con la base del triángulo, es decir con el esfuerzo promedio, se puede realizar los cálculos del radio, el cual determinara el cortante máximo, ya que como se observa en el círculo de Mohr (Figura 34) el cortante máximo es el mismo radio.

$$r = \sqrt{\sigma_{Prom}^2 + \tau_{xy}^2} \quad (46)$$

Por lo cual:

$$\tau_{max} = r = \sqrt{(-8,067)^2 + (18,455)^2}$$

$$\tau_{max} = 20,14 \text{ MPa}$$

Con los cortantes máximos y según el círculo de mor se pueden obtener los esfuerzos normales máximos y mínimos, dados por las ecuaciones 47 y 48.

$$\sigma_{Max} = \sigma_{Prom} + r \quad (47)$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{Prom} - r \quad (48)$$

Por lo cual:

$$\sigma_{Max} = -8,067 + 20,14$$

$$\sigma_{Max} = 12,073 \text{ MPa}$$

Y

$$\sigma_{min} = -8,067 - 20,14$$

$$\sigma_{min} = -28,207 \text{ MPa}$$

6.1.23 Análisis de esfuerzos a la falla

Si el elemento estuviera sometido a una sola carga o esfuerzo, el elemento se podría analizar cómo se hizo anteriormente, de comparar la carga máxima ejercida por la resistencia del material, o el esfuerzo máximo que soporta el material, pero como el husillo está soportando cargas combinadas y esfuerzos combinados es correcto realizar un análisis de algunas de las fallas más comunes que se pueden presentar en el elemento, teniendo en cuenta los esfuerzos, cargas y momentos previamente calculados, por lo cual se realizarán análisis de energía de distorsión o también conocida como el octaedro de Von Mises, por otro lado analizar el husillo por falla a la fatiga y así mismo cálculos de deflexión máxima [30].

6.1.23.a Energía de distorsión. La energía de distorsión, es fundamental para predecir si el elemento en estudio puede llegar a fallar por fluencia ya que esta puede llegar a presentarse por la distorsión angular dado por los esfuerzos presentes en el elemento [30].

Por ende, se puede analizar la energía de deformación por unidad volumétrica, dada por la ecuación 49, teniendo en cuenta que el módulo elástico (E) del acero 1045 es de 2×10^5 Mpa y para materiales dúctiles se usa un factor volumétrico de 0,3.

$$U = \frac{1}{2E} (\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - 2u(\sigma_{max}\sigma_{min})) \quad (49)$$

Donde:

E= Modulo elástico del material usado [Pa].

u= Factor volumétrico.

Por lo cual:

$$U = \frac{1}{2(2 \times 10^{11})} [(1,21 \times 10^7)^2 + (2,82 \times 10^7)^2 - 2(0,3)((1,21 \times 10^7)(2,28 \times 10^7))]$$

$$U = 1,84 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

Para poder llegar al valor de energía de distorsión presente en el elemento, es preciso calcular por un lado el esfuerzo medio, dado por cada esfuerzo presente en las direcciones cartesianas (x, y, z) dado por la ecuación 50, teniendo en cuenta que no se cuentan con esfuerzos normales en Y, y, por otro lado, la energía media de deformación dado por la ecuación 51.

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{3} \quad (50)$$

Por lo cual:

$$\sigma_{med} = \frac{12,07 + 28,21}{3}$$

$$\sigma_{med} = 13,46 \text{ MPa}$$

$$U_m = \frac{3(1 - 2U)}{2E} \sigma_m^2 \quad (51)$$

Donde:

U= Deformación por unidad volumétrica [MPa]

E= Modulo elástico del material usado. [MPa]

σ_m = Esfuerzo medio [MPa]

Por lo cual:

$$U_m = \frac{3(1 - 2(1,84 \times 10^{-3}))}{2(2 \times 10^5)} (13,46)$$

$$U_m = 4,03 \times 10^{-11} \text{ MPa}$$

Por lo cual la energía de distorsión estará dada por:

$$U_{dis} = U - U_m \quad (52)$$

Por lo cual:

$$U_{dis} = 1,84 \times 10^{-8} - 4,03 \times 10^{-11}$$

$$U_{dis} = 1,84 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

Como el elemento en estudio, se encuentra bajo esfuerzos combinados, es apropiado realizar el análisis de esfuerzo cortante octaédrico con el fin de analizar si este sobrepasa el límite de fluencia del material usado, mostrando de esta manera que se puede producir una falla en el elemento dado por esfuerzos cortantes octaédricos [30], por lo cual se analiza según la ecuación 53, mostrada a continuación.

$$\tau_0 = \frac{\sqrt{2}}{3} (\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min})^{1/2} \quad (53)$$

Por lo cual:

$$\tau_0 = \frac{\sqrt{2}}{3} [12,07^2 + 28,21^2 - 12,07(28,21)]^{1/2}$$

$$T_0 = 11,56 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante octaédrico, no es suficientemente grande para que el elemento falle, debido a que el esfuerzo cortante en el material es mayor.

Para determinar si el husillo puede fallar por la energía de distorsión, es preciso calcular el esfuerzo normal equivalente, dado por la energía de distorsión volumétrica presente en este, por lo cual es determinado por la ecuación 54.

$$\sigma_{eq} = (\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min})^{1/2} \quad (54)$$

Por lo cual:

$$\sigma_{eq} = [12,07^2 + 28,21^2 - 12,07(28,21)]^{1/2}$$

$$\sigma_{eq} = 24,51 \text{ MPa} \leq 570 \text{ MPa}$$

Al comparar el esfuerzo equivalente con el esfuerzo admisible del material, se puede determinar que el husillo no puede fallar por la energía de distorsión o también llamada esfuerzo octaédrico de Von Misses.

6.1.23.b Fatiga. Como el husillo es un elemento que va a estar sometido a movimientos rotatorios y además soporta una carga axial, es pertinente afirmar que el elemento estará sometido a esfuerzos fluctuantes, los cuales pueden generar falla por fatiga, por lo cual se llevara el estudio pertinente para determinar si los esfuerzos presentes, no son superiores a los esfuerzos máximos soportados por el material, envidando de esta manera la fatiga.

Recordemos que se puede determinar la fatiga mediante la ecuación 55 [30].

$$\sigma_{adm} = S_e = S'_e K_a K_b K_c K_d K_f \quad (55)$$

En donde:

S_e = Limite de resistencia a la fatiga

S'_e = Limite de resistencia a la fatiga en el material

K_a = Factor de modificación por acabado

K_b = Factor de modificación por tamaño

K_c = Factor de modificación por carga

K_d = Factor de modificación por temperatura

K_e = Factor de confiabilidad

K_f = Factor de modificación por factores varios.

Para determinar el esfuerzo admisible por fatiga, es indispensable seleccionar cada uno de los factores mencionados anteriormente.

El factor por acabado (K_a) tiene un valor de 0,6, ya que el husillo debe contar con un buen acabado superficial con el fin de que el polímero no se adhiera a este.

El factor de por tamaño (K_b), debido a que se tienen cargas axiales presentes en el elemento, su valor será de 1.

El factor por carga (K_c), como se explicaba en el factor K_b , se cuenta con cargas axiales, por lo cual K_c tendrá un valor de 0,85.

El factor por temperatura (K_d), debido a que se conoce la temperatura a trabajar es pertinente que K_d tome valores de 1 [30].

El factor de confiabilidad (K_e), como se cuenta que la máquina sea lo bastante segura para ser operada en laboratorio, se determina que este valor sea del 99%, por lo que el factor K_e tendrá un valor de 0,814.

El factor de efectos varios (K_f), como este factor depende de aceptaciones directas al elemento como corrosión, metalizado por aspersion, suciedad, entre otros muchos, este factor dependerá más que todo del mantenimiento que reciba la máquina, por lo cual se le dará un valor al factor K_f de 1.

Teniendo en cuenta dichos factores, el esfuerzo admisible según la ecuación 55, quedara de la siguiente manera:

$$\sigma_{ad} = 0,5(570)(0,6)(1)(0,85)(1)(0,814)(1)$$

$$\sigma_{ad} = 118,3 \text{ MPa} \leq 570 \text{ MPa}$$

El elemento no fallara por fatiga, ya que el esfuerzo admisible, es menor al esfuerzo admisible del material usado.

6.1.23.c Deflexión máxima en el husillo. Teniendo en cuenta que el husillo se comporta como una viga en voladizo, es pertinente realizar análisis de deflexión máxima en el husillo con material presente, es decir cargada y en vacío, para determinar por un lado cuanto puede deflactarse y por otro lado las condiciones idóneas para el trabajo con este.

El primer caso de estudio, es mediante al análisis del husillo siendo este operado en vacío, por lo cual está dado por la ecuación 57, pero es fundamental tener presente el momento de inercia presente en el husillo, dado por la ecuación 56 como se muestra a continuación.

$$I = \frac{\pi D^4(1 - U^4)}{64} \quad (56)$$

En donde:

D= Diámetro del husillo [m]

U= Factor geométrico dado por $(\frac{D}{d})$ [m]

Por lo cual:

$$I = \frac{\pi(0,0413)^4(1-1,66^4)}{64}$$

$$I = 9,6x10^{-7} m^4$$

La deflexión máxima estaría dada por:

$$Y_{mas} = \frac{WL^3}{8EI} \quad (57)$$

Donde:

W= Peso del Husillo [N]

L= Longitud del husillo [m]

E= Modulo elástico del material [Pa]

I= Momento de inercia [m⁴]

Por lo cual:

$$Y_{max} = \frac{82,05(1,2)^3}{8(2 \times 10^{11})(9,6 \times 10^{-7})}$$

$$Y_{max} = 1,02 \times 10^{-4} \text{ m} \leq 1,03 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Como se observa, la deflexión máxima con la máquina en vacío es menor a la holgura que se tiene entre el husillo y el barril, por lo cual la máquina se puede operar en vacío, pero no es recomendable por el poco espacio que se tiene si se presenta la deflexión.

Para calcular la deflexión máxima cuando la máquina se encuentra cargada, se utiliza la misma ecuación 57, con diferencia que se le agrega un factor de 185 dado por el material, el cual realiza la función de disminuir la deflexión, ya que el material mientras se funde, soporta el husillo en su posición.

$$Y_{max} = \frac{WL^4}{185EI} \quad (58)$$

Por lo cual:

$$Y_{max} = \frac{82,05(1,2^4)}{185(2 \times 10^{11})(9,6 \times 10^{-7})}$$

$$Y_{max} = 5,45 \times 10^{-6} \text{ m} \leq 1,03 \times 10^{-4} \text{ m}$$

La deflexión máxima con la máquina cargada es mucho menor a la holgura que se tiene con respecto al barril y el husillo, por lo cual la deflexión no es lo bastante grande para que el material falle o para que se estrelle con el barril provocando un daño en este.

Comprobación de datos por métodos computacionales.

En la ingeniería, es fundamental antes de realizar algún modelo, realizar una simulación de los elementos más críticos de la máquina, con el fin de reducir costos de fabricación y posibles fallas las cuales no se han contemplado, por lo cual se hizo una simulación en el husillo.

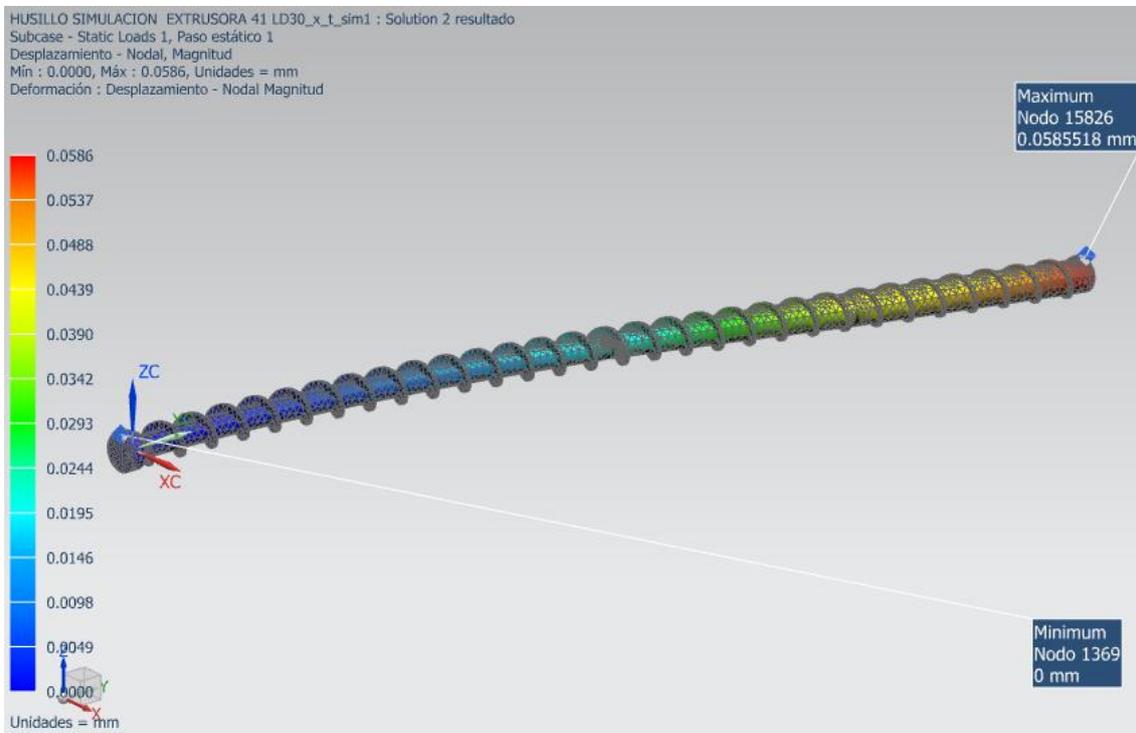
6.1.24 Análisis husillo sin redondeos.

Se comienza simulando el husillo con el ángulo entre el filete y el núcleo de 90° o también conocido como ángulo recto, analizando desplazamiento, esfuerzos octaédricos, esfuerzos de Von Mises y deformación, cabe recalcar que al elemento se le hizo un refinamiento de malla en las uniones del filete con el núcleo del husillo de 13 elementos, usando una malla tetraédrica con tamaños de elementos de 10,5 mm.

6.1.24.a Desplazamiento.

Figura 45.

Simulación desplazamiento del husillo ángulo recto.



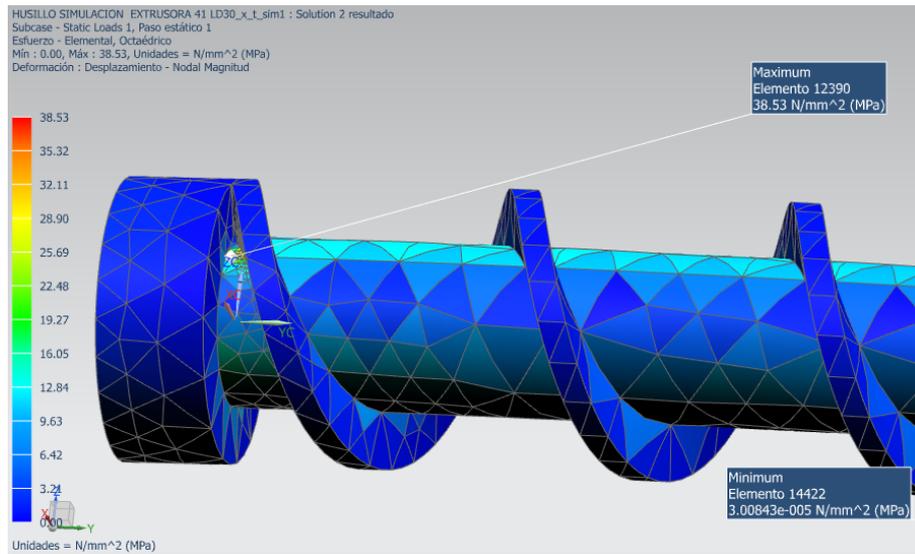
Nota: Se muestra el desplazamiento máximo y mínimo ejercido en el husillo por su peso.

Como se muestra en la figura 35, se observa que se tuvo un desplazamiento máximo de 0,058 mm y según los cálculos realizados anteriormente, tenemos un desplazamiento de 0,102 mm, cabe recalcar que el desplazamiento se calculó en un husillo con un factor de seguridad de 2 como se especificó anteriormente, por lo cual se concluye que se tiene un desplazamiento menor al teórico ya que el valor práctico según la simulación, por lo cual el husillo es lo suficientemente estable para no rozar con el barril cuando la máquina este al vacío.

6.1.24.b Esfuerzos octaédricos.

Figura 46.

Simulación esfuerzo octaédricos presentes en el husillo.



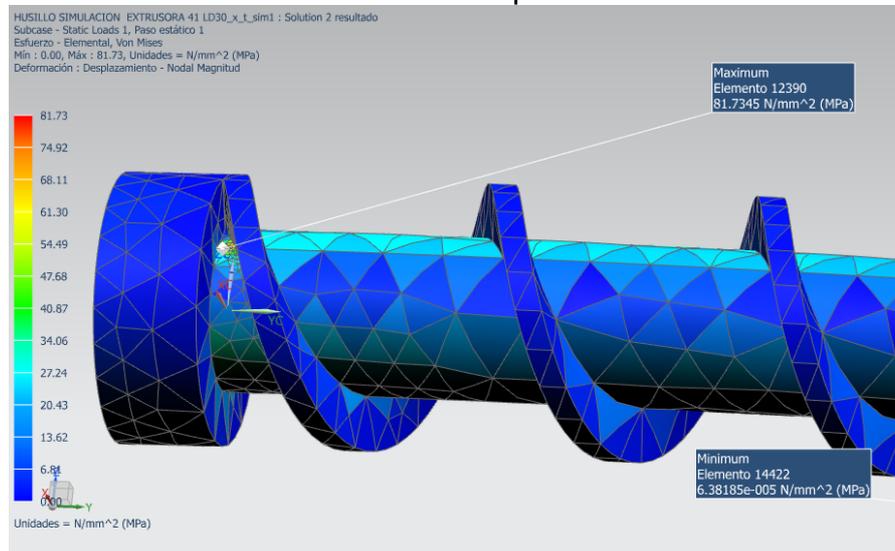
Nota: Se muestra en la imagen los resultados de los esfuerzos octaédricos máximos y mínimos presentes en el husillo.

Como se muestra en la figura 36, se pueden ver los esfuerzos máximos octaédricos que son iguales a los esfuerzos de Von Mises, en la simulación se determinan que el esfuerzo máximo octaédrico es de 38,53 MPa, el cual no es tan grande para que el elemento falle, pero si deja ver un punto crítico en el cual no se tenía contemplado en el diseño primario, por lo cual para corregir o minimizar este punto crítico, se le realizara un redondeo al husillo en el punto máximo.

6.1.24.c Esfuerzos de Von Mises.

Figura 47.

Simulación esfuerzo de Von Mises presentes en el husillo.



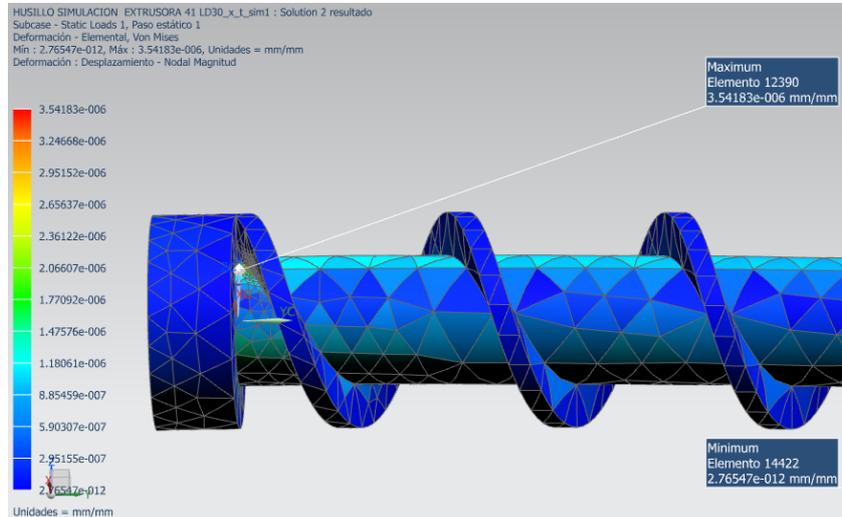
Nota: Se muestra los esfuerzos máximos y mínimos de Von mises presentes en el husillo y el punto en el cual se presentan dichos datos.

Como se muestra en la figura 37, se pueden ver y analizar el esfuerzo máximo y en donde están ubicados, el esfuerzo máximo de Von Mises 81,73 MPa, por lo cual el esfuerzo máximo, no es lo suficientemente grande para hacer fallar el husillo, pero al igual que el esfuerzo máximo octaédrico, se encuentra en el comienzo del filete, por lo cual se realizará un redondeo como se explica en los esfuerzos octaédricos.

6.1.24.d Deformación.

Figura 48.

Simulación deformación en el husillo.



Nota: Se muestra en la figura, el lugar en donde esta ejercida la deformación máxima presente en el husillo.

La deformación máxima es de $3,54 \times 10^{-6}$ mm, por lo cual es una deformación mínima presente en el husillo, por lo cual este no fallase ni perderá su confiabilidad, aunque cabe resaltar que esta se presenta en el mismo punto crítico que no se había considerado en el diseño como se especificó en las simulaciones anteriores.

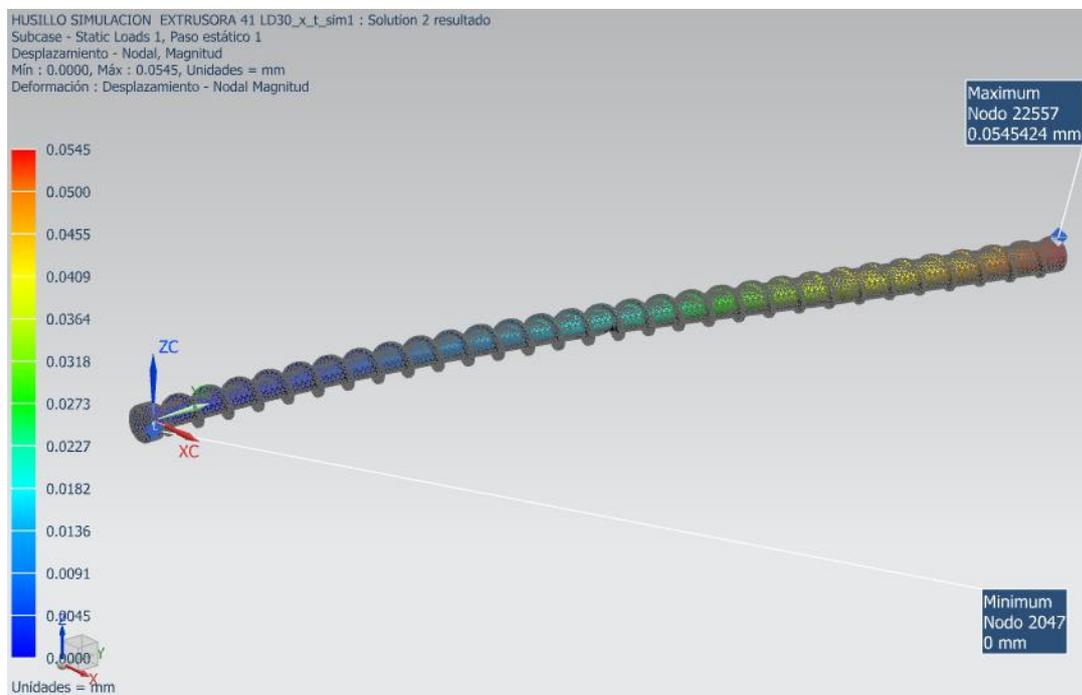
6.1.25 Análisis husillo corregido.

Como bien se vio en la sección anterior, se hicieron rediseños en el husillo, por un lado, se le aplicó redondeos al filete por ambos lados de 3,5 mm para reducir esfuerzos y también un redondeo en el inicio de este, con el mismo fin. Cabe recalcar que se usó el mismo refinamiento de malla que la simulación anterior y el mismo número de elementos, con el fin de correr las mismas condiciones de simulación anteriormente realizadas.

6.1.25.a Desplazamiento.

Figura 49.

Simulación desplazamiento del husillo redondeado.



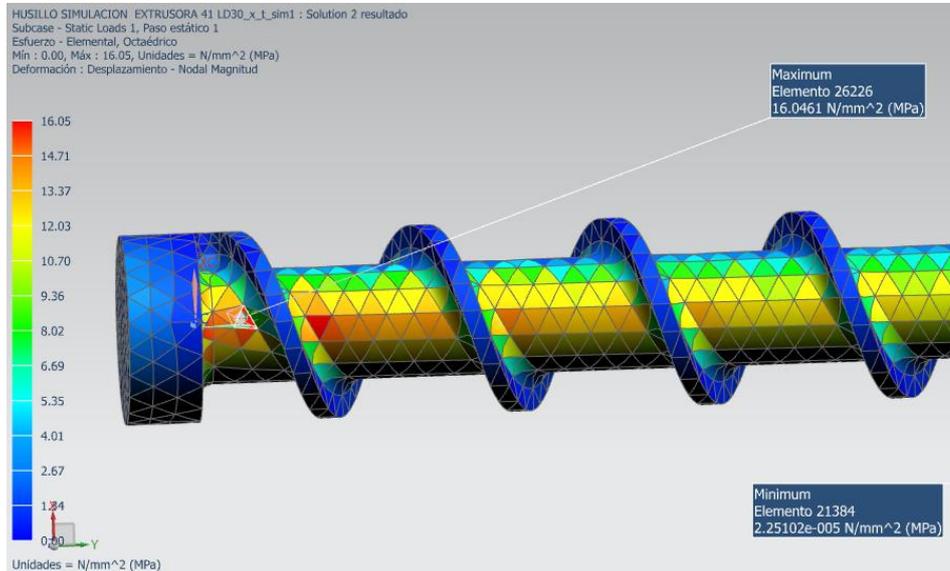
Nota: Se muestra el desplazamiento en máximo del husillo con los filetes redondeados.

Al realizar una comparación con la simulación anterior, se puede concluir que el desplazamiento máximo sufrido por el husillo, aplicando un redondeo de 3,5mm es de 0,054 mm, siendo este menor a comparación del husillo con filetes de ángulos rectos, comprobando de esta manera, que con el cambio dado al por el redondeo al filete se disminuye el desplazamiento en el husillo.

6.1.25.b Esfuerzo octaédrico.

Figura 50.

Esfuerzos octaédrico del husillo redondeado.



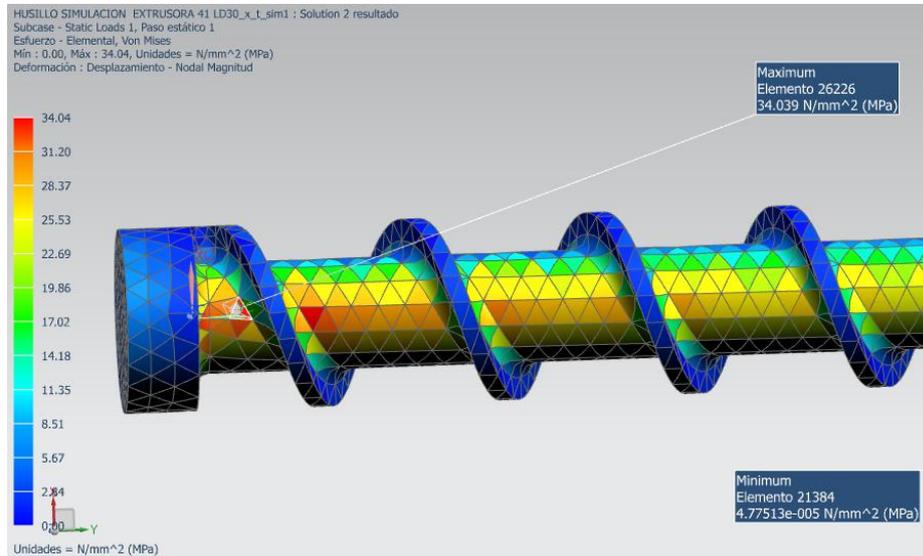
Nota: Se muestra el redondeo realizado en el filete he inicio de este.

Al analizar la simulación, se puede observar que el esfuerzo mayor octaédrico cambio de lugar, debido al redondeo aplicado en el inicio del filete, por un lado, eliminando un punto de concentración de esfuerzos, si no también evita que el material a extruir se acumule en este punto, por lo cual el esfuerzo máximo octaédrico ahora es de 16,04 MPa reduciendo bastante este esfuerzo presente.

6.1.25.c Esfuerzos de Von Mises.

Figura 51.

Esfuerzo de Von Mises presentes con redondeos.



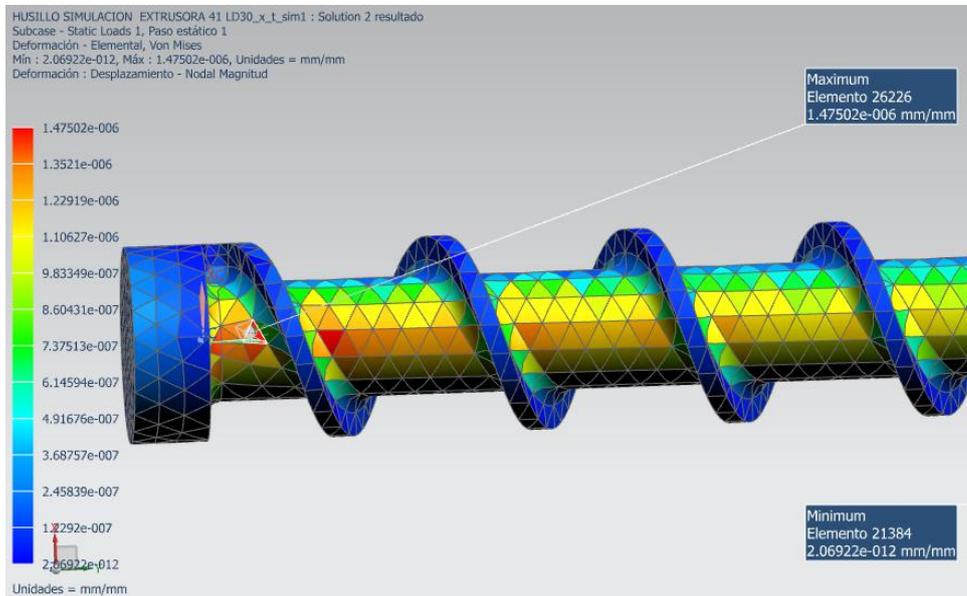
Nota: Se muestra el redondeo realizado en el filete he inicio de este y los esfuerzos máximos y mínimos de Von Mises.

Como era de esperarse, visto en la simulación de los esfuerzos octaédricos, es el cambio del punto ejercido de los esfuerzos máximos debido al redondeo aplicado en el inicio del filete, por lo cual el esfuerzo máximo es de 34,09 MPa mucho menor al mostrado con el husillo sin redondeos, mostrando de esta manera que aplicando los redondeos se reducen de gran medida los esfuerzos presentes en el husillo.

6.1.25.d Deformación.

Figura 52.

Simulación deformación en el husillo con redondeos aplicados.



Nota: Se muestra los redondeos aplicados al husillo y la deformación máxima presente en el husillo.

Al igual que en las simulaciones anteriores, se observa que la deformación máxima cambia de lugar debido al redondeo y esta se ubica a hora en la parte baja del husillo en donde se presentaran esfuerzos a compresión, dando una deformación de $1,47 \times 10^{-6}$ mm, mucho menor que en la simulación con el husillo sin redondeos.

6.1.26 Comprobación de cálculos en MATLAB

A continuación, se mostrará el código de comprobación de cálculos del dimensionamiento y potencia requerida realizados para el Husillo en el programa MATLAB en la versión gratuita académica.

```

%%Verificación de cálculos de diseño en MATLAB

%%parámetros primarios de Diseño Husillo Extrusora 41 ld30
Fpp = 8 ; %Fluidez polipropileno
Gepp = 1.0385; %Gravedad especifica PP
Ccmpp = 190; %Capacidad calorífica Madera PP
H = 0.035; %factor H
Nch = 1; %Numero canales husillo
Vmpp = 1993; %Viscosidad Madera PP
K = 66.7; %Factor K
n = 7.33; %[Rad] o 140 RPM's

%N=35x10^(-5)*Q*C*(T_m-T_0 );[KW]
%Donde:
%Q= Producción o caudal de la maquina [Kg/h].
Q = 40;
%C= Calor especifico del material [J/Kg.°C]
%Ccmpp =190
%Tm= Temperatura fundición del material [°C]
Tm = 170;
%T0= Temperatura a la salida de la tolva [°C]
T0 = 20;

N = 32*10^(-5)*Q*Ccmpp*(Tm-T0) %[KW]

%Diámetro del husillo
%n=(K^2*N)/(pi*D^3 ) ;[rpm]
%Entonces
D=((K^2)*N)/(pi*n)^(1/3) %[mm]

%Diámetro zona de alimentación del husillo
%se aplica un factor de 0,6 veces el diámetro
Da= D*0.6 %[mm]

%Diámetro zona de dosificación
%se aplica un factor de 0,83 veces el diámetro
Dd= D*0.83 %[mm]

%Longitud total del husillo
%teniendo la relación L/D =30 y el Diámetro se puede determinar la
longitud del
%husillo
L = 30 * D %[mm]

%Longitud de la Zona alimentación
%se toma un factor de 0.5 veces la Longitud total del husillo

La = L *0.5 %[mm]

%Longitud de la Zona transición
%se toma un factor de 0.25 veces la Longitud total del husillo

Lt = L * 0.25 %[mm]
%Longitud de la Zona dosificación
%se toma un factor de 0.25 veces la Longitud total del husillo

```

```

Ld = L * 0.25%[mm]

%profundidad del canal de alimentación
%se maneja una relación de 0.2 veces el diámetro del husillo
Ha= 0.2*D%[mm]
%profundidad del canal de Dosificación
%se maneja una relación de 0.12 veces el diámetro del husillo
Hd= 0.12*D%[mm]

%paso de hélice del husillo
%para un correcto manejo del material se toma un rango de (0.8 a
1.2)veces el Diámetro

t= 1*D%[mm]

%Angulo de la hélice del filete
%Ang=Tan^(-1) (t/?D)

Ang = atan(t)/pi()*D%[mm]

%Espesor del filete el cual está definido como (0,06 a 0,1)*D, por lo
cual se toma el valor máximo de este rango

e= 0.1*D%[mm]

%Huelgo del husillo
%dependiendo el material se tiene un rango optimo, el cual esta
definido como (0,002 a 0,003)*D, por lo cual se escoge el valor
promedio de este rango

Hh = 0.0025*D%[mm]

%Potencia requerida
G =2
Qa= (Q/940)/3600 %[w]
A= (Qa*(La/1000)*K*G)/((1*10^6)*G) %[w]

Wa = A*G/746 %[HP]

%Potencia requerida Zona de Dosificación
Pdc = (((pi()^3)*(0.041^3)*7.33*1993.23)/3.51*10^-3)*(1-
((1*0.0041)/0.041))*(1+3*(0.5^2))*cos(0.3549)+4*sin(0.3549))*0.30

%potencia consumida por el flujo Pcc

%delta de presión
%dP= Pf-P0
dP = 6.86*10^(7)-7.47*10^(4)%[Pa]
%Entonces Pcc
Pcc = Qa*dP
Pcc = Pcc/746

%Potencia disipada por la holgura Pdh

Pdh= (pi^(2)*0.0413^(2)*(7.33)*(99.03)*(0.0041)*(0.30))/(1.03*10^-
4*tan(0.3549))
Pdh = Pdh/746

```

%Potencia mecánica

$$W_m = W_a + P_{cc} \quad \%[HP]$$

%Potencia calorífica

$$W_c = P_{dc} + P_{dh}$$

%Potencial total requerida

$$W_t = W_m + W_c$$

Dimensionamiento chaveta y chavetero en husillo

Para realizar el dimensionamiento de la chaveta, se escoge del catálogo de Opac, la chaveta DIN6885 A [31], en el cual señala que las chavetas están hechas de acero C45/F114 el cual cuenta con una resistencia a la tracción de 6×10^8 MPa y según indicaciones de catálogo, se obtienen las dimensiones mostradas en la tabla 17.

Tabla 17.
Dimensiones de chaveta según catálogo.

Dimensión	Valor en [mm]
Altura (h)	8
Ancho (b)	10
Longitud (L)	14
Biselado (r1)	0,50

Para comprobar si la chaveta es la adecuada según el modelo escogido, se realiza un análisis de resistencia de la longitud mínima de la chaveta, teniendo en cuenta la fuerza tangencial que soporta junto con un factor de seguridad de 2,5 como se muestra en la ecuación 60.

La fuerza tangencial es dada por la ecuación 59.

$$F_t = \frac{T}{r} \quad (59)$$

Donde:

T= torque o momento torsor [N.m]

r= Radio del cilindro [m]

Por lo cual:

$$F_t = \frac{254,07}{1,65 \times 10^{-2}}$$

$$F_t = 15,37 \text{ KN}$$

$$L = \frac{F_t F_s}{S_{ey} b} \quad (60)$$

Donde:

F_t = Fuerza tangencial [N]

F_s = Factor de seguridad

S_{ey} = Esfuerzo ultimo de fluencia [N/mm²]

b = Ancho de la chaveta [mm]

Por lo cual:

$$L = \frac{1,5 \times 10^4 (2,5)}{300 (10)}$$

$$L = 12,81 \text{ mm}$$

Por lo cual se determina que la longitud mínima para la chaveta es de 12,81 mm, pero el fabricante propone una longitud de 14 mm, ya que es el estándar según la norma en la que se consigue comercialmente y se demuestra que el elemento no está sobredimensionado.

En el caso del chavetero, se seleccionarán las mismas dimensiones de la chaveta, pero se tendrán tolerancias diferentes recomendadas por el fabricante como se muestra en el plano del husillo (anexo C001).

Selección de rodamientos

Para la selección adecuada de los rodamientos, es fundamental tener presente las cargas que afectan el husillo, para este caso en general, se calculó las fuerzas tangenciales, radiales y la fuerza axial generada por el empuje del material a extruir en la sección 6.4 y 6.5. Para el manejo de estas cargas se utilizarán dos tipos de rodamientos que nos ayudaran a soportar estas y transferirlas a la estructura protegiendo de esta manera el motorreductor reduciendo la potencia requerida y el costo del mismo dado que no tendrá que soportar ninguna de estas cargas.

Para el manejo de las cargas radiales y tangenciales se seleccionó un rodamiento SKF de una hilera de bolas con contacto angular **7210BE** con una capacidad de carga dinámica de 39000N y de carga estática de 30500N con una vida útil según el fabricante de 15000h sin sellos ni auto lubricación.

Para el manejo de las cargas axiales y radiales se selección un rodamiento SKF de una hilera de rodillos cónicos **32010 X** el cual soporta una carga dinámica de 60500N y de carga estática de 88000N con una vida útil según el fabricante de 15000h.

Para el manejo de la lubricación y la temperatura dentro de la caja de rodamientos el fabricante SKF recomienda seleccionar una grasa lubricante LGMT grasa con aceite a base mineral y espesante de jabón de litio, la cual trabaja con temperaturas de -30 a +120°C rango ideal al trabajar a 140 RPM's. [32]

Dimensionamiento del barril

6.1.27 Diámetro inferior del barril [Di]

El diseño del barril parte del dimensionamiento del husillo dadas las condiciones de trabajo iniciales de la máquina se inicia con el dimensionamiento básico del barril

considerando las tolerancias que debe tener el husillo con respecto al barril, la ecuación que nos dará el diámetro interno de este es la siguiente:

$$Dib = 2 * \delta + D \quad (61)$$

Donde:

Dib = Diámetro interno del barril [mm]

δ = Huelgo del husillo [mm]

$$\delta = 0,1033 \text{ mm}$$

D = Diámetro del husillo [mm]

Por lo cual:

$$Dib = 41,51222874 \text{ mm}$$

6.1.28 Espesor del barril

Dadas las cargas internas que soportara el barril al contener el husillo y el material en operación es necesario identificar el espesor que cumpla con las especificaciones además que nos permita una buena transferencia de calor para el proceso.

Para el manejo de las presiones al interior del barril se tiene en cuenta un rango optimo, el cual está definido como $(0,6 \text{ a } 0,8) * Dib$, por lo cual, para que el material no se sufra por el manejo de las presiones y la temperatura, para el diseño del barril se tomó el promedio del rango para el cálculo del espesor del barril por ende la ecuación. [20]

$$E = (0,7 * Dib) \quad (62)$$

Donde:

E = Espesor del barril [mm]

Dib = Diámetro interior del barril [mm]

Por lo cual:

$$E = (0,7 * 41,51222874\text{mm})$$

$$E = 28,91\text{mm}$$

6.1.29 Diámetro exterior del barril.

El diámetro exterior del barril es que determinara las dimensiones finales de la máquina siendo este el que nos dimensiona el tamaño de las resistencias que maneja el sistema y el tamaño de la tolva para la dosificación del material, este sale por geometría manejando la siguiente ecuación.

$$Deb = Dib + (2 * E) \tag{63}$$

Donde:

Deb = Diámetro externo del barril [mm]

Dib = Diámetro interno del barril [mm]

E = Espesor del barril [mm]

Por lo cual:

$$Deb = 41,51222874\text{mm} + (2 * 28,91\text{mm})$$

$$Deb = 99,34020\text{mm}$$

6.1.30 Esfuerzo Admisible del barril

Después del dimensionamiento básico del barril es necesario hacer los cálculos correspondientes a los esfuerzos que lo afectan según las cargas a las que estará sometido en operación.

El primer esfuerzo a calcular es el esfuerzo admisible del barril el cual es una relación entre el esfuerzo de fluencia del material del barril (acero 1045) el cual es un acero de medio contenido de carbono utilizado ampliamente para elementos estructurales y el factor de seguridad según la aplicación (factor de seguridad 3) dado que el Barril va a estar sometido a tracción por parte del material que está

siendo extruido y la carga generada por la presión interna es necesario garantizar la robustez del elemento. [33]

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{F_s} \quad (64)$$

Donde:

S_y = Esfuerzo de fluencia del material [Mpa] (Acero 1045)

F_s = Factor de seguridad (3)

Por lo cual:

$$S_y = 310 * 0.5 \quad (65)$$

$$S_y = 155 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{155 \text{ MPa}}{3}$$

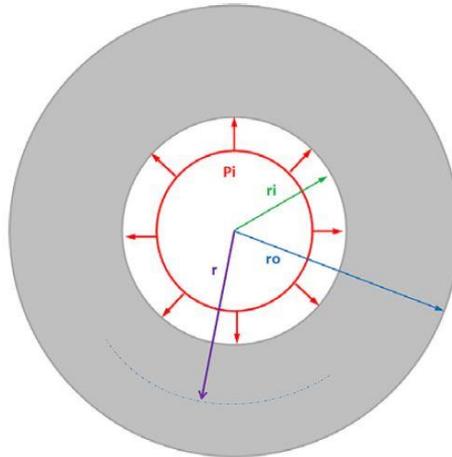
$$\sigma_{adm} = 51,7 \text{ MPa}$$

6.1.31 Esfuerzos internos en el barril

Dadas las condiciones de trabajo del barril es necesario que se analicen los esfuerzos generados por las cargas internas que lo afectan, considerando el esfuerzo tangencial σ_t , y el esfuerzo radial σ_r como los más críticos para las condiciones de operación.

Figura 53.

Esquema cargas en sección del barril



Nota: esquema de las cargas internas y los radios tanto interno y externo del barril para cálculo de esfuerzos tangencial y radial. Tomada de EVALUACIÓN DE ESFUERZOS TANGENCIALES Y RADIALES EN CILINDROS DE PAREDES GRUESAS SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA [En línea] Disponible en <https://www.redalyc.org/jatsRepo/852/85259531005/html/index.html> Consultado el 06/06/2021.

Los esfuerzos tangencial y radial se manejan en base de las ecuaciones de Lamé que obtienen las tensiones en función de las deformaciones que pueden afectar al barril. [33]

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{(r_o^2 - r_i^2)} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (66)$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{(r_o^2 + r_i^2)} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (67)$$

Donde:

P_i = Presión interna del barril [Mpa]

r_i = radio interno del barril [m]

r_0 = radio exterior del barril [m]

r = radio en cualquier punto [m]

Para r tenemos unas relaciones que determinan los valores máximos de los esfuerzos tangencial y radial. Donde

$r = r_i$ el valor del σ_t es máximo y el valor del σ_r es mínimo

$r = r_0$ el valor del σ_r es máximo y el valor del σ_t es mínimo

Por lo cual:

Para $r =$ en el punto medio del barril los esfuerzos serán

$$\sigma_r = \frac{24.58 * 0.02075^2}{(0.04967^2 - 0.02075^2)} \left(1 - \frac{0.04967^2}{0.03521^2}\right)$$

$$\sigma_r = -5.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{24.58 * 0.02075^2}{(0.04967^2 + 0.02075^2)} \left(1 + \frac{0.04967^2}{0.03521^2}\right)$$

$$\sigma_t = 10.92 \text{ MPa}$$

Para $r = r_i$ el valor del σ_t máximo

$$\sigma_r = \frac{24.58 * 0.02075^2}{(0.04967^2 - 0.02075^2)} \left(1 - \frac{0.04967^2}{0.04967^2}\right)$$

$$\sigma_r = -24,5758 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{24.58 * 0.02075^2}{(0.04967^2 + 0.02075^2)} \left(1 + \frac{0.04967^2}{0.04967^2}\right)$$

$$\sigma_t = 24,5758 \text{ MPa}$$

Para $r = r_0$ el valor del σ_r máximo

$$\sigma_r = \frac{24.58 * 0.02075^2}{(0.04967^2 - 0.02075^2)} \left(1 - \frac{0.04967^2}{0.02075^2}\right)$$

$$\sigma_r = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{24.58 * 0.02075^2}{(0.04967^2 + 0.02075^2)} \left(1 + \frac{0.04967^2}{0.02075^2}\right)$$

$$\sigma_t = 7,3070 \text{ MPa}$$

Después del cálculo de los esfuerzos internos del barril podemos determinar que no sobrepasan el esfuerzo admisible del barril garantizándonos la robustez de las paredes del barril y que soportará las cargas a las cuales estará sometido.

6.1.32 Fatiga en el barril

Como en el husillo el barril es un elemento que va a estar sometido a cargas internas y además soportara una carga axial, es pertinente afirmar que el elemento estará sometido a esfuerzos fluctuantes, los cuales pueden generar falla por fatiga, por lo cual se llevara el estudio pertinente para determinar si los esfuerzos presentes, no son superiores a los esfuerzos máximos soportados por el material, envidando de esta manera la fatiga.

Recordemos que se puede determinar la fatiga mediante la ecuación 55 [30].

$$\sigma_{adm} = S_e = S'_e K_a K_b K_c K_e K_f \quad (55)$$

En donde:

S_e = Limite de resistencia a la fatiga

S'_e = Limite de resistencia a la fatiga en el material

K_a = Factor de modificación por acabado

K_b = Factor de modificación por tamaño

K_c = Factor de modificación por carga

K_d = Factor de modificación por temperatura

K_e = Factor de confiabilidad

K_f = Factor de modificación por factores varios.

Para determinar el esfuerzo admisible por fatiga, es indispensable seleccionar cada uno de los factores mencionados anteriormente.

El factor por acabado (K_a) tiene un valor de 0,8 ya que el husillo debe contar con un buen acabado superficial con el fin de que el polímero no se adhiera a este.

El factor de por tamaño (K_b), debido a que se tienen cargas axiales presentes en el elemento, su valor será de 1.

El factor por carga (K_c), como se explicaba en el factor K_b , se cuenta con cargas axiales, por lo cual K_c tendrá un valor de 0,85.

El factor por temperatura (K_d), debido a que se conoce la temperatura a trabajar es pertinente que K_d tome valores de 1 [30].

El factor de confiabilidad (K_e), como se cuenta que la máquina sea lo bastante segura para ser operada en laboratorio, se determina que este valor sea del 99%, por lo que el factor K_e tendrá un valor de 0,814.

El factor (K_f) de efectos varios, como este factor depende de aceptaciones directas al elemento como corrosión, metalizado por aspersion, suciedad, entre otros muchos, este factor dependerá más que todo del mantenimiento que reciba la máquina, por lo cual se le dará un valor al factor K_f de 1.

Teniendo en cuenta dichos factores, el esfuerzo admisible según la ecuación 55, quedara de la siguiente manera:

$$\sigma_{ad} = 0,5(570)(0,8)(1)(0,85)(1)(0,814)(1)$$

$$\sigma_{ad} = 157,753 \text{ MPa} \leq 570 \text{ MPa}$$

El elemento no fallara por fatiga, ya que el esfuerzo admisible, es menor al esfuerzo admisible del material usado.

6.1.33 Longitud del barril

La longitud del barril al igual que el husillo está dada por la relación de L/D mostrado en la tabla 13, en donde es despejado la longitud como se muestra en la ecuación 5.

$$\frac{L}{D} = 30 \quad (5)$$

$$L = 30 D ; [mm] \quad (5.1)$$

Por lo cual la longitud total del barril es:

$$L = 30 (41.3)$$

$$L = 1239 \text{ mm}$$

6.1.34 Zona de alimentación del barril.

El barril al ser el elemento que sirve de conducto para el material, está sometido a diferentes cargas y temperaturas, esto es necesario para permitir que el material a extruir se funda correctamente, en periodos de operación muy largos es necesario que una sección del barril sirva como una especie de intercambiador, esto para evitar que al inicio de la zona de alimentación la fricción incremente las temperaturas que reducen la eficiencia después de largos periodos de operación, como los que se ven en una línea de producción entre (12 y 24 horas).

Teniendo en cuenta que en este proyecto los tiempos de operación NO van a ser muy largos dado que es una máquina extrusora de laboratorio no se incorporara

el intercambiador en la zona de alimentación, pero si dejara seccionado el barril para que en la posteridad si la Universidad así lo desea se pueda incorporar con facilidad.

6.1.35 Longitud de la zona de alimentación del barril

Para la zona de alimentación barril se tiene en cuenta un rango optimo, el cual está definido como (40 al 60%) de la longitud de la zona de alimentación del husillo, por lo cual, para que no se afecte la ubicación de la ranura de alimentación que nos define la boca de la tolva de alimentación y la posible incorporación del intercambiador se tomara el promedio del rango para el cálculo del espesor del barril por ende la ecuación. [20]

$$L_{ab} = 0.5 * L_{ah} \quad (68)$$

Donde:

L_{ab} =Longitud zona de alimentación barril [mm]

L_{ah} = longitud zona de alimentación husillo [mm]

Por lo cual:

$$L_{ab} = 0.5 * 619,5 \text{ mm}$$

$$L_{ab} = 309,8 \text{ mm}$$

6.1.36 Dimensionamiento ranura de alimentación barril

La ranura de alimentación es la encargada de dar el ingreso del material al husillo y es la que limita el ingreso de material, para el manejo del material se maneja una longitud de la ranura igual a 1.5 veces el D del husillo y en el ancho de la ranura se tiene en cuenta un rango optimo, el cual está definido como (0,7 a 1) *D, para que el material no se sufra por el giro del husillo, para el diseño del barril se tomó el valor de 1 dado el reducido tamaño de la máquina [20].

$$L_{rb} = 1.5 * D \quad (69)$$

$$A_{rb} = 1 * D \quad (70)$$

Donde:

L_{rb} = Longitud ranura de alimentación barril

A_{rb} = Ancho ranura de alimentación barril

D = Diámetro del husillo

Por lo cual:

$$L_{rb} = 1.5 * 41,3mm$$

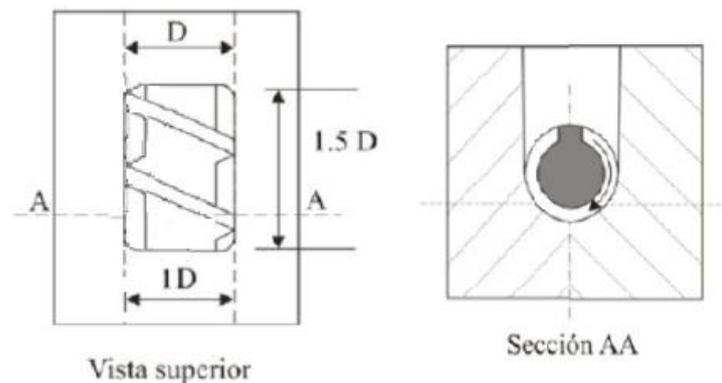
$$L_{rb} = 61,959mm$$

$$A_{rb} = 1 * 41,3mm$$

$$A_{rb} = 41,3 \text{ mm}$$

Figura 54.

Esquema ranura de alimentación



Nota: esquema ranura de alimentación de EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS [En línea] Disponible en <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html#:~:text=La%20extrusi%C3%B3n%20consiste%20en%20hacer,igual%20a%20la%20del%20orificio>. Consultado el 06/06/2021.

Flange de unión del barril.

El dimensionamiento del flange de unión, está dado principalmente por el dimensionamiento del barril, ya que el diámetro interno de este, corresponde al diámetro externo del barril y el diámetro externo del flange será de 1,5 el diámetro interno de este, como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18.
Dimensionamiento de flange de unión del barril.

Dimensión	Valor
Diámetro externo (D) [mm]	150
Diámetro interno [mm]	99
Numero de tornillos [mm]	6

Para determinar que el número de tornillos y cuál es el diámetro mínimo para estos, son requeridos para que el flange no falle.

Teniendo presente que la fuerza axial ejercida al husillo, también se ve reflejada en este, por lo cual dicha fuerza es soportada por la cantidad de tornillos escogidos, soportando una fuerza de tensión como se muestra a continuación.

$$F_t = \frac{F_a}{\#} \quad (71)$$

Donde:

F_a = Fuerza axial [KN]

$\#$ = Cantidad de tornillos

Por lo cual:

$$F_t = \frac{21,07}{6}$$

$$F_t = 3,51 \text{ KN}$$

Para determinar los esfuerzos presentes en los pernos, es necesario realizar los cálculos de la fuerza media presente en estos, dado la ecuación 71 teniendo

presente que la tensión inicial que actúa sobre el tornillo esta dado entre un rango de (3,3 a 5), por lo cual se toma un factor de 4,5 y con respecto al factor elástico por carga a la fatiga se tiene un rango de (0,15 a 0,2) por lo cual se toma un valor de 0,18 [26].

$$F_m = F_i + \frac{CF_t}{2} \quad (71)$$

Donde:

F_i = Tencion inicial

C = Factor elastico por carga

F_t = Fuerza tangencial [N]

Por lo cual:

$$F_m = 4,5 + \frac{0,18(3512,747)}{2}$$

$$F_m = 16,12 \text{ KN}$$

Tambien se cuentan con fuerza alternas en los tornillos, como se expresa en la ecuacion 72.

$$F_b = \frac{CF_t}{2} \quad (72)$$

Por lo cual:

$$F_b = \frac{0,18(3512,747)}{2}$$

$$F_b = 316,15 \text{ N}$$

Para poder calcular los esfuerzos presentes en el material es necesario contar con el area transversal de estos, pero como no se cuentan con un diametro aun determinado para estos, se procede a dejar en la ecuacion 73 y 74 expresada el area transversal para ser despejada de la ecuacion 77.

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \quad (73)$$

Por lo cual:

$$\sigma_m = \frac{16,12}{A}$$

$$\sigma_a = \frac{F_b}{A} \quad (74)$$

Por lo cual:

$$\sigma_a = \frac{316,15}{A}$$

Para poder calcular el area transversal se realizaran primero calculos de fatiga presentes en estos, por lo cual se usara un valor de 1 para la relacion de todos los factores K expresados en la ecuacion 55 quedando la ecuacion de la siguiente manera.

$$S_n = 1(0,5S_u) \quad (75)$$

Por lo cual:

$$S_n = 1[0,5(570)]$$

$$S_n = 285 \text{ MPa}$$

Ahora bien, con el valor de admisible de fatiga, se puede hacer el calculo de del factor de limite a la fatiga dado por la siguiente ecuacion.

$$S_{nf} = 0,85S_n \quad (76)$$

Por lo cual:

$$S_{nf} = 0,85(285)$$

$$S_{nf} = 242,25 \text{ MPa}$$

Al plantear la ecuación 77 es posible remplazar los esfuerzos medios y admisibles en esta ecuación, para poder realizar el despeje pertinente y de esta manera hallar el área transversal de los tornillos necesarios para el flange, teniendo en cuenta que se usara un factor de seguridad de 2,5.

$$\frac{1}{F_s} = \frac{\sigma_m}{S_n} + \frac{K_t \sigma_a}{S_{nf}} \quad (77)$$

Por lo cual:

$$\frac{1}{2,5} = \frac{1,61 \times 10^4}{A} + \frac{1,4 \left(\frac{3,51 \times 10^3}{A} \right)}{2,42 \times 10^8}$$

$$A = 1,35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Con el área transversal requerida, se puede por medio de la ecuación que la define (ecuación 78) el diámetro del tornillo mínimo requerido para que el elemento no falle.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (78)$$

Por lo cual:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(1,35 \times 10^{-4})}{\pi}}$$

$$D = 13,09 \text{ mm}$$

Se requieren tornillo de un diámetro mínimo a 13 mm, por lo cual se tomó la decisión de dejar los tornillos de esta misma medida.

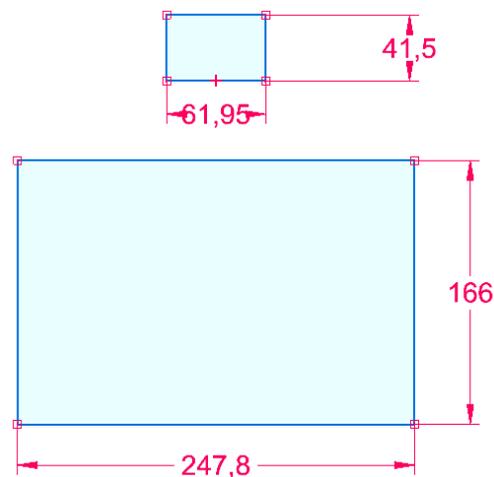
Dimensionamiento de la tolva.

Como bien se sabe, la tolva es el elemento que garantiza que la máquina esté operando constantemente, ya que esta es la encargada de suministrar la materia prima al husillo, por lo cual haciendo cálculos previos se determina que una tolva con capacidad de 40 Kg, es demasiado grande con relación al dimensionamiento de la máquina, por lo cual se toma la decisión de que la tolva tenga un volumen proporcional a 8 Kg ya que es una máquina que se usara en laboratorio y no en un entorno industrial.

Para determinar las dimensiones de la tolva, se inicia principalmente por las dimensiones que tiene la garganta de alimentación, la cual es de 61,95mm x 61,84 mm, por lo cual la campana tendrá que ser 4 veces las dimensiones de esta, para garantizar una proporcionalidad como se muestra en la imagen 55.

Figura 55.

Dimensiones base y campana de la tolva



Nota: se muestra en la imagen la base de la tolva y las dimensiones de la campana las cuales son 4 veces las dimensiones de la base.

Para determinar la altura de la tolva, es necesario pasar el volumen deseado de Kg a m³, con el fin de usar la ecuación del volumen de pirámides truncadas (ecuación 80) para con esta determinar la altura deseada.

Para poder pasar de Kg a m³, se utiliza la ecuación 36 con la que debe multiplicar el volumen por la densidad del material.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (79)$$

$$V = \frac{8 \text{ Kg}}{940 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 8,51 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Por lo cual la ecuación de volumen para una pirámide truncada será:

$$V = \frac{h}{3} (A_{mayor} + A_{menor} + \sqrt{A_{mayor} A_{menor}}) \quad (80)$$

Donde:

h= Altura de la tolva.

A= Área según sección.

Por lo cual:

$$h = \frac{3(8,51 \times 10^{-3})}{0,06130 + 0,04113 + \sqrt{(0,06113)(0,04113)}}$$

$$h = 167,23 \text{ mm}$$

Por construcción se obtiene el ángulo de inclinación d esta, el cual será de 70, 49°.

Selección de resistencias.

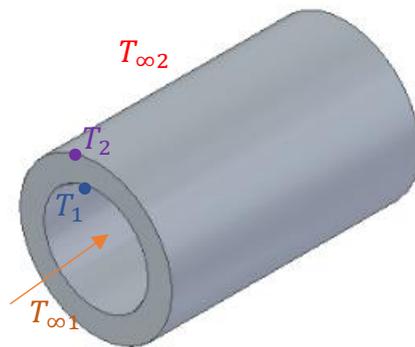
Para realizar una adecuada selección de las correspondientes resistencias eléctricas, se debe realizar un análisis de transferencia de calor, teniendo en cuenta

que el calentamiento del material estará dividido en 3 etapas de este, por lo cual se define que el material estará a 60°, 120° y 170° C, correspondientes a cada etapa.

Ya con las temperaturas a las que estará el material, se realiza un estudio de transferencia de calor por convección-conducción como se muestra en la figura 56.

Figura 56.

Esquema temperaturas presentes en el barril.



Nota: Representación de las temperaturas presentes en el barril, en donde $T_{\infty 1}$ representa la temperatura del polipropileno con madera, T_1 temperatura diámetro interno en el barril, T_2 temperatura diámetro externo del barril, $T_{\infty 2}$ es la temperatura del aire ambiente.

Para poder realizar el estudio de transferencia de calor es importante contar con los datos mostrados en la tabla 19, en el cual se muestran los valores de calor latente (CL), calor específico (Cp), conductividad térmica (K), longitud de estudio (L), coeficiente de transferencia de calor por convección (h) y los radios respectivos a cada diámetro del barril SELECCIÓN.

Tabla 19.

Propiedades necesarias para cálculos de transferencia de calor

Cp [w/Kg]	5,361x10 ⁴
CL [w/Kg]	0,1640
P [Kg/h]	40
r ₁ [m]	0,02065
r ₂ [m]	0,0495
L _a [m]	0,6196
L _d [m]	0,3098
K _{pp} [w/m°C]	0,2209
K _{a 1045} [w/m°C]	52
h (aire) [w/m ²]	5
T _{∞2} [°C]	20
T _{z1} [°C]	60
T _{z2} [°C]	120
T _{z3} [°C]	170

6.1.37 Calor transferido [q]

Para hallar el calor transferido se usa la ecuación de propiedades térmicas del material (ecuación 81), teniendo presente que el barril estará afectado por la temperatura ambiente, lo cual significa que no contaremos en los cálculos con el aislante térmico.

Se hacen los cálculos principalmente en la zona 3, la cual es la última zona ubicada en la parte de dosificación del husillo en donde la temperatura será la más alta, teniendo en cuenta que todos los cálculos se harán sobre el barril, ya que en este se presenta la transferencia de calor como se muestra en la ecuación 81.

$$q = (C_p(T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) + C_L)P \quad (81)$$

Donde:

C_p= Calor específico del material

C_L= Calor latente

T_{∞1}= Temperatura del polipropileno-madera

T_{∞2}= Temperatura aire ambiente

P= Cantidad de material.

q= Calor transferido

Por lo cual:

$$q = 5,361 \times 10^{-4} (170 - 20) + 0,1640) 40$$

$$q = 9,7766 \text{ W}$$

Con el valor del calor transferido, se puede calcular la temperatura del radio interno por medio de la ley de Fourier (ecuación 82), con el fin de más adelante poder obtener la constante de coeficiente de transferencia de calor por convección del polipropileno-madera (ecuación 83).

$$q = \frac{2\pi L K_a (T_\infty - T_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (82)$$

Por lo cual:

$$T_1 = \frac{9,7766 * \ln\left(\frac{0,0495}{0,02065}\right)}{2\pi(0,3098)(52)} + 170$$

$$T_1 = 189,8^\circ \text{ C}$$

Con la temperatura en el diámetro interno, es posible usar la ecuación del efecto global de la convección para obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección del polipropileno-madera.

$$q = h(2\pi r_2 L)(T_1 - T_\infty) \quad (83)$$

Por lo cual:

$$h = \frac{9,7766}{(2\pi(0,0495)(0,3098))(189,8-170)}$$

$$h = 5,1245 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Con el coeficiente de transferencia de calor, es posible calcular la temperatura a la que debe de estar el diámetro exterior debido a que este está en contacto con las resistencias, por lo cual con la ley de ohm para transferencia de calor (ecuación 84) obtenemos.

$$q = \frac{2\pi L(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{pp}r_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{K_a} + \frac{1}{h_a r_2}} \quad (84)$$

Por lo cual:

$$T_{\infty 2} = \frac{9,7766\left(\frac{1}{5,1245(0,02065)} + \frac{\ln\left(\frac{0,0495}{0,0206}\right)}{52} + \frac{1}{5(0,0495)}\right)}{2\pi(0,3098)} + 170$$

$$T_{\infty 2} = 237,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con la temperatura de la zona 5 la cual es la más alta, se puede calcular las demás temperaturas en las diferentes zonas, con la diferencia que no se calculara de nuevo el coeficiente de transferencia de calor por convección del material.

6.1.37.a Zona 1. El material en la zona 1 tendrá que estar a 60°C, por lo cual se calcula la cantidad de calor trasferido con la ecuación 81.

Por lo cual:

$$q = (5,361 \times 10^{-4}(60 - 20) + 0,1640)40$$

$$q = 7,41 \text{ W}$$

Como se halló anterior mente la temperatura del diámetro interno del barril con la ecuación 82, de la misma manera se calcula en esta zona con fines informativos, ya que no se requiere para cálculos adicionales.

Por lo cual:

$$T_1 = \frac{7,41 * \ln\left(\frac{0,0495}{0,02065}\right)}{2\pi(0,6196)(52)} + 60$$

$$T_1 = 61,67^\circ\text{C}$$

De igual forma como se halló la temperatura del diámetro exterior, se realiza para esta zona por medio de la ecuación 84.

Por lo cual:

$$T_{\infty 2} = \frac{7,41 \left(\frac{1}{5,1245(0,02065)} + \frac{\ln \left(\frac{0,0495}{0,0206} \right)}{52} + \frac{1}{5(0,0495)} \right)}{2\pi(0,6196)} + 60$$

$$T_{\infty 2} = 87,56^{\circ}\text{C}$$

6.1.37.b Zona 3. Se realizan los mismos cálculos de las zonas anteriores teniendo en cuenta que se desea que el material tenga una temperatura de 120°C.

Por lo cual el calor transferido será:

$$q = (5,361 \times 10^{-4} (120 - 20) + 0,1640) 40$$

$$q = 8,70 \text{ W}$$

Por lo cual la T1 será:

$$T_1 = \frac{8,70 \cdot \ln \left(\frac{0,0495}{0,02065} \right)}{2\pi(0,3098)(52)} + 120$$

$$T_1 = 119,92^{\circ}\text{C}$$

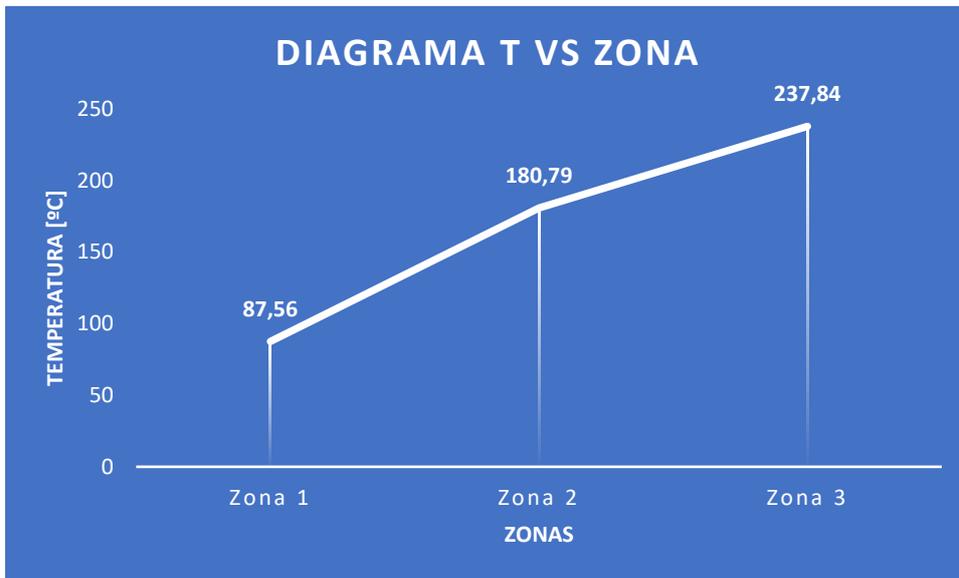
Por lo cual la $T_{\infty 2}$ será:

$$T_{\infty 2} = \frac{8,70 \left(\frac{1}{5,1245(0,02065)} + \frac{\ln \left(\frac{0,0495}{0,0206} \right)}{52} + \frac{1}{5(0,0495)} \right)}{2\pi(0,3098)} + 120$$

$$T_{\infty 2} = 180,79^{\circ}\text{C}$$

Grafica 1.

Resumen temperaturas resistencias.



Nota: Se muestra en el diagrama las temperaturas a las que tienen que estar las resistencias para las temperaturas deseadas del material en cada una de las zonas.

Por lo cual se puede determinar que se necesitan unas resistencias que como mínimo alcancen los 54° , dando un margen de operación para temperaturas bajas y que alcancen temperaturas de hasta los 250° tipo banda con núcleo de cerámica.

Selección de motorreductor.

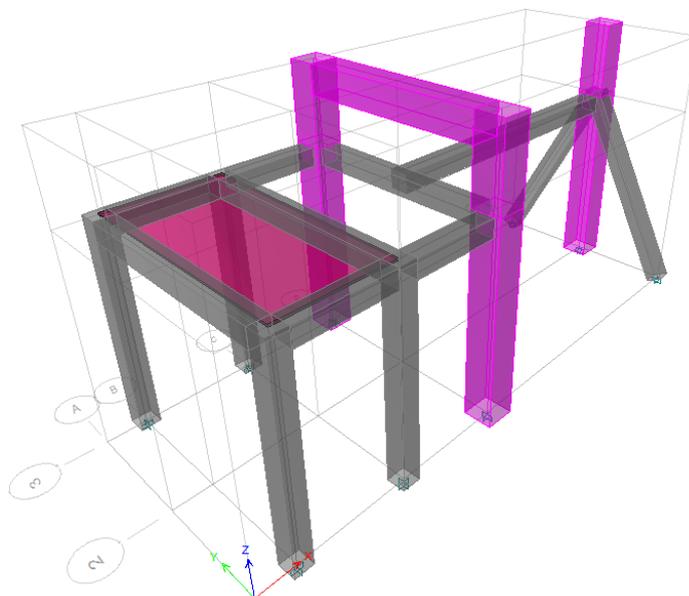
Como se puede determinar en la sección 6.3.5 en donde se pudo determinar la potencia del motor, la cual fue de 2,5 HP para que la máquina trabaje sin problemas, y aun que se realiza la búsqueda comercial de este, se concluye que la selección del motor será de **3 HP** ya que no se consigue un motor de 2,5 HP, por lo cual el motorreductor seleccionado es de la marca BAUER bf20/DHE09XA4C con relación de 13-18/1 trifásico de 220/440 V con un torque nominal de 157 Nm con una velocidad de salida de 140 rpm aun que el fabricante asegura que con un variador de frecuencia puede llegar a aumentar las rpm.

Dimensionamiento de la estructura.

La estructura es el elemento en donde descansará la extrusora, siendo esta la que soporte todo el peso de la máquina, brindando aislamiento a esta de posibles daños provocados por algún tipo de líquidos presentes en el área de trabajo, además de brindar comodidad al operario al momento de usar la máquina, por lo cual se realiza un diseño preliminar y será esta analizada con el fin de determinar que la estructura soporte la maquina sin que está presente algún tipo de falla.

Figura 57.

Diseño preliminar de la estructura.



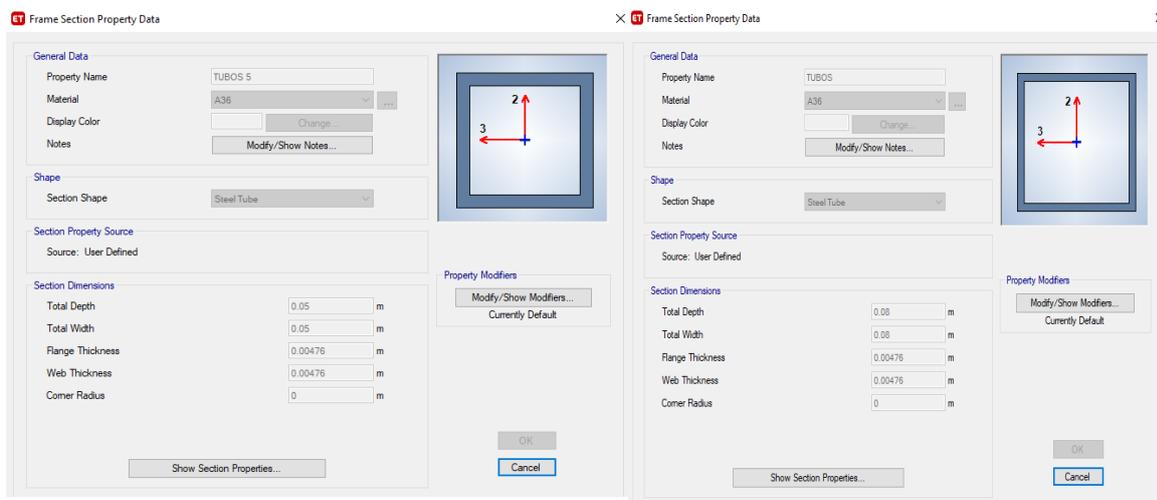
Nota: Se muestra en la imagen el diseño preliminar de la estructura para hacer analizada y calculada.

Para realizar un correcto análisis de la estructura, haciendo la salvedad de que es un elemento tipo marco, es necesario realizar un análisis por métodos finitos, pero debido al número de elementos presentes y su complejidad en la estructura, se realizara una simulación y análisis de esta por medio del software ETABS v18.0, el cual es un software especializado para el cálculo de marcos o estructuras metálicas, analizando con este los esfuerzos presentes en la estructura con el fin de garantizar la rigidez y estabilidad, dados por las relaciones geométricas usadas.

La estructura preliminar, está diseñada principal mente con perfiles cuadrados de 50mm x 50mm, con un espesor de 3mm de acero estructura A36 y perfiles cuadrados 80mm x 80 mm de espesor 3mm del mismo acero. Recordemos que el acero A36 tiene un límite de fluencia de 250 MPa y un límite de ruptura mínimo de 410 Mpa, haciendo de este un material idóneo para este tipo de estructuras por sus propiedades mecánicas y soldabilidad idónea.

Figura 588.

Selección de perfil software ETABS V18.0

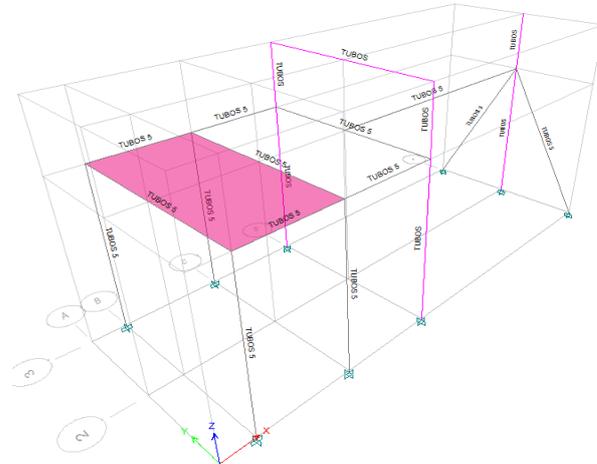


Nota: Se muestra la selección del material y los perfiles, como entradas fundamentales para el análisis en el programa ETABS V18.0.

Una vez seleccionado los perfiles y el material, se procedió a indicarle al software los elementos que conforman la estructura y en los elementos donde soportaran principal mente a la máquina.

Figura 59.

Selección de elementos principales de la estructura.

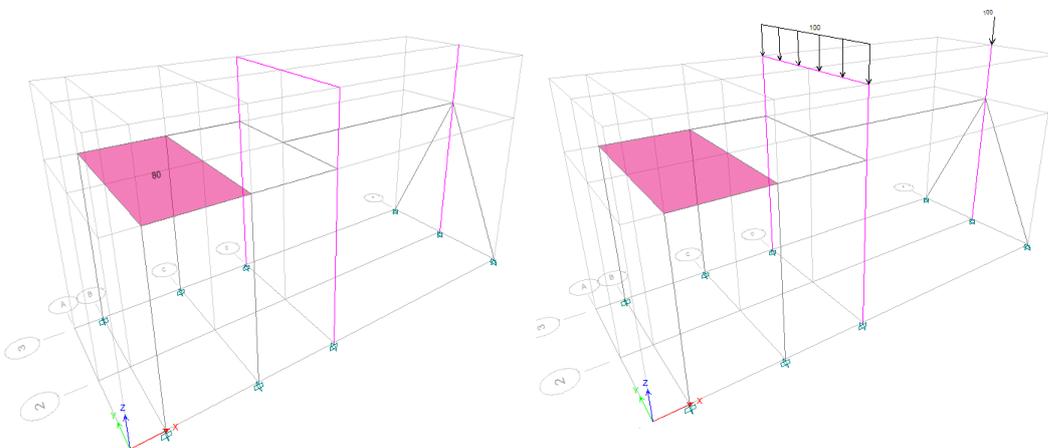


Nota: Selección de la estructura en el software, los elementos de color rosa, representan los elementos principales en donde estará apoyada la máquina.

Una vez ubicados los elementos principales de la estructura, se procedió a la selección de las cargas presentes en el modelo, recordemos que el motor tiene un peso de 80 Kg y el resto de la máquina tendrá un peso aproximado de 100 Kg, siendo estos valores montados y mostrados en el modelo como cargas distribuidas en dichos elementos.

Figura 60.

Implementación de cargas al modelo.

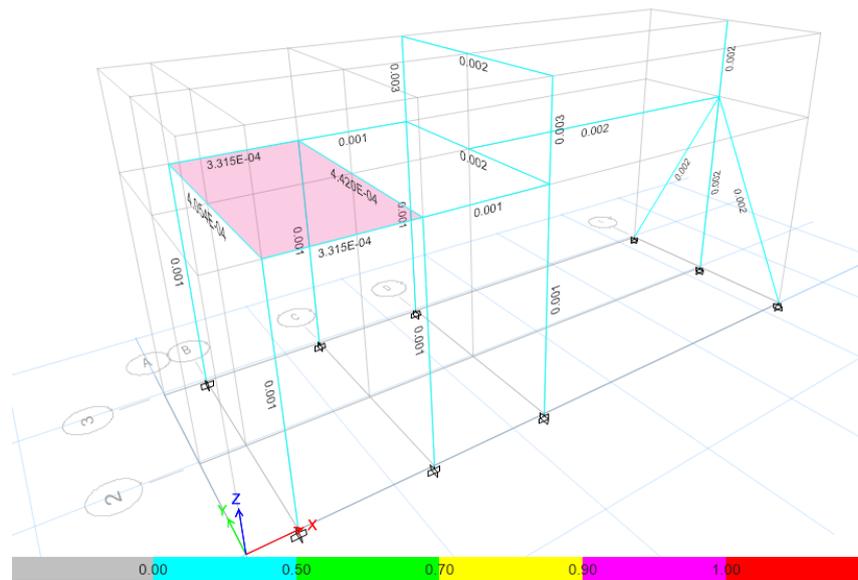


Nota: Se muestran los elementos principales y las cargas distribuidas.

Antes de realizar el cálculo por medio del software, se tiene que tener presente que la estructura deberá presentar esfuerzos menores a los admisibles, por lo cual se tendrá en cuenta un factor de seguridad de 1,4 aumentando de esta forma la confiabilidad de los resultados.

Figura 61.

Resultados análisis de simulación.



Nota: Se muestran los esfuerzos ejercidos en cada uno de los elementos de la estructura, en donde el esfuerzo mayor es de $4,42 \times 10^{-4}$ Mpa.

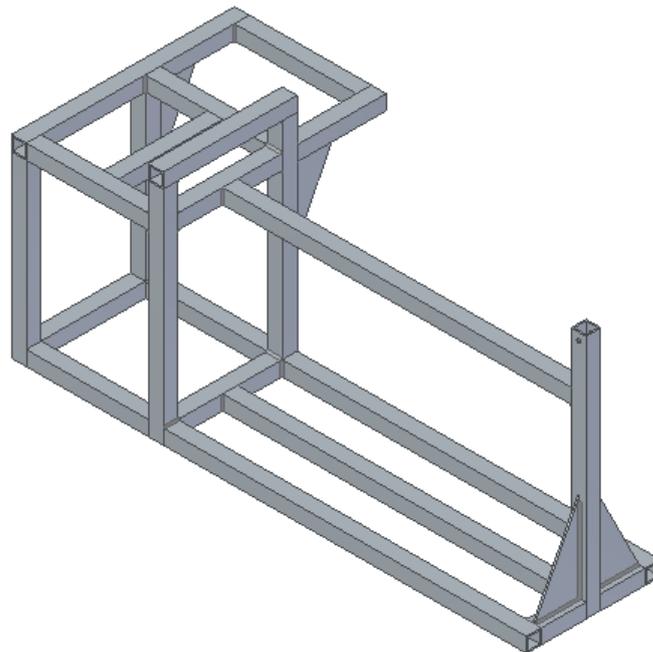
La simulación muestra que los esfuerzos presentes en la estructura son pequeños a comparación de los admisibles del material, comprobando que los perfiles seleccionados son los adecuados y que las cargas se distribuyen óptimamente por cada elemento de la estructura.

Gracias a la comprobación dada por medio de los métodos finitos operados por el software, se puede determinar que los perfiles ubicados en la parte frontal de la máquina pueden ser remplazados por perfiles rectangulares 50mmX50mm como los demás componentes de la estructura. Por otra parte, se puede modificar el diseño de la estructura remplazar algunos parales de esta por cartelas,

comportándose como pie amigos, reduciendo de esta manera posibles accidentes ocasionados al operario de la máquina y reduciendo costos de fabricación.

Figura 62.

Diseño de estructura final.



Nota: Se muestra el rediseño de la estructura seleccionado, según datos de simulación.

6.1.38 Selección de la soldadura de la estructura.

Para el desarrollo de la estructura se utilizará una soldadura E7018 la cual se caracteriza por ser implementada en aplicaciones estructurales dado que en la soldadura 7018 el electrodo es de revestimiento básico de bajo hidrogeno con una resistencia de 70.000 Psi, que cumple los requisitos de clasificación E7018, de la norma AWS A5.1 garantiza una buena penetración y fusión del material que le brinda robustez a la estructura [34].

7. GUÍA DE LABORATORIO

 Fundación Universidad de América	Programa(s): Ingeniería Mecánica, ingeniería química.
	Nombre asignatura: Procesos I, Polímeros
Código: 3457L	Departamento:
Practica No: 1	Nombre de la práctica: Procesos de producción con materiales poliméricos compuestos.

1	INTRODUCCION
<p>La extrusión, es un proceso mecánico el cual hace pasar un fluido por un dado o molde, con el fin de dar forma rectangular, circular o por capas. Este proceso es un proceso continuo, el cual depende principal mente del tamaño y longitud de la máquina.</p> <p>El proceso de extrusión, es usado en la industria alimenticia o en la producción de elementos plásticos, aunque en la actualidad son usados principalmente para la fabricación de contenedores plásticos, bolsas y perfiles para diferentes rectangulares o cilíndricos en la industria alimenticia, farmacéutica, química y de construcción.</p> <p>En los últimos años, se han realizado estudios de diferentes tipos de materiales poliméricos compuestos, usando material orgánico como cascarilla de arroz o harina de madera.</p> <p>Para estudiar adecuadamente el material, es fundamental conocer el proceso y el equipo para obtener el material compuesto, por lo cual la extrusora este compuesta por los siguientes elementos.</p> <p>Tolva: Elemento contenedor y alimentador de la materia prima a la extrusora.</p> <p>Husillo: Es el elemento principal de la extrusora, ya que este tiene la tarea de trasportar la materia prima por las diferentes etapas de calentamiento, así como también ejercer un esfuerzo cortante al material para disminuir el tiempo de fusión del material y así mismo mantener y aumentar la presión interna en la máquina.</p> <p>Barril: Es la camisa o protector del husillo, el cual tiene la tarea de mantener en material en el husillo y transferir la temperatura suministrada por las resistencias.</p> <p>Dado de Extrusión: El dado de extrusión, es el elemento que le da la forma final al material, en este dado se pueden encontrar diferentes geometrías como perfiles cuadrados, rectangulares, cilíndricos o con alguna geometría perfilada.</p>	

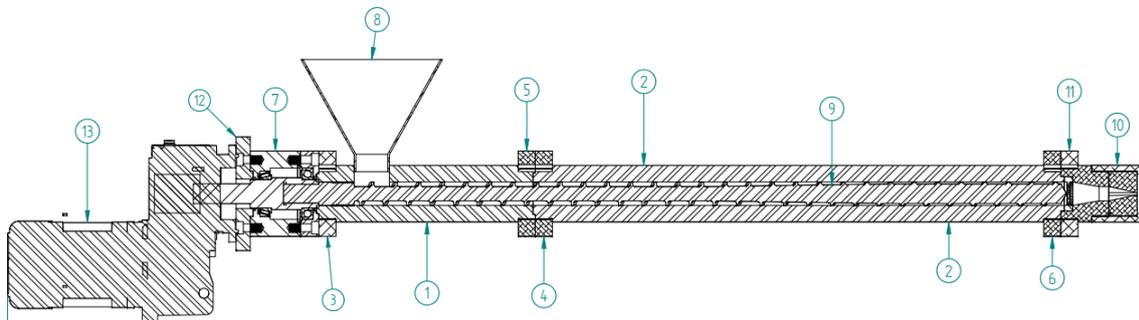
Resistencia Eléctrica: Las resistencias eléctricas, son resistencias de banda cerámica, es decir que estas resistencias son cilíndricas abrazando el barril para garantizar una adecuada transferencia de calor y posee un núcleo cerámico con el fin de aumentar la eficiencia de la transferencia de calor evitando grandes pérdidas de esta.

Termocupla o termopares: Es un transductor o sensor, el cual tiene la tarea de leer e interpretar la temperatura en la que se encuentra la superficie en la que está en contacto con esta.

Motorreductor: El motorreductor, es un motor trifásico conectado con una caja reductora con el fin de transmitir la potencia y velocidad necesaria al husillo.

2	Objetivo(s):
	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="209 898 1219 965">1. Identificar los elementos principales de la extrusora para su correcto funcionamiento.<li data-bbox="209 1021 1209 1055">2. Comprender las variables necesarias para un proceso de extrusión.<li data-bbox="209 1111 1209 1178">3. Analizar la formación de materiales poliméricos compuestos para la producción de madera plástica por medio de perfiles rectangulares.<li data-bbox="209 1234 1230 1301">4. Entender el proceso de transformación de materiales por medio de la extrusión.

Extrusora 41 LD 30



NUMERO DE ELEMENTO	NOMBRE DEL ELEMENTO
1	Alimentador
2	Barril Extrusora
3	Flanje Posterior Alimentador
4	Flanje porterior Barril
5	Flanje frontal Alimentador
6	Flanje frontal Barril
7	Caja de Rodamientos
8	Tolva
9	Husillo de Extrusión
10	Cabezal de Extrusión
11	Flanje cabezal Barril
12	Flanje posterior Caja rodamientos
13	Motoreductor

1. Realice una verificación visual del entorno de la extrusora en donde no tenga ninguna obstrucción en el dado de extrusión o en la tolva, adicionalmente verifique que esté conectada al tomacorriente, el botón de paro de emergencia puesto y todos los selectores de dos posiciones en off.

2. Energice la maquina por medio del selector con el mismo nombre a on.

3. selecciones las temperaturas a las que van a estar las resistencias eléctricas según el material a extruir, tenga en cuenta que, si es madera plástica, las resistencias tendrán que estar caladas en: T1= 54°C; T2=88°C; T3=162°C; T4=181°C; T5= 238°C y oprima el botón de precalentamiento, verificando que la luz amarilla encienda.

4. Seleccione las RPM a 140.

5. Mientras la máquina enciende la luz verde de precalentamiento, vierta la mezcla de 8 Kg de material previamente preparado, teniendo presente una mezcla de 75% polipropileno, 25% harina de madera.

6. verifique que en la tolva que no se encuentre ningún cuerpo extraño y vierta la mezcla realizada en esta.

7. Al encender la luz verde de precalentado, oprima el botón de inicio del proceso.

8. Realice los mismos procedimientos que el paso 5, salvo que se vertira una mezcla esta vez de 50% polipropileno y 50% harina de madera.

9. Vierta la mezcla 50%-50% en la tolva cuando este finalizando el material del proceso anterior en la tolva, vierta la mezcla preparada en el punto 8.

10. Repita los puntos 8 y 9, teniendo en cuenta que esta ves preparara 100% de polipropileno.

11. Al terminar la mezcla total del punto 10, oprima el botón de off de proceso, ponga todas las variables en cero (temperaturas y RPM) y gire el selector de "energizar" a off y posterior a esto oprima el botón de paro de emergencia.

5

Referencias.

V. K. savgorodny, Tranformacion de plasticos, España: Gustabo Gilli , 2000.

8. MANUAL DE OPERACIÓN Y GUIA DE MANTENIMIENTO.

 Fundación Universidad de América	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EXTRUSORA 41 LD30
	Programa: Ingeniería Mecánica

1

INTRODUCCIÓN

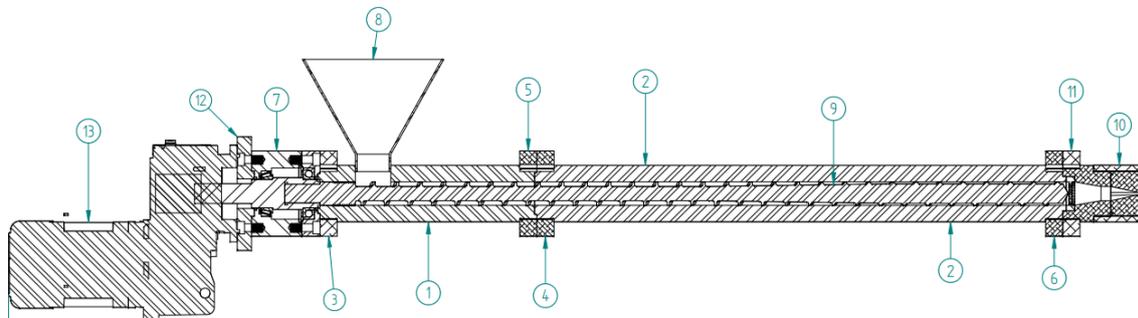
Extrusora 41 LD 30 trifásica, con una capacidad de 40 Kg/h para polipropileno y harina de madera, con capacidad de trabajar con solo polipropileno o polímeros con similares propiedades como la densidad o la temperatura vítrea, entre otros.

Posee un motorreductor de 3 HP con una relación de caja de 18/1 con el fin de entregar en 140 RPM.

Voltaje: 220V trifásico

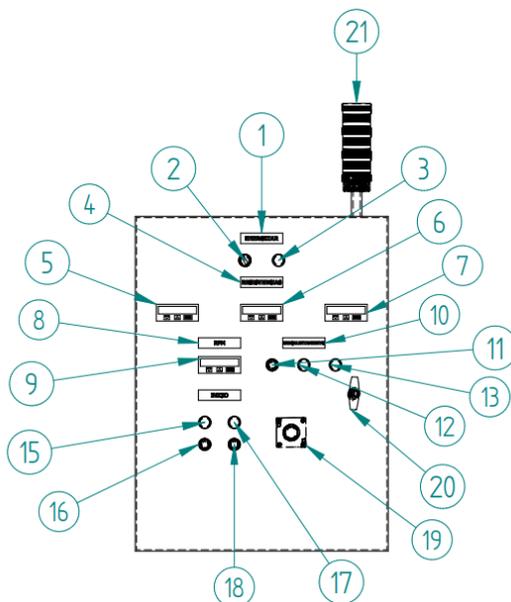
Capacidad calorífica: 50°C a 500°C

COMPONENTES DE LA EXTRUSORA 41 LD30



NUMERO DE ELEMENTO	NOMBRE DEL ELEMENTO
1	Alimentador
2	Barril Extrusora
3	Flanje Posterior Alimentador
4	Flanje porterior Barril
5	Flanje frontal Alimentador
6	Flanje frontal Barril
7	Caja de Rodamientos
8	Tolva
9	Husillo de Extrusión
10	Cabezal de Extrusión
11	Flanje cabezal Barril
12	Flanje posterior Caja rodamientos
13	Motoreductor

ESQUEMA TABLERO DE CONTROL



NUMERO DE ELEMENTO	NOMBRE DEL ELEMENTO
1	LETRERO ENERGIZAR
2	SELECTOR DOS POSICIONES
3	BOMBILLO VERDE ENERGIZAR
4	LETRERO RESISTENCIAS
5	POTENCIOMETRO T1
6	POTENCIOMETRO T2
7	POTENCIOMETRO T3
8	LETRERO RPM
9	POTENCIOMETRO RPM
10	LETRERO PRECALENTAMIENTO
11	BOTON VERDE PRECALENTAMIENTO
12	BOMBILLO AMARILLO INICIO PRECALENTAMIENTO
13	BOMBILLO VERDE PRECALENTAMIENTO OK
14	LETRERO INICIO PROCESO
15	BOMBILLO VERDE EN PROCESO
16	BOTON VERDE INICIO PROCESO
17	BOMBILLO ROJO PROCESO EN PARO
18	BOTON ROJO PARO PROCESO
19	BOTON PARO DE EMERGENCIA
20	CERRADURA
21	BALIZA

2

PRECAUCIONES DE USO

1. El barril de la extrusora presenta temperaturas hasta de 250°C por lo cual si no se opera con el protector, puede sufrir quemaduras graves o presentarse un posible conato de incendio si algun elemento inflamable externo cahe sobre esta area.
2. No introduzca ninguna extremidad del cuerpo por la tolva cuando la máquina se encuentre en operación, ya que el giro del husillo le puede causar gabes accidentes.

3. No realice mantenimiento al tablero de control si este esta energizado, ya que trabaja a 220V probocando descargas electricas que pueden causar graves accidentes.

3	OPERACIÓN
	<ol style="list-style-type: none">1. Antes de operar la máquina realice un chequeo visual con el fin de que no se encuentre ningun elemento extraño en la tolva, en el dado o alrededor de la máquina que pueda causar un daño o un posible axidente del operario.2. Antes de energizar el tablero de control, verifique que el paro de emergencia este activado elemento 19, exquema tablero de control).3. Conecte la clavija a una fuente de 220v.4. Gire el selector de dos posiciones (elemento 2 exquema tablero de control) a la posicion de encendido, verifique que se prende la luz verde que indica que este ya se encuentra energizado (Elemento 3, exquema tablero de control).5. Verifique que la luz roja de paro del proceso se encuentra encendida y que no se encuentra parpadiando indicando de esta manera algun tipo de falla de la máquina (elemento 17, exquema tablero de control).6. Verifique que no se presenta ningua alarma sonora indicando una falla en la máquina.7. Gradue las temperaturas de las resistencias para el proceso deseado, tenga en cuenta que si va a trabajar con polipropileno o prolipropileno mezclado con harina de madera las resistencias deben de tener valores de: T1=88, T2=180 y T3=238.8. Verifique que ningun boton este accionado y proceda a desactivar el boton de paro de emergencia (elemento 19, exquema tablero de control).9. Precione el boton verde de precalentamiento de la máquina (elemento 11, exquema tablero de control) y verifique que se encienda la luz amarilla, indicando asi que la máquina ya se encuentra precalentando para el inicio de operación..10. Cargue la tolva con capacidad de 8 Kg con el material que desea extruir, tenga presente que la máquina solo puede trabajar con polimeros con densidades, temperaturas vitreas, entre otras similares al polipropileno y polipropileno mezclado con harina de madera previamente homogenizada en una mezcla maxima de 75% pp 25 % harina, en la cual los granos de la harina de madera deven de tener un diametro aproximado de 15 a 45 µm y una longitud de 1 a 8 mm.

11. Gradue las RPM's deseadas, por medio del potenciómetro (elemento 9, esquema tablero de control), tenga en cuenta que si la materia prima es polipropileno o mezcla de polipropileno con harina de madera, estas deben de ser de 140.
12. Una vez que se apague el bombillo amarillo de precalentamiento y se encienda la luz verde de este, proceda a hacer un último chequeo visual en donde no se encuentre ningún elemento extraño alrededor de la extrusora que cause algún tipo de riesgo para el operario o la máquina.
13. Oprima el botón de color verde para iniciar el proceso (elemento 16, esquema tablero de control) y verifique que el bombillo de color verde (elemento 15, esquema tablero de control) encienda indicando el inicio de proceso y así mismo note el accionamiento del motorreductor.
14. Verifique constantemente de forma visual el nivel de la materia prima suministrada en la tolva, con el fin de realimentar esta, o de lo contrario detener el proceso.
15. Para finalizar el proceso, oprima el botón rojo (elemento 18, esquema tablero de control) y observe que se enciende la luz roja (elemento 17, esquema tablero de control), indicando de esta manera que el proceso se detuvo.
16. Precione el paro de emergencia.
17. Gire el selector de dos posiciones para desenergizar la máquina.
18. Retire el material sobrante o residuos de este presentes en la tolva, tenga presente que no puede usar agua o algún elemento acuoso que pueda ingresar en el husillo o baril de alimentación.

4

MANUAL DE MANTENIMIENTO

REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN.

1. La máquina requiere un área de 0,72 m² para su instalación y operación, tenga en cuenta corredores de tránsito seguros.

Como recomendación, ubique la máquina en un espacio que permita acoplarla elementos de pre-proceso como (jalador y piscina de agua fría).

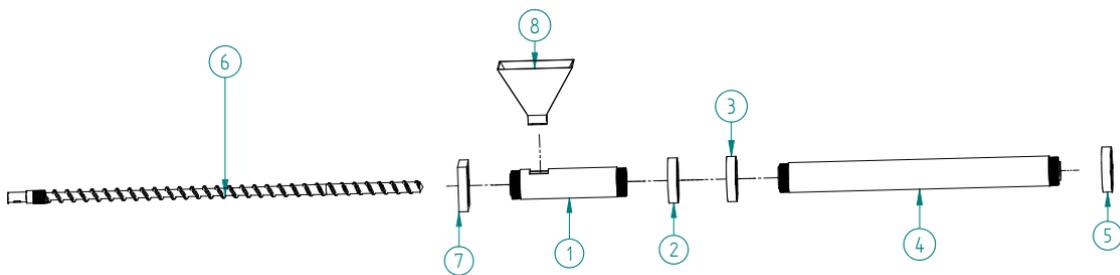
2. La máquina requiere una instalación eléctrica trifásica de 220v y se recomienda que al tablero de control tenga una conexión de polo a tierra con el fin de proteger los elementos de este de una descarga eléctrica.
3. La máquina requerirá un punto de agua cercana para la posterior instalación de una piscina de agua.

GUIA DE ENSAMBLE DE LA MÁQUINA

ADVERTENCIA: El ensamble de la máquina se debe hacer por personal capacitado, ya que, de no hacerse, podrá ocasionar accidentes graves a los operarios de la máquina o graves pérdidas económicas por daños significativos.

La instalación y área de trabajo seleccionados, corren bajo responsabilidad del propietario de la máquina.

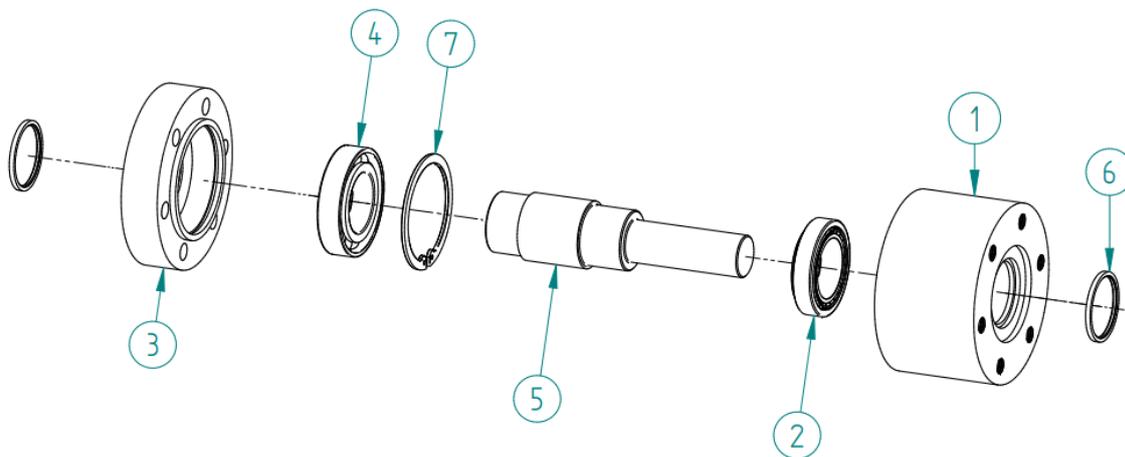
CONJUNTO PRINCIPAL EXTRUSORA 41 LD 30



1. Para hacer el correcto ensamble de la máquina, asegúrese de que el área en el que va a trabajar este limpia y seca.
2. Para el ensamble correcto de la máquina requerirá una llave Bristol 7/16 para ajustar los tornillos de los flanges y un destornillador estrella para ajustar los tornillos de la tolva.
3. Tome el alimentador (elemento 1, esquema ensamble conjunto principal de la máquina) en posición horizontal y ensamble el flange posterior del alimentador (elemento 2), roscándolo hasta el tope, tenga presente de enfrentar los chaveteros.
4. Coloque la chaveta en el espacio del chavetero del flange posterior del alimentador.
5. Tome el barril de la extrusora (elemento 4) y ensamble el flange frontal del barril de extrusión (elemento 3) de la misma manera que realizó el paso 3.
6. Repita el pazo 4 en el flange frontal del husillo.

7. Ensamble el flange posterior del barril de extrusión (elemento 5), como realizo el paso 3 y 4.
8. Tome el conjunto ensamblado del barril y únalo al conjunto del alimentador por medio del flange posterior del alimentador (elemento 2) con el flange frontal del barril (elemento 3) por medio de los tornillos M14 y ajústelos con la llave brístol 7/16.
9. Tome el husillo (elemento 6) he introdúzcalo en el elemento previamente ensamblado hasta que la manzana (elemento en donde se encuentra la rosca a izquierdas), este alineada con la pared frontal del agujeró de alimentación y la punta del husillo quede levemente por fuera.
10. ensamble el flange frontal del alimentador (elemento 7) como se realizó en el pazo 3 y repita el paso 4 en el flange frontal del alimentador, asegurando así el husillo al conjunto.
11. ensamble la tolva (elemento 8) en la garganta o agujeró cuadrado del alimentador (elemento 1) y fíjelos con los tornillos 3/16 de cabeza de estrella por medio del destornillador estrella.

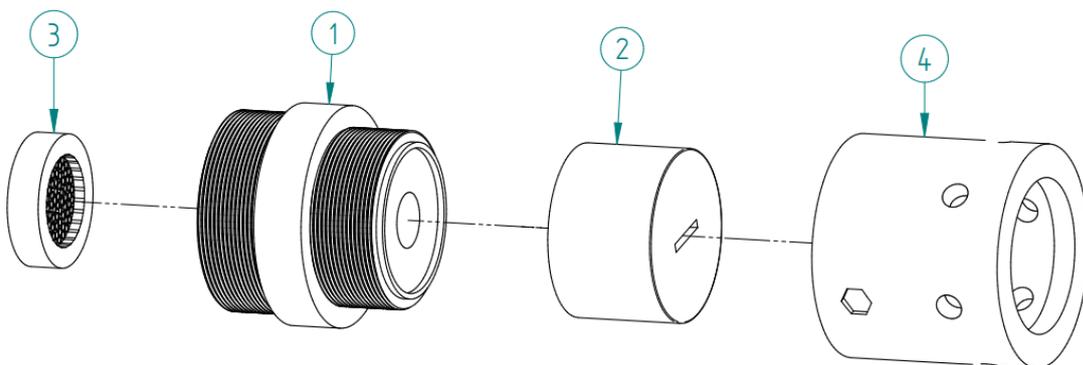
CAJA DE RODAMIENTOS



1. Para el ensamble de la caja de rodamientos, asegúrese de hacerlo en un área limpia y libre de algún tipo de humedad.
2. Para el ensamble de la caja requerirá de una llave brístol 7/16 para ajustar los tornillos de los flanges.
3. Tome la carcasa de la caja de rodamientos (elemento 1) y ponga la cara posterior en una superficie plana para facilitar el montaje de esta.

4. tomo el rodamiento de rodillos 32010 X de FSK (elemento 2) he introdúzcalo al final de la carcasa de caja de rodamientos.
5. Tome la tapa de la caja de rodamientos (elemento 3) y ubique la cara frontal de este sobre una superficie plana para facilitar su ensamble.
6. Tome el rodamiento de esferas 7210 BPE de SKF (elemento 4) e introdúzcalo en la tapa de la caja de rodamientos.
7. Tome el pin Seeger Din 472-90 (elemento 7) he introdúzcalo en la franja que queda en el rodamiento de bolas previamente instalado.
8. Introduzca el eje de rodamientos (elemento 5), en la carcasa de la caja de rodamientos, hasta que tope con el rodamiento de rodillos instalado en el paso 4.
9. Realice un engrase adecuado con la grasa LGMT a ambos rodamientos y principal mente al eje de estos mismos, asegúrese que sea una lubricación abundante.
10. cierre la caja de rodamientos uniendo la tapa de esta (elemento 3) con la carcasa de esta, hasta que sienta perfectamente y únalo por medio de los tornillos M14 de cabeza hexagonal por medio de la llave brístol 7/16.
11. Coloque los retenedores de aceite (elemento 6) a cada lado de la caja a presión y limpie los residuos dejados por la grasa LGMT.

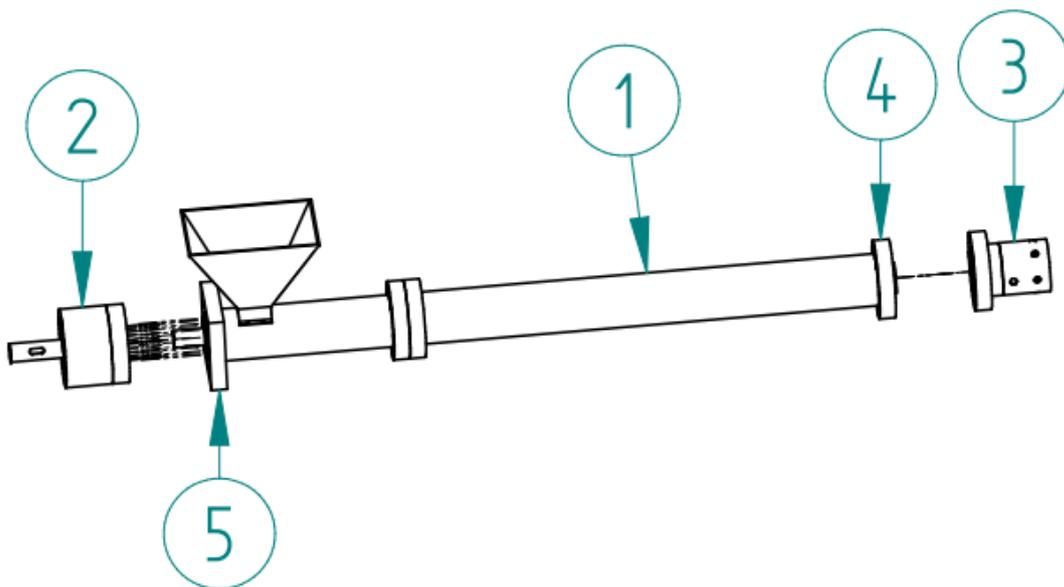
ENSAMBLE CABEZAL DE EXTRUSIÓN.



1. Para el ensamble del cabezal de extrusión, asegúrese de hacerlo en un área limpia y libre de algún tipo de humedad.
2. Para el ensamble de la caja requerirá de una llave brístol 7/16 para ajustar los tornillos centradores del dado.

3. Tome el Cabezal (elemento 1) y ubíquelo de forma vertical, en donde la cara posterior este en una superficie plana, para facilitar su montaje.
4. Tome el plato rompedor (elemento 3) he introdúzcalo en el cabezal, tenga presente que este elemento entra ajustado en su posición.
5. Gire el cabezal de forma vertical, teniendo presente que esta vez la cara de apoyo será la cara frontal en donde se instaló previamente el plato rompedor.
6. Tome el dado de extrusión (elemento 2) y acóplelo al cabezal usando el centrador que tiene la punta del cabezal, en la ranura que posee el dado.
7. Tome el soporte del dado (elemento 4) y rósqelo al cabezal, para ayudar a ajustarlo, tome la llave brístol 7/16 he introdúzcala en las ranuras a lado y lado que se encuentran en este elemento.
8. Tome los tornillos M14 he introdúzcalos en los 6 orificios alrededor del elemento de soporte de dado (elemento 4) con el fin de que el dado quede bien centrado, tenga en cuenta que estos tornillos son fundamentales para otros tipos de dados como los usados para extrusión multicapa o bolsas plásticas.

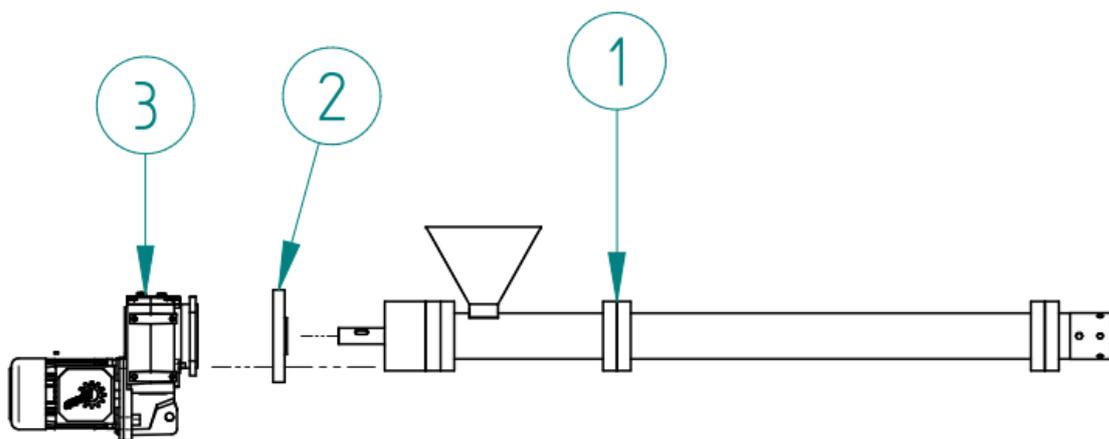
ENSAMBLE COMPLETO EXTRUSORA



1. Para hacer un ensamble adecuado de la extrusora, ubíquela en un área limpia y sin presencia algún tipo de humedad.

2. Para el ensamble, requerirá de una llave brístol 7/16 para el ajuste de los tornillos de unión.
3. Tome la caja de rodamientos (elemento 2) y ensámblelo al conjunto por medio de los tornillos M14 por medio de la llave brístol al flange frontal del barril (elemento 5).
4. Tome el cabezal de extrusión (elemento 3) enfréntelo al flange posterior del barril (elemento 4) y ajústelo por medio de los tornillos M14 de cabeza hexagonal ayudado con la llave brístol 7/16.

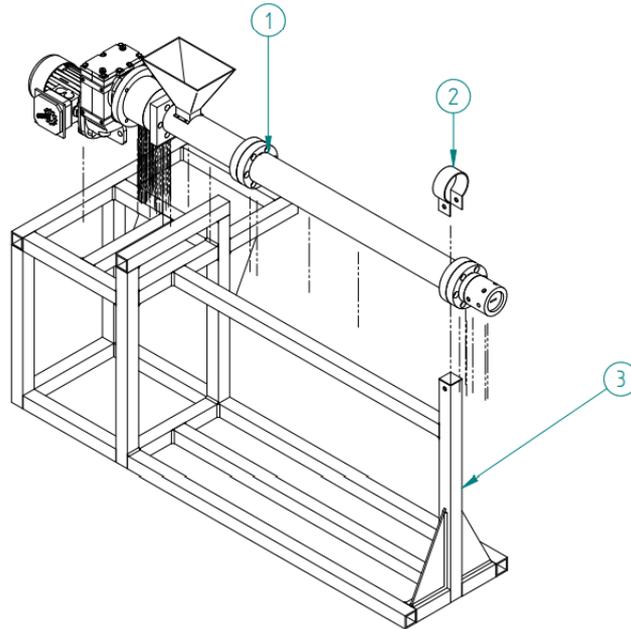
ENSAMBLE CON DEL PAR MOTOR



1. Para el ensamble de la moto reductora a la extrusora, asegúrese que el área de trabajo este limpia y libre de cualquier presencia de humedad.
2. Para el ajuste del motorreductor a la extrusora, necesitara una llave brístol 5/16 y una llave brístol 7/16 para el ajuste de esta.
3. Tome el flange frontal de la caja de rodamientos (elemento 2), posicíonelo en la caja de rodamientos según ensamble extrusora (elemento 1) y ajústela por medio de tornillos M14 de cabeza hexagonal ayudado por la llave 7/16.
4. Ubique el motorreductor acostado por una de las caras laterales, con el fin de evitar desalineamientos del barril.
5. Introduzca la chaveta en el eje de la extrusora (elemento 1).
6. Introduzca el eje de la extrusora (elemento 1) en el agujero de eje del moto reductor, tenga en cuenta que la chaveta debe de quedar enfrentada al agujero de este presente en el motorreductor.

7. Asegure el motorreductor al flange del husillo por medio de los tornillos M10, ayudándose por la llave brístol 5/16.

ENSAMBLE ESTRUCTURA

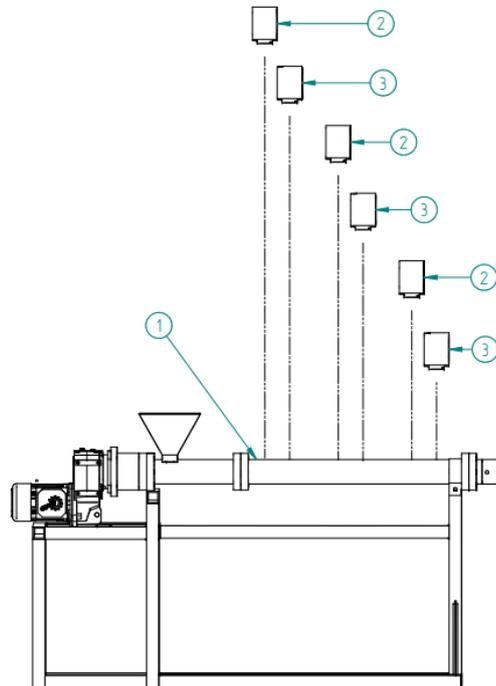


1. Para el ensamble con la estructura, se recomienda ubicarla en el área definitiva de operación de la máquina, garantice que el área este limpia y no cuenta con ningún tipo de humedad.
2. Para el ensamble de la extrusora a la estructura, necesitará de una llave brístol 7/16 y dos llaves fijas 22 o 7/8.
3. Tome el conjunto de la extrusora (elemento 1) y móntelo sobre la estructura (elemento 3), tenga en cuenta que el flange cuadrado debe de quedar alineado con los agujeros puestos en la estructura y el barril de la estructura, sentado sobre el para.
4. Coloque los tornillos M14 en la estructura y ajuste la estructura al flange ayudado por medio de la llave brístol 7/16.
5. Coloque la abrazadera (elemento 2), sobre el barril y asegúrese de que los agujeros queden alineados con respecto a los agujeros en la estructura.
6. Introduzca el tornillo en el agujero de la abrazadera y ajuste la tuerca a este, tenga presente que, para apretar este perno, se recomienda sostener la tuerca con una de las llaves 22 y con la otra, realice el apriete necesario.

Recomendaciones: Se recomienda hacer unas perforaciones a la estructura, con el fin de anclar esta al suelo si el área en la que se

encuentra ubicada, es un área de alto flujo de personas o vehículos.

ENSAMBLE RESISTENCIAS Y TERMOPARES



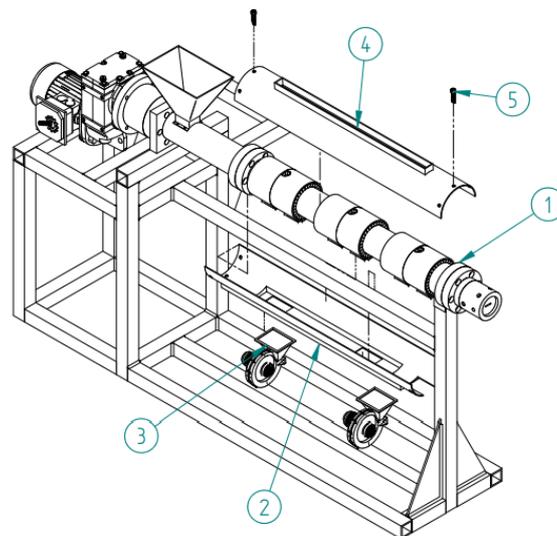
1. Para el ensamble correcto de las resistencias, limpie con una bayetilla que no suelte pelusa o mota, tenga en cuenta que esta zona estará sometida a altas temperaturas, por lo cual no utilice productos acuosos inflamables para dicha limpieza.
2. Para la instalación de las resistencias, necesitará un destornillador de punta de pala.
3. Ubique la resistencia que no tiene agujero para el termopar (elemento 2).
4. suelte por completo el perno que ajusta el cierre de la abrazadera de la resistencia.
5. Coloque la resistencia como se muestra en el esquema, dejando los conectores en la parte de abajo.
6. Con ayuda del destornillador de punta de pala, apriete el perno de la abrazadera y verifique que esta queda fija, sin ningún juego.
7. Ubique la resistencia que tiene el agujero para el termo par (elemento 3).

8. Ubique la resistencia como se muestra en el esquema, tenga presente que el agujero del termopar, debe de quedar alineado con el agujero presente en el barril.

9. repita los pasos de 4 al 8 con las otras dos pares de resistencias.

Recomendaciones: Recuerde dejar ambas resistencias unidas una a la otra, garantizando de esta manera que no se presentaran pérdidas considerables de calor.

ENSAMBLE PROTECTOR EXTRUSORA Y TURBINAS DE AIRE.



1. Limpie las superficie de ambas carcasas (elemento 2, 4) con ayuda de una bayetilla que no suelte pelusa o mota.

2. Para el ensamblaje de las carcasas, necesitará una llave brístol 7/16 para el ajuste de los tornillos y un destornillador de punta de pala.

3. Ubique la carcasa inferior (elemento 2) y ensámblelo a la parte inferior del barril (elemento 1), ayudado por medio de los tornillos M14.

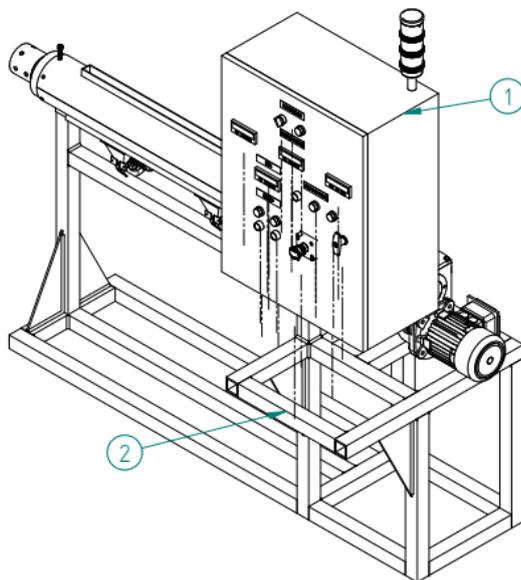
4. Ajuste los tornillos M14 con ayuda de la llave brístol en los orificios alrededor de la carcasa como se muestra en el esquema.

5. Ubique las turbinas de aire (elemento 3) y acóplelas en las rejillas de la carcasa inferior como se muestra en la ilustración, ayudado por medio de los tornillos M5 para su debido ajuste.

6. Apriete los tornillos M5 de la turbina de aire, ayudado por el destornillador de punta de pala.

7. Para el ensamble de la carcasa superior, repita los pasos 3 y 4 teniendo en cuenta que esta se ubicaría parte superior.

ENSAMBLE TABLERO DE CONTROL



1. Para el ensamble adecuado del tablero, necesitará un destornillador punta de estrella y una llave fija 6 mm o de 1/4
2. Limpie la superficie de la estructura (elemento 2) con una bayetilla que no suelte pelusa o mota, tenga presente en no usar ningún tipo de producto acuoso.
3. Ubique el tablero de control (elemento 1) en el área dispuesta para este, como se muestra en el esquema, enfrentando los agujeros de este con la estructura.
4. Inserte los tornillos M5 en los agujeros de la base, tenga presente que la cabeza del tornillo quede por fuera del tablero y no dentro de este.
5. Ajuste los tornillos, ayudándose con llave fija sosteniendo la tuerca.

GUÍA DE VERIFICACION OPERARIO AL INICIO Y FIN DE OPERACIÓN

Para que la máquina no pierda su confiabilidad y el personal de mantenimiento cumpla con su adecuada intervención de la máquina, es fundamental que el operario realice una revisión diaria de la maquina antes y después de la operación, por lo cual se recomienda al personal de mantenimiento y personal de operación que lleven a cabo la lista de chequeo mostrada a continuación.

LISTA DE CHEQUEO EXTRUSORA 41 LD 30			
FECHA DE OPERACIÓN			
Acción y componente a revisar	BUENO	MALO	OBSERVACIONES
Limpieza alrededor de la máquina			
Limpieza de la tolva			
Estado de la tolva			
Estado carcasa protección extrusora			
Estado turbinas de ventilación			
Limpieza dado de extrusión			
Limpieza tablero de control			
Estado protectores bombillos tablero de control			
Estado pantallas digitales resistencias			
Estado pantalla RPM's			
Estado pulsadores tablero de control			
	SI	NO	OBSERVACIONES
Se presentan fugas en la caja de rodamientos			
Se presentan taponamientos en el dado de extrusión.			
Se presenta cuerpos extraños al interior de la tolva y garganta de alimentación			
Funcionamiento del selector energización de la máquina.			
Encendido de luz verde al energizar la máquina.			
Encendido de luz roja paro de proceso			
¿Se presentan parpadeos de luz roja?			
Funcionamiento correcto del potenciómetro aumento y des aumentó temperaturas resistencias			
Funcionamiento correcto del potenciómetro aumento y des aumentó RPM's			
Funcionamiento inicio precalentado de la máquina			

Encendido luz amarilla precalentamiento			
Encendido luz verde precalentado de la máquina			
Funcionamiento botón paro de proceso			
Funcionamiento accionamiento/ des accionamiento paro de emergencia.			
Ruidos extraños			
TIEMPO USO EN HORAS DE LA MAQUINA			

GUÍA ELABORACION DE MANTENIMIENTO

Esta guía de mantenimiento tiene como fin, darle al personal de mantenimiento las correctas directrices para que la maquina mantenga su vida útil y su confiabilidad.

ADVERTENCIA: las actividades mencionadas a continuación se deben hacer por personal capacitado, ya que pueden presentarse lesiones considerables al personal o pérdidas económicas a la empresa.

La implementación de esta guía debe hacerse únicamente por el propietario de la máquina.

Para poder llevar a cabo una buena práctica de mantenimiento, se describirá a continuación los subsistemas de la maquina y las debida actividades preventivas a realizar.

1. Sistema mecánico: Encargado de generar y transmitir la potencia y movimiento de la máquina, este sistema es el sistema principal de la máquina.
2. Sistema eléctrico: Este sistema es el encargado de energizar la maquina y automatizar el proceso.
3. Sistema de control: Este sistema es el encargado del control y operación de la máquina.
4. Sistema térmico: Este sistema es el encargado de brindar el calor necesario para fundir el material extruido.

5. Sistema estructural: Este sistema es el encargado de soportar el peso de la maquina y transferirlo al suelo.

Teniendo presente la importancia de los subsistemas presentes en la máquina, se describirá a continuación las actividades que se deberán llevar a cabo en cada uno de los subsistemas y componentes pertenecientes a estos.

SUBSISTEMA	UNIDAD	ACTIVIDAD	INSTRUMENTO	FRECUENCIA
MECANICO	MOTOREDUCTOR	LIMPIEZA	MANUAL	SEMANAL
		INSPECCION	VISUAL	DIARIO
		LUBRICACION	ACEITE	ANUAL
	CAJA DE RODAMIENTOS	INSPECCION	VISUAL, AUDITIVA	DIARIA
		LUBRICACION	GRASA	MENSUAL
		CAMBIO	RETENEDOR	ANUAL
	HUSILLO	LIMPIEZA	RECINA	SEMANAL O CAMBIO DE MATERIAL
		INSPECCION	VISUAL	ANUAL
	TURBINAS DE AIRE	LIMPIEZA	MANUAL	SEMANAL
INSPECCION		VISUAL	DIARIA	
ELECTRICO	MOTOREDUCTOR	INSPECCION	MULTIMETRO	MENSUAL
	TABLERO DE CONTROL	INSPECCION	MULTIMETRO	MENSUAL
		LIMPIEZA	ASPIRADOR	ANUAL
	RESISTENCIAS TERMICAS	INSPECCION	MULTIMETRO	ANUAL
TURBINAS DE AIRE	INSPECCION	MULTIMETRO	ANUAL	
CONTROL	TERMOPARES	INSPECCION	MULTIMETRO	ANUAL
	TRASDUCTOR DE PRESION	INSPECCION	MULTIMETRO	ANUAL
	PLC	INSPECCION	VISUAL	ANUAL
TERMICO	RESISTENCIAS ELECTRICAS	INSPECCION	TERMOMETRO INFRAROJO	ANUAL
ESTRUCTURAL	ESTRUCTURA	INSPECCION	VISUAL	MENSUAL
		LIMPIEZA	MANUAL	SEMANAL
	CARCAZA PROTECCION	INSPECCION	VISUAL	SEMANAL
		LIMPIEZA	MANUAL	SEMANAL

Una vez identificado la actividad, elemento y frecuencia a los cuales será necesario realizar mantenimiento, se mencionará a continuación los procedimientos adecuados para el cumplimiento de actividades propuestas presente en la tabla anterior.

Actividad de limpieza.

En las actividades mencionadas anterior mente, en donde se especifica realizar una limpieza **MANUAL**, se basa principalmente en retirar el polvo y/o productos derramados sobre la superficie del elemento, tenga presente en usar bayetilla que no suelte mota o pelusa ni tampoco use productos acuosos inflamables.

En el caso del **HUSILLO**, es necesario usar Resina Asaclean dependiendo del polímero usado, con el fin de desprender residuos depositados en los filetes de este o cuando se desea cambiar de material a extruir. Siga lo siguientes pasos si se desea cambiar de material.

1. Verifique que no se encuentra residuos de material usado en el proceso y asegúrese de no haber ningún elemento que pueda causar un accidente al técnico de mantenimiento o a la máquina.
2. vierta en la tolva 8 Kg de resina Asaclean escogida según el material a limpiar, tenga presente que la maquina ya debe de haber sido precalentada anterior mente.
3. inicie el proceso de la máquina hasta que extruya en la totalidad la resina, verifique que no queda ningún fragmento en el dado, de lo contrario vierta 4 kg de resina adicional y espere a que extruya dicha cantidad.

En el caso del **TABLERO DE CONTROL**, la limpieza deberá hacerse de la siguiente manera:

1. Verifique que el paro de emergencia este accionado y que el selector de energizado de la maquina este en off.
2. Abra el tablero y coloque todos los brekers en off, con el fin de garantizar que el tablero se encuentre completamente des energizado.
3. Con un aspirador o aire a presión, aspire o sople todas las esquinas del tablero, elementos en donde se pueda almacenar polvo o suciedad.
4. Con una bayetilla que no suelte pelusa o mota, limpie el PLC, tenga precaución con las conexiones de este.
5. Verifique que no se queda ningún elemento extraño en el cofre del tablero.
6. Ponga los brekers en ON y cierre el tablero.

Actividades de inspección.

En las actividades mencionadas anterior mente, en donde se especifica realiza una inspección **VISUAL**, se basa principalmente en observar si el elemento se encuentra fisurado, roto o suelto, por lo cual es necesario hacer la respectiva evaluación si el elemento se puede reparar o ajustar, de lo contrario deberá hacer el cambio pertinente del elemento, para evitar accidentes al operario, fallas a la maquina o daños en el proceso.

En las actividades mencionadas anterior mente, en donde se especifica realizar una inspección **AUDITIVA**, se basa principalmente en detectar algún ruido inusual que tenga la máquina, de presentarse dicho problema, es conveniente detener el proceso y realizar chequeos al husillo con el fin de descartar alguna introducción de elementos extraños a este, ya que pueden llegar a generar daños significativos en dicho elemento, de no encontrarse dicha falla, verifique los rodamientos de la caja de rodamientos.

Para realizar un chequeo al husillo, deberá seguir los paso mencionados en el ensamble completo de la extrusora, para su correcto desmonte de este, de igual forma se deberá realizar para el chequeo de la caja de rodamientos.

Nota: Se recomienda hacer una inspección mensual con equipos de ultrasonido o de vibraciones, para descartar daños en la estructura del elemento.

Actividades de cambio

Para realizar el cambio de los retenedores, tenga en cuenta que se usan retenedores **DIN A 50-58-4 NBR**.

A pesar que no se observan fugas de grasa de la caja, es fundamental hacer el cambio anual mente, ya que, por las temperaturas por fricción, desgaste y degradación del retenedor, es recomendable cambiarlos de forma anual, por lo cual se debe retirar con la caja de rodamientos previamente desmontada como se menciona en la guía de ensamble de la máquina.

Actividades de lubricación

La lubricación en la **CAJA DE RODAMIENTOS** es fundamental, ya que esta es la que trasmite el par motor al husillo y así mismo soporta las cargas axiales y tangenciales ejercidas en el husillo, por lo cual es fundamentan que estén bien lubricadas, por lo cual es fundamental realizar el siguiente procedimiento de limpieza y lubricación de este:

1. Después de desmontar la caja de rodamientos como se menciona en la guía de ensamble de la máquina, deberá por medio de la llave brístol 7/16 soltar los pernos de la tapa de esta.

2. Retire la tapa y proceda a retirar el eje de su posición.
3. Con ayuda de una pinza de puntas de tijera, retire el pin Seeger presente en la tapa de la caja de rodamientos.
4. Retire el rodamiento de esferas alojado en la tapa de la caja de rodamientos.
5. Con ayuda de una bayetilla que no suelte mota o pelusa, limpie los residuos dejados por la grasa en la tapa de la caja de rodamientos.
6. Una vez limpia la tapa, proceda a limpiar el rodamiento de esferas 7210 BEP por medio de una bayetilla que no suelte mota o pelusa y revise que no tenga ningún tipo de daño o desgaste, si la maquina ya tiene 15.000 horas de uso posteriores al último mantenimiento, realice el cambio de este elemento.
7. Ensamble el rodamiento de bolas 7210 BEP a la tapa.
8. Limpie los residuos presentes en el pin Seeger y ensámblelo nuevamente en la ranura de la tapa dejada por el rodamiento de bolas 7210 BEP.
9. Retire el eje de rodamientos y proceda a limpiarlo con una bayetilla que no suelte pelusa o mota, adicionalmente, inspeccione el eje buscando algún tipo de fisura, torcedura o daño en este.
10. Retire el rodamiento de rodillos 32010X del fondo de la carcasa de la caja de rodamientos y realice el mismo procedimiento echo al rodamiento 7210 BEP, recuerde que si la maquina tiene un total de 15.000 horas desde su ultimo mantenimiento, deberá cambiar este elemento.
11. Con la ayuda de una bayetilla que no suelte mota o pelusa, limpie la carcasa de rodamientos de residuos dejados por la grasa.
12. Ensamble nuevamente el rodamiento 32010X en su posición y procesa a dejar una capa abundante de grasa LGMT.
13. Acople el eje de rodamientos y aplique una capa abundante de grasa LGMT.
14. Aplique una capa considerable de grasa LGTM a la tapa de la caja de rodamientos.
15. Proceda a cerrar la caja como se realizó en el paso 1.
16. Limpie los residuos de grasa dejados en el exterior y juntas de la caja y proceda con su instalación de nuevo al conjunto de barril de extrusión.

En el caso del **MOTORREDUCTOR**, revise el nivel del lubricante de este y el estado del aceite, de estar bajo o con una viscosidad baja, proceda a hacer el cambio del aceite.

1. Ubique el tapón en la parte inferior del motorreductor para el cambio de aceite.
2. Ubique un tazón o balde en donde se realizará la depositario del aceite de la caja, tenga en cuenta que el cambio del aceite se hace por medio de decantación.
3. Con la ayuda de una llave inglesa, desenrosque el tapón de aceite del motorreductor, dejando salir así el aceite usado de esta.
4. Una vez se detenga el goteo del aceite usado, por el tapón superior, vierta un poco del aceite para cajas trasmisoras hasta que salga un poco de este por la parte posterior.
5. Proceda a colocar el tapón de la parte inferior con ayuda de la llave inglesa.
6. Vierta la totalidad del aceite hasta el nivel máximo marcado en el motorreductor.
7. Coloque el tapón superior y limpie los residuos dejados por el aceite.
8. Limpie cualquier residuo de aceite dejado en la maquina o sus alrededores.

9. COSTOS DE FABRICACION APROXIMADOS DE LA MÁQUINA

Con el fin de disminuir costos de fabricación, se llevaron a cabo cotizaciones con proveedores locales, reduciendo en gran medida costos de envío e impuestos de importación de maquinaria industrial, los cuales están soportados con sus debidos documentos visto en los anexos a este proyecto. Estas cotizaciones se realizan con el fin de proyectar los costos aproximados de fabricación de la maquina y posterior implementación por parte de la Fundación Universidad América.

A continuación, se presenta una tabla resumen, en donde se pueden encontrar los costos de cada componente y su costo total.

Tabla 20.
Costos de fabricación.

COMPONENTES	COSTO DE FABRICACION
Husillo Acero 1045	\$ 6.975.000
Alimentador Extrusora Acero 1045	\$ 1.728.033
Barril Extrusora Acero 1045	\$ 2.728.033
Carcasa caja extrusora acero 1045	\$ 768.033
Cabezal extrusora acero	\$ 390.000
Eje caja de rodamientos	\$ 400.000
2x Flanje frontal acero 1045	\$ 754.258
2x Flanje posterior acero	\$ 734.258
Flanje posterior caja acero 1045	\$ 330.000
Flanje posterior alimentador acero 1045	\$ 260.000
Plato rompedor acero 1045	\$ 370.000
Soporte dado acero 1045	\$ 440.000
dado extrusora acero P20	\$ 670.000
Tapa caja acero 1045	\$ 490.000
Chasis extrusora perfil cuadrado 50x50 A36	\$ 1.839.000
Tablero de control	\$ 6.800.000
Moto reductor 13/1 220V 3F	\$ 3.298.000
6x Resistencia tipo banda ceramica	\$ 2.284.800
Tolva acero inoxidable 304	\$ 273.700
Diseño he ingenieria	\$ 14.400.000
Costo computacional	\$ 5.000.000
Ventilador centrifugos	\$ 570.000
Rodamiento 7210 BEP	\$ 138.200
Rodamiento32010x	\$ 46.300
Grasa LGMT 2/1	\$ 55.500
Total Costo Fabricacion	\$ 51.743.115

Tabla 21.

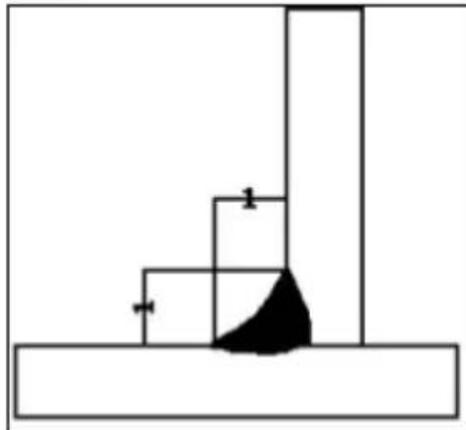
Relación de peso soldadura en filete por m lineal.

SOLDADURA DE FILETE HORIZONTAL

Medida del pie Pulgada / milímetro	Peso de los electrodos requeridos* (Aproximadamente)		Acero depositado	
	Libras por pie lineal	Kgs. Por mt lineal	Libras por pie lineal	Kgs. Por pie lineal
1/8 - 3.175	0,048	0,072	0,027	0,039
3/16 - 4.763	0,113	0,167	0,063	0,092
1/4 - 6.350	0,189	0,322	0,106	0,157
5/16 - 7.938	0,296	0,439	0,166	0,246
3/8 - 9.525	0,427	0,634	0,239	0,354
1/2 - 12.7	0,760	1,134	0,425	0,633
5/8 - 15.875	1,185	1,764	0,663	0,987
3/4 - 19.05	1,705	2,535	0,955	1,42
1 - 25.4	3,030	4,506	1,698	2,525

*Incluye despuntes y perdidas por salpicaduras.

*Incluye colilla y perdida por salpicaduras.



Nota: peso y material de aporte en kg de los electrodos requeridos por m lineal para soldadura de filete, según calibre de la soldadura

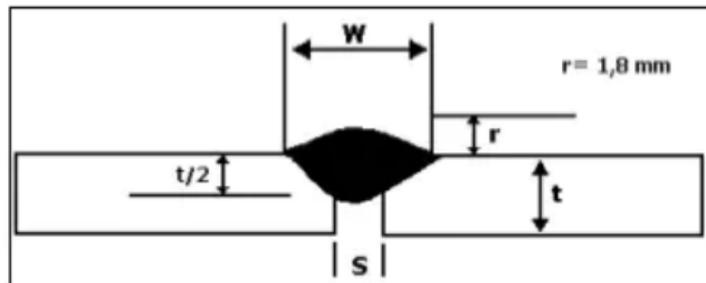
<https://es.slideshare.net/albertobeto94617/tablasconsumoelectrodos> [En línea] visto el 31/07/2021.

Tabla 22.

Relación de peso de la soldadura a tope por m lineal.

UNIONES DE TOPE SIN BISEL SOLDADAS A UN SOLO LADO

Dimensiones de la Unión (en Pulgs.)			Kilos del electrodo por metro lineal de soldadura* (aprox.)	Kilos de acero depositado por metro lineal
t	W	s	Con refuerzo* *	Con refuerzo* *
3/16	3/8	0	0,240	0,131
		1/16	0,298	0,162
1/4	7/16	1/16	0,343	0,192
		1/32	0,387	0,213
1/4	7/16	1/16	0,402	0,228
		3/32	0,447	0,253



Nota: peso y material de aporte en kg de los electrodos requeridos por m lineal para soldadura a tope, según calibre de la soldadura <https://es.slideshare.net/albertobeto94617/tablasconsumoelectrodos> [En línea] visto el 31/07/2021.

Tabla 23.
Costos de fabricación soldadura.

	cantidad	longitud en m	longitud total de las uniones en m
Uniones soldadas de filete de 50mm	57	0,05	2,85
Uniones soldadas a tope de 50mm	10	0,05	0,5
Uniones soldadasde filete de 450mm	4	0,45	1,8
Total de la soldadura en m			5,15
	peso de electrodos requeridos por m lineal solado	peso total en kg según union y espesor 1/8"	
Uniones soldadas de filete de 50mm	0,072	0,2052	
Uniones soldadas a tope de 50mm	0,131	0,0655	
Uniones soldadasde filete de 450mm	0,072	0,1296	
Total de la soldadura en Kg		0,4003	
costos			
mano de obra por dia soldador	\$	120.000,00	
costo por lb de la soldura 7018	\$	15.000,00	
total	\$	135.000,00	

10. ANALISIS AMBIENTAL

Para llevar a cabo una correcta fabricación de la extrusora de polipropileno con refuerzo de harina de madera, es fundamental que la Fundación Universidad de América garantice acciones contra la distribución de residuos contaminantes los cuales se pueden generar en la fabricación de esta máquina, por lo cual se lleva a cabo un análisis ambiental por medio de un marco técnico y jurídico.

Para dar cumplimiento a lo mencionado anteriormente, se evalúa el proyecto de acuerdo al decreto 4741 del año 2005, Capítulo 3, artículo 10 [35], el cual menciona de los “derechos y deberes del generador y de la gestión integral de residuos”, a continuación, se definen los deberes más importantes que debe tener en cuenta la empresa para la fabricación de la máquina.

«

a. Garantizar la gestión y manejo integral de los residuos o desechos peligrosos que genera;

b. Elaborar un plan de gestión integral de los residuos o desechos peligrosos que genere tendencia a prevenir la generación y reducción en la fuente, así como, minimizar la cantidad y peligrosidad de los mismos. En este plan deberá igualmente documentarse el origen, cantidad, características de peligrosidad y manejo que se dé a los residuos o desechos peligrosos. Este plan no requiere ser presentado a la autoridad ambiental, no obstante, lo anterior, deberá estar disponible para cuando esta realice actividades propias de control y seguimiento ambiental;

c. Identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere, para lo cual podrá tomar como referencia el procedimiento establecido en el artículo 7° del presente decreto, sin perjuicio de lo cual la autoridad ambiental podrá exigir en determinados casos la caracterización físico-química de los residuos o desechos si así lo estima conveniente o necesario;

d. Garantizar que el envasado o empacado, embalado y etiquetado de sus residuos o desechos peligrosos se realice conforme a la normatividad vigente;

e. Dar cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1609 de 2002 o aquella norma que la modifique o sustituya, cuando remita residuos o desechos peligrosos para

ser transportados. Igualmente, suministrar al transportista de los residuos o desechos peligrosos las respectivas Hojas de Seguridad;

f. Registrarse ante la autoridad ambiental competente por una sola vez y mantener actualizada la información de su registro anualmente, de acuerdo con lo establecido en el artículo 27 del presente decreto;

g. Capacitar al personal encargado de la gestión y el manejo de los residuos o desechos peligrosos en sus instalaciones, con el fin de divulgar el riesgo que estos residuos representan para la salud y el ambiente, además, brindar el equipo para el manejo de estos y la protección personal necesaria para ello;

h. Contar con un plan de contingencia actualizado para atender cualquier accidente o eventualidad que se presente y contar con personal preparado para su implementación. En caso de tratarse de un derrame de estos residuos el plan de contingencia debe seguir los lineamientos del Decreto 321 de 1999 por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas Marinas, Fluviales y Lacustres o aquel que lo modifique o sustituya y para otros tipos de contingencias el plan deberá estar articulado con el plan local de emergencias del municipio;

i. Conservar las certificaciones de almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento o disposición final que emitan los respectivos receptores, hasta por un tiempo de cinco (5) años;

j. Tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad con el fin de evitar cualquier episodio de contaminación que pueda representar un riesgo a la salud y al ambiente, relacionado con sus residuos o desechos peligrosos;

k. Contratar los servicios de almacenamiento, aprovechamiento, recuperación, tratamiento y/o disposición final, con instalaciones que cuenten con las licencias, permisos, autorizaciones o demás instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar, de conformidad con la normatividad ambiental vigente»

Para realizar un análisis ambiental adecuado, se tomará la matriz de impacto EMP, la cual permitirá encontrar acciones relacionadas a cada contaminante para obtener una calificación adecuada con relación a aspectos de contaminación, altos, medios o bajos, según el rango de puntuación obtenida, en la tabla 21 tomada de

la guía ambiental de la agroindustria de palma de aceite [36] podemos obtener los parámetros para el estudio correspondiente.

Tabla 24.

Criterio de evaluación matriz EPM.

CRITERIO	RANGO	VALOR
Clase	Positivo (+) Negativo (-)	
Presencia	Cierta Muy Probable Probable Poco probable No probable	1,0 0,7 0,3 0,1 0,0
Duración	Muy larga > 10 años Larga > 7 años Media > 4 años Corta > 1 año Muy corta < 1 año	1,0 0,7 < 1,0 0,4 < 0,7 0,1 < 0,4 0,0 < 0,1
Evolución	Muy rápida < 1 mes Rápida < 12 meses Media < 18 meses Lenta < 24 meses Muy lenta > 24 meses	0,8 < 1,0 0,6 < 0,8 0,4 < 0,8 0,2 < 0,4 0,0 < 0,2
Magnitud	Muy alta: Mr > del 80% Alta: Mr entre 60% y 80% Media: Mr entre 40% y 60% Baja: Mr entre 20% y 40% Muy baja: Mr < 20%	0,8 < 1,0 0,6 < 0,8 0,4 < 0,6 0,2 < 0,4 0,0 < 0,2
Importancia Ambiental	Muy alta: Ca entre 8,0 a 1,0 Alta: Ca entre 6,0 a 8,0 Media: Ca entre 0,4 a 0,6 Baja: Ca entre 0,2 a 0,4 Muy baja Ca entre 0,0 a 0,2	
Constante de ponderación		a= 7,0 b= 3,0

Nota: La figura muestra los criterios a tener en cuenta para el desarrollo de la matriz EPM. Tomado de: Red por la Justicia Ambiental en Colombia., “Guía ambiental de la agroindustria de palma de aceite.” [Online]. Disponible: <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guc3ada-ambiental-para-el-subsector-palma-deaceite.pdf>.

Para obtener la calificación de la metodología EPM se utiliza la siguiente ecuación la cual está implícita en la matriz.

$$Ca = C * (P * (a * (E * M) + (b * D))) \quad (84)$$

Donde:

Ca = Calificación

D = Duración

M= Magnitud

E= Evolución

P= Presencia

C= Clase o impacto ambiental

A = 7,0

B= 3,0

Los coeficientes a y b corresponden a la ponderación de los 5 criterios mencionados al equivalente a los pesos relativos correspondiente a la suma de 10. A partir de esos criterios, encontramos la importancia de la matriz EPM en la siguiente tabla.

Tabla 25.

Importancia en la matriz EPM.

Importancia	≤2,5 Poco significativo
	> 2,5 a ≤ 5,0 Moderadamente significativo o moderado
	> 5,0 a 7,5 Significativo y relevante
	> 7,5 Muy significativo o grave

Nota: La tabla muestra los valores para asignar el nivel de importancia. Para el desarrollo de la matriz de impacto ambiental, es necesario describir los criterios mencionados; La clase (C), indica si el impacto ambiental es positivo o negativo, el criterio presencia (P) indica la frecuencia que genera el impacto ambiental del proceso de fabricación de la máquina, la duración (D) indica la duración que tiene la contaminación del proceso de fabricación al medio ambiente, el criterio evolución (E) indica el nivel de reacción de la contaminación, está ligado directamente a la velocidad a la cual se generan las consecuencias de impacto ambiental y la magnitud (M) indica el nivel de gravedad de la fabricación de la máquina. Una vez descritos los criterios, se analizarán las actividades que pueden generar mayor contaminación en el proceso de fabricación.

Tabla 26.

Matriz de impacto ambiental EPM.

IDENTIFICACION DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES					VALORACION DE IMPACTO						
Etapa	Actividades	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Componente	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Puntaje	Importancia
Fabricación	Soldadura	Generación de residuos de soldadura, Extensión no larga	Contaminación de suelo	Partículas metálicas	-1	0,30	0,35	0,25	0,40	-0,825	Poco significativo
		Generación de humos por trabajos en metal	Contaminación de aire	Soldadura tipo TIG	-1	0,20	0,35	0,4	0,99	-0,7276	Poco significativo
	Mecanizado	Generación de partículas por viruta	Contaminación de suelo	Viruta del metal mecanizado	-1	0,20	0,4	0,4	0,69	-1,5864	Poco significativo
	Puesta a punto	Generación de residuos riesgosos	Contaminación de suelo	Viruta de elementos de ensamble	-1	1	0,7	0,7	0,4	-4,2212	Moderadamente significativo

Nota: La tabla muestra los resultados con respecto a las actividades de generación de contaminantes.

Al concluir el análisis ambiental por medio de la matriz de impacto ambiental en la fabricación de la extrusora para laboratorio de polipropileno con refuerzo de harina de madera el cual es positivo, ya que solo se ve afectado el entorno y el suelo debido a la cantidad de material particulado generado en la actividad de soldadura y mecanizado.

11. CONCLUSIONES

1. Por medio de un análisis experimental se pudo determinar las ventajas y cambios en las propiedades mecánicas de los materiales compuestos (polipropileno- harina de madera), como el aumento de la resistencia a la fluencia, esfuerzos últimos del material, densidad y dureza, además de esto, el aumento de la capacidad hidrofóbica del material. Se identificaron las 8 tecnologías de extrusión más comunes y las 4 mejores tecnologías a nivel laboratorio, las cuales influyen en la obtención de un buen acabado del material con respecto a la materia prima, siendo estos en este caso el polipropileno y la haría de madera. Dada la aplicación del proyecto y la necesidad de su finalidad académica, se determinó que la mejor alternativa de diseño conceptual es una extrusora mono husillo con una capacidad de 40 Kg/h, teniendo presente su confiabilidad, costo y seguridad de operación ya que esta será utilizada con fines educativos y no económicos o productivos.
2. Basada en la alternativas de diseño conceptual, se realizó el dimensionamiento de la máquina, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de diferentes materiales de fabricación y las necesidades del material a extruir, como temperatura, presión, velocidad de extrusión, acabado superficial y los diferentes procesos de fabricación de las piezas, se realizaron 2 simulaciones por medio de software especializado de elementos finitos, mostrando los puntos críticos que no se tuvieron en cuenta en el diseño preliminar, permitiendo de esta manera realizar cambios para mejorar el diseño a detalle de la máquina.
3. Se pudo determinar que la extrusora es idónea para una práctica de laboratorio y entorno académico, ya que esta permite comprender las variables a tener en cuenta en un proceso de extrusión y como un cambio en algún parámetro puede llegar a cambiar el acabado superficial del material y sus propiedades mecánicas. La capacidad de desarrollo que tiene la maquina permite la posterior implementación de diferentes equipos que optimicen el proceso de producción y permitan profundizar el conocimiento de diferentes materiales poliméricos y sus aplicaciones de extrusión. Por otro lado, la extrusora es una

maquina sencilla y económica, ya que no requiere un gran mantenimiento ni una gran cantidad de insumos para su operación.

4. La extrusora es una máquina sencilla y económica, ya que no requiere un gran mantenimiento ni una gran cantidad de insumos para su operación, siempre y cuando se realice un mantenimiento adecuado y no se opere la máquina con materiales diferentes a la fibra de madera o a polímeros sintéticos semicristalinos.

5. Al determinar los costos de fabricación de la máquina, se pudo evidenciar que el desarrollo del diseño por parte de la universidad consigue que la fabricación de la maquina tenga precios relativamente bajos con relación a los encontrados en el mercado dado que el costo de fabricación de la maquina desarrollada esta alrededor de los 50 millones y una máquina comercial con características similares está en promedio por un costo de 130 millones dado que la mayoría de estas máquinas se fabrican en el exterior.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. M. a. D. Rodriguez, Caracterización mecánica y morfología de termoplásticos reciclados espumados reforzados con subproductos de madera, Universidad del Bío-Bío, 2020.
- [2] C. Ospina, Evaluacion de las propiedades mecanicas de los perfiles extruidos a partir de mezcla de polimeros reciclados para la fabricacion de estibas de madera plastica en maderpol S.A.S, EAFIT, 2014.
- [3] Plasticos.com, «La fuerza de la madera en los plásticos,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.plastico.com/temas/La-fuerza-de-la-madera-en-los-plasticos+3041542>. [Último acceso: 08 11 2020].
- [4] Acoplasticos, «Acoplasticos,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.acoplasticos.org/>. [Último acceso: 08 11 2020].
- [5] Ecociencia.com, «Ecociencia,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ecociencia.com.co/>. [Último acceso: 08 11 2020].
- [6] Brabender.com, «Products,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.brabender.com/en/chemical/products/>. [Último acceso: 08 11 2020].
- [7] Njtd.net, «Company Profile_Nanjing Tengda Machinery Equipment Co.,» 2020. [En línea]. Available: <http://njtd.net/about13.html>. [Último acceso: 12 11 2020].
- [8] Metrotec.es, «Extrusoras de Laboratorio de 1 Husillo LABTECH Engineering,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.metrotec.es/producto/extrusoras-de-laboratorio-de-1-husillo-labtech-engineering/..](https://www.metrotec.es/producto/extrusoras-de-laboratorio-de-1-husillo-labtech-engineering/) [Último acceso: 08 11 2020].
- [9] Dane, «Índice de Producción Industrial (IPI) Enero 2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/indice-de-produccion-industrial-ipi/indice-de-produccion-industrial-ipi-historicos..> [Último acceso: 08 11 2020].
- [10] Industria del plastico, «indicador de la economía colombiana,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Industria-plastica,-indicador-de-la-economia-colombiana+126688..> [Último acceso: 08 11 2020].
- [11]K. H, «Fibras naturales y compuestos reforzados con fibras naturales: la motivación para su investigación y desarrollo.,» [En línea]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1517-70762019000300200&lng=en&nrm=iso&tlng=es. DOI: 10.1590/s1517-707620190003.0801.. [Último acceso: 08 11 2020].
- [12]J. F. Shackelford, Introduccion a la ciencia de materiales para ingenieros, California: Pearson, 2005.
- [13]T. M. Gutierrez, Polimeros: Generalidades y tendencias de investigacion en colombia, Popayan- colombia: Universidad del cauca, 2019.
- [14]S. L. Reynoso, Los polimeros plasticos, Mexico, 2018.
- [15]T. A. osswald, Material science of polymers for engineers, Munich: Hanser, 2012.
- [16]ITC S.A.S, «Ficha Tecnica del Polyhard PP (Polipropileno),» 2020. [En línea]. Available: <http://www.itcsas.com.co/wp-content/uploads/2014/06/FICHA-TECNICA-POLYHARD-PP.pdf>. [Último acceso: 26 02 2021].

- [17]N. G. Gutierrez, «caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polímero virgen,» 2014.
[En línea]. Available: <https://bit.ly/37wuZwZ> .[Último acceso: 02 03 2021].
- [18]Petrocuyo, «Petrocuyo,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.petrocuyo.com/es/tecnologia/el-polipropileno>. [Último acceso: 08 04 2021].
- [19]K. O. Niska, wood-polymer composites, Boca Raton Boston: Cambridge England, 2008.
- [20]C. Rauwendaal, Polymer extrusion, 5th ed. Munich: Hanser, 2014.
- [21]Tecnología de los plásticos, «Tecnología de los plásticos,» 2020. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>. [Último acceso: 03 03 2021].
- [22]J. F. B. C. Paola Andrea Gutiérrez Moreales, metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo, Cali: ISSN, 2008.
- [23]ARIAN, «¿Que son y como funcionan las termocuplas?,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>. [Último acceso: 03 04 2021].
- [24]P. A. Gutierrez Morales y J. F. Bornacelli Castillo, «Metodología Para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo,» 2008. [En línea]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11043/L0110.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 03 03 2021].
- [25]D. A. Rodríguez Mora, «diseño de un dosificador automático de baquelita para dos tipos diferentes de bases de licuadoras para la empresa nacional de licuadoras Naliet Sas,» Fundación Universidad De América, Bogotá, 2019.
- [26]V. K. Savgorodny, Transformación de plásticos, España: Gustavo Gilli, 2000.
- [27]F. M. Gualoto Calupiña, «diseño y construcción de una trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D,» 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9089/6/UPS-KT01128.pdf>. [Último acceso: 22 05 2021].
- [28]J. C. Otero Jaramillo, Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo, Bogotá: Universidad Autónoma de Occidente, 2008.
- [29]G. A. Loaiza Suñiga, O. H. Ossa Betancourh y P. C. Ramírez Quintero, «Cálculo y diseño del extrudor y cabezal para una máquina de soplado de película de polipropileno,» Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, Cali, 1997.
- [30]R. G. Budinas, diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw Hill, 2012.
- [31]Opac Components, «Opac Components,» [En línea]. Available: <https://www.opac.net/familia-3-chavetas>. [Último acceso: 03 06 2021].
- [32]SKF, «Catálogo general,» grupo SKF, 21 01 2019. [En línea]. Available: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf#cid-121486. [Último acceso: 03 06 2021].
- [33]J. M. Canet, Resistencia de Materiales y Estructuras, Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), 2012.

- [34]West Arco, «West Arco,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3CHBY4j>
- [35]Ministerio de ambiente, «Decreto 4741 de 2005,» *por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.*, nº Cap. 3. Art 10. , 2005.
- [36]Red por la Justicia Ambienta en Colombia, «Guía ambiental de la agroindustria de palma de aceite,» [En línea]. Available: <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guc3ada-ambiental-para-el-subsector-palma-de-aceite.pdf>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [37]Ing. Ricardo A. Forero R., «tecnología del plástico,» Axioma Group S.A.S., agosto 2007. [En línea]. Available: <https://www.plastico.com/temas/Las-fibras-naturales-en-los-materiales-plasticos-compuestos+3057872>. [Último acceso: 20 02 2021].

ANEXOS

Recomendaciones

1. Se recomienda a los estudiantes que posteriormente tomen este proyecto para su implementación, el desarrollo de un jalador que permita la extrusión de perfiles con grandes longitudes, así como de una piscina de agua para el posterior enfriamiento del material.
2. Se recomienda implementar un intercambiador de calor en la zona de alimentación de la maquina si esta va a trabajar por largos periodos de tiempo como los que se ven en una línea de producción entre (12 y 24 horas). Ya que el movimiento interno de la maquina y el desplazamiento del material, puede adquirir temperaturas causando que no sea controlado el proceso.
3. Se recomienda el desarrollo de una máquina que garantice el correcto pre-proceso de la materia prima reciclada y brinde características homogéneas en este.
4. Se recomienda ubicar la maquina en un área que permita la expansión del proceso para el desarrollo de diferentes perfiles y productos.
5. Se recomienda la fabricación de un dado de araña, para la fabricación de perfiles huecos, aprovechado el soporte del dado, el cual posee centradores facilitando su implementación e instalación.

Lista de planos

CODIGO	NOMBRE PLANO
A001	ENSAMBLE TOTAL EXTRUSORA 41 LD30
A002	EXPLOCIONADO TOTAL EXTRUSORA 41 LD30
S001	ENSAMBLE EXTRUSORA 41 LD30
C001	HUSILLO EXTRUSORA 41 LD30
C002	BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C003	ALIMENTADOR EXTRUSORA 41 LD30
C004	TOLVA EXTRUSORA 41 LD30
C005	CARCASA SUPERIOR EXTRUSORA 41 LD30

C006	CARCASA INFERIOR EXTRUSORA 41 LD30
C007	TURBINA EXTRUSORA 41 LD30
C008	FLANJE POSTERIOR ALIMENTADOR EXTRUSORA 41 LD30
C009	FLANJE FRONTAL ALIMENTADOR EXTRUSORA 41 LD30
C010	FLANJE POSTERIOR BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C011	FLANJE FRONTAL BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C012	TERMOPAR EXTRUSORA 41 LD30
C013	MOTORREDUCTOR EXTRUSORA 41 LD30
C014	FLANJE CABEZAL EXTRUSORA 41 LD30
SB1_1	ENSAMBLE CAJA EXTRUSORA 41 LD30
C015	FLANJE CAJA EXTRUSORA 41 LD30
C016	CARCASA CAJA EXTRUSORA 41 LD30
C017	TAPA CAJA EXTRUSORA 41 LD30
C018	EJE CAJA EXTRUSORA 41 LD30
C019	RODAMIENTO 32010 X SKF EXTRUSORA 41 LD30
C020	RODAMIENTO 7210 BEP SKF EXTRUSORA 41 LD30
C021	RETENEDOR DINA EXTRUSORA 41 LD30
C022	PIN SEEGER DIN 472 90 EXTRUSORA 41 LD30
SB1_2	ENSAMBLE CABEZAL EXTRUSORA 41 LD30
C023	CABEZAL EXTRUSORA 41 LD30
C024	PLATO ROMPEDOR EXTRUSORA 41 LD30
C025	DADO EXTRUSORA 41 LD30
C026	SOPORTE DADO EXTRUSORA 41 LD30
C027	TRANSDUCTOR DE PRESION EXTRUSORA 41 LD30
S002	ENSAMBLE ESTRUCTURA EXTRUSORA 41 LD30
C028	ABRAZADERA BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C029	CARTELA DE SOPOORTE EXTRUSORA 41 LD30
C030	CONECTOR ALIMENTADOR EXTRUSORA 41 LD30
C031	CONECTOR BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C032	PARAL ALIMENTADOR EXTRUSORA 41 LD30
C033	PARAL MOTOR EXTRUSORA 41 LD30
C034	PARAL BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C035	SEPARADOR PARAL BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C036	SEPARADOR TABLERO EXTRUSORA 41 LD30
C037	TENSOR BARRIL EXTRUSORA 41 LD30
C038	TENSOR TABLERO DE CONTROL EXTRUSORA 41 LD30
C039	VIGA ALIMENTADOR EXTRUSORA 41 LD30
C040	TABLERO DE CONTROL EXTRUSORA 41 LD30