



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PLÁSTICO”

Autores

Shingón Collahuazo Oscar Adrian

Uvillus Tipan Gustavo Javier

Tutor:

Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA

Latacunga – Ecuador

Julio,2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Shingón Collahuazo Oscar Adrian** y **Uvillus Tipan Gustavo Javier** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **Construcción de una máquina extrusora para plástico**, siendo el Ing. Reinoso Peñaherrera Héctor Raúl tutor del presente trabajo, y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Shingón Collahuazo Oscar Adrian
C.I. 050375009-3

Uvillus Tipan Gustavo Javier,
C.I. 172652148-5



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “**CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PLÁSTICO**”, de los estudiantes **Shingón Collahuazo Oscar Adrian**, con cédula de ciudadanía No **050375009-3**, y, **Uvillus Tipan Gustavo Javier**, con cédula de ciudadanía No **172652148-5**, de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de **Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2019

El Tutor

Firma

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

CC. 0502150899



AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, los postulantes: **Shingón Collahuazo Oscar Adrian**, con cédula de ciudadanía No **050375009-3**, y, **Uvillus Tipan Gustavo Javier**, con cédula de ciudadanía No **172652148-5**, con el título de Proyecto de titulación: “**Construcción de una máquina extrusora para plástico**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio de 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. Navarrete López Luis

Luis Rolando

CC. 1803747284

Lector 2

Nombre: Ing. Cruz Panchi

CC. 0502545176

Lector 3

Nombre: Msc. Barbosa Galarza Efrén

CC. 0501420723



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Julio del 2019

Estimado

Ing. Jorge Villarroel

Responsable de laboratorio de Ingeniería Electromecánica

Yo **Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera** en calidad de líder del proyecto WPRC solicito de la manera más comedida se digne receptar el equipo realizado por los estudiantes **Shingón Collahuazo Oscar Adrian**, con cédula de ciudadanía No **050375009-3**, y, **Uvillus Tipan Gustavo Javier**, con cédula de ciudadanía No **172652148-5**, de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, cuyo tema de tesis es “ Construcción de una maquina extrusora para plástico”, que servirá para la realización de las actividades del proyecto formativo que se encuentra en desarrollo.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

CC. 0502150899

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a: A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Ernesto Y Blanca quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Iveth, Gissela y Bryan por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

OSCAR ADRIAN

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico: a dios por darme la salud y el carácter para cumplir mis sueños a pesar de las limitaciones económicas.

A mi madre que me ha apoyado incondicionalmente a lo largo de mi carrera universitaria hasta llegar a cumplir mi anhelado sueño.

A mis hermanas Lucia y Ximena, que han sido tolerantes con los gastos que mi madre ha invertido en mis estudios. Y ha Mariela mi hermana que por su inteligencia y responsabilidad me enseñó nunca rendirme hasta llegar a la meta.

GUSTAVO JAVIER

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de culminar mis estudios superiores, al Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA, por su paciencia y apoyo incondicional, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo y a todas las personas que con su apoyo supieron motivarme para la culminación de este proyecto

OSCAR ADRIAN

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que han hecho posible cumplir mi más anhelado sueño; en primer lugar agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme abierto las puertas para que me forme como profesional, en segundo lugar agradezco a los profesores que me enseñaron que es necesario formarse como profesional y como persona de bien; por último a mi madre que gracias a su apoyo he logrado culminar el sueño que un día inicio como un sueño y hoy se hace realidad.

GUSTAVO JAVIER

INDICE GENERAL

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
AGRADECIMIENTO	ix
INDICE GENERAL	x
INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
AVAL DE TRADUCCIÓN	xxi
1 INFORMACIÓN BÁSICA	1
2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
2.1 Título de la propuesta tecnológica	1
2.2 Tipo de alcance	2
2.3 Área del conocimiento:	2
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	2
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	2
2.5.1 Objeto de estudio.	2
2.5.2 Campo de acción	3
2.6 Situación problemática y problema	3
2.6.1 Situación problemática:	3
2.6.2 Problema	4
2.7 Hipótesis o formulación de pregunta científica	4
2.8 Objetivo(s)	4

2.8.1	Objetivo general.....	4
2.8.2	Objetivos específicos	4
2.9	Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	5
3	MARCO TEÓRICO	6
3.1	Introducción	6
3.2	Antecedentes de la investigación.....	6
3.3	Procesos de fabricación de plásticos.....	7
3.4	Mano de obra requerida en el proceso de fabricación.	7
3.5	Materias Primas y/o Materiales utilizados en el proceso de fabricación.	8
3.6	Plásticos	8
3.6.1	Plásticos de ingeniería	8
3.6.2	Densidad del plástico.	8
3.6.3	Tipos de Plásticos	9
3.7	Los termoplásticos	9
3.7.1	Propiedades más destacadas	9
3.8	PROCESOS DE MANUFACTURA DE LOS PLÁSTICOS.....	10
3.9	Máquinas extrusoras de plástico	10
3.9.1	Funcionamiento	11
3.9.2	Ingeniería general del proceso de extrusión	12
3.9.3	Capacidad del extrusor	12
3.9.4	Características principales de una extrusora.....	12
3.9.5	Diagrama de proceso	13
3.9.6	Ciclo de trabajo.....	13
3.10	Sistema mecánico de la máquina.	13
3.10.1	Propuesta de análisis de la parte mecánica.	13
3.10.2	Sistema de alimentación, transporte y circulación de materia prima.	14
3.10.3	El tornillo de extrusión.	14

3.10.4 Cilindro.....	14
3.10.5 Garganta de alimentación	15
3.10.6 Tolva.....	15
3.10.7 Cabezal y boquilla	15
3.11 Sistema de transmisión de potencia.....	16
3.11.1 Tipos de transmisiones	16
3.12 Sistema térmico	17
3.12.1 Temperatura de fusión para la inyección de plásticos	17
3.12.2 Control de Temperatura.....	18
3.12.3 Termocoplas, pirómetros y contactores	19
3.13 Bastidores o Estructuras de Maquinas	19
3.14 Procesos de mecanizado	20
3.15 Matriz de operacionalización de variables	21
3.16 RELACIÓN DE CAUSA Y EFECTO	21
4 METODOLOGÍA.....	22
4.1 Alcance	22
4.2 Bosquejo	23
4.3 Metodología para la selección de alternativas para la construcción de la máquina extrusora	23
4.3.1 Especificaciones técnicas.....	23
4.4 Ecuaciones para el dimensionamiento de la maquina extrusora	24
4.4.1 Dimensionamiento del husillo	24
4.4.2 Diseño de la tolva	31
4.4.3 Diseño del cilindro.....	32
4.5 Cálculo de la potencia requerida.....	32
4.5.1 Cálculos de las revoluciones del husillo.....	32
4.6 Sistema térmico	33

4.6.1	Calentamiento del pet	33
4.6.2	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor	33
4.6.3	Estimacion de las pérdidas de calor	35
4.6.4	Termocuplas	36
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
5.1	Selección de alternativas para la construcción de la maquina	36
5.1.1	Estructura de la máquina de extrusion de plasticos	36
5.2	Diseño del detalle	37
5.2.1	Cálculos de los parámetros del tornillo o husillo.....	37
5.2.2	Cálculo de fuerzas de husillo	39
5.2.3	Dimensionamiento de la tolva	40
5.2.4	Diseño del cilindro.....	40
5.2.5	Cálculo de la potencia requerida.....	41
5.3	Potencia de las bandas calefactoras	42
5.3.2	Estimación de las pérdidas de calor	43
5.3.3	Cálculo de potencia requerida para bandas calefactoras	44
5.4	Análisis estructural de la mesa.....	44
5.5	Materiales utilizados para la construcción de la máquina	46
5.6	Construcción mecánica de la maquina extrusora.....	47
5.6.1	Construcción del tornillo extrusor	47
5.6.2	Construcción de la camisa o cilindro	48
5.6.3	Construcción de la tolva de alimentacion	48
5.6.4	Construcción de la boquilla	49
5.6.5	Construcción de la estructura.....	49
5.6.6	La soldadura.....	49
5.6.7	Montaje de los elementos de la maquina sobre la estructura.....	50
5.6.8	Sistema de control electrico	51

5.6.9	Controlador de temperatura On / Off.....	53
5.6.10	Termocipila tipo k.....	53
5.7	Pruebas de funcionamiento de la máquina	54
5.7.1	Prueba 1 - Funcionamiento del control de temperatura.....	54
5.7.2	Prueba 2 - Tiempo para la temperatura de operación	54
5.7.3	Prueba 3 - Temperatura de ingreso y estado final del material	55
6	PRESUPUESTO.....	56
6.1	Presupuesto	56
6.1.1	Costos directos.....	56
6.1.2	Mano de obra directa	59
6.1.3	Costos indirectos.....	60
6.1.4	Presupuesto final.....	60
6.2	Impactos.....	60
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
7.1	Conclusiones:.....	61
7.2	Recomendaciones:	61
8	BIBLIOGRAFÍA	63
9	ANEXOS	66
10	Aspectos de seguridad	84
10.1	Seguridad funcional del prototipo	84
10.2	MAPA DE RIESGOS	85
10.3	Identificación de peligros y evaluación de riesgos (matriz de riesgos)	86
11	MANUAL DE OPERACIÓN	89
12	MANUAL DE MANTENIMIENTO	92
	PLANOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA MAQUINA	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1	Clasificación de los plásticos.....	9
--------------------	-------------------------------------	---

Figura 3. 2. Clasificación de procesos de manufactura	10
Figura 3. 3. Diagrama de extrusión	11
Figura 3. 4. Proceso de extrusión	13
Figura 3. 5. Tornillo de extrusión.....	14
Figura 3. 6. Sistema cilindro de calefacción-tornillos.....	14
Figura 3. 7. Garganta de alimentación.....	15
Figura 3. 8. Tolva	15
Figura 3. 9. Boquillas anulares	16
Figura 3. 10. Clasificación de los sistemas de transmisión.....	16
Figura 3. 11. Motor y caja reductora	17
Figura 3. 12. Resistencias tipo abrazadera	18
Figura 3. 13. Diagrama de control de temperatura.....	19
Figura 3. 14 tipos de mecanizados	21
Figura 3. 15. Matriz causa efecto	22
Figura 4. 1. Bosquejo del cuerpo extrusor.....	23
Figura 4. 2. Parámetros del husillo.....	24
Figura 4. 3. Sección de un husillo de un canal	25
Figura 4. 4. Zonas del husillo	28
Figura 4. 5. Diagrama de fuerzas de husillo.....	29
Figura 5. 1. Análisis estructural.....	44
Figura 5. 2. Proceso de maquinado del tornillo extrusor.....	47
Figura 5. 3. Tornillo extrusor	48
Figura 5. 4. Proceso de fabricación del cilindro por arranque de viruta	48
Figura 5. 5. Cilindro de la máquina extrusora.....	48
Figura 5. 6. Tolva de alimentación.....	48
Figura 5. 7 Maquinado de la boquilla de la máquina extrusora	49
Figura 5. 8. Estructura de la máquina.....	49
Figura 5. 9. Armado de la estructura de soporte de la máquina extrusora	50
Figura 5. 10. Plano conjunto de la máquina extrusora	50
Figura 5. 11. Mesa y plancha adjuntas	51
Figura 5. 12. Sistema mecánico concluido.....	51

Figura 5. 13. Contactor	51
Figura 5. 14. Relé térmico	52
Figura 5. 15. Temporizador ON DELAY.....	52
Figura 5. 16. Breaker	52
Figura 5. 17. Controlador on/off	53
Figura 5. 18. Termocupla tipo K	53
Figura 5. 19. Grafica de funcionamiento del control de temperatura.....	54
Figura 5. 20. Tiempo para la temperatura de operación.....	55
Figura 5. 21. Temperatura de trabajo	56
Figura 5. 22. : Resultados de prueba de estado final de la materia	56

Figura 10. 1 Señales de prevención	84
---	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Tabla de objetivos con sus respectivas actividades	5
Tabla 3. 1. Tamaño de extrusoras industriales por el diámetro de husillo	12
Tabla 3. 2. Descripción del proceso de extrusión.....	13
Tabla 4. 1. Ejemplo de Ponderación de la Matriz Pugh	24
Tabla 4. 2. Parámetros geométricos del husillo	25
Tabla 5. 1. Elementos definidos para la máquina extrusora.....	37
Tabla 5. 2. Especificaciones del tornillo extrusor	38
Tabla 5. 3. Detalles del material usado en la construcción de la máquina	46
Tabla 5. 4. Características de la termocupla tipo k.....	53
Tabla 5. 5. Funcionamiento del Control de Temperatura.....	54
Tabla 5. 6. Tiempo para la Temperatura de Operación	55
Tabla 5. 7. Temperatura de Ingreso y Estado del Material.....	55
Tabla 6. 1. Detalles de costos de materiales usados en los componentes de la máquina	57

Tabla 6. 2. Detalles de costos de materiales para el sistema de control	58
Tabla 6. 3. Detalle de otros materiales usados en el transcurso de la construcción	59
Tabla 6. 4. Costo de mano de obra directa.	59
Tabla 6. 5. Costos de materiales y accesorios indirectos utilizados en la valoración del proyecto	60
Tabla 6. 6. Costo total del proyecto	60
Tabla 10. 1 Factores de riesgo	85
Tabla II 1. Ventajas-Desventajas: Tolva rectangular	67
Tabla II 2. Ventajas-Desventajas: Tolva Circular	67
Tabla II 3. Ponderación de Criterios del Subsistema A	68
Tabla II 4. Criterios de Selección: Flujo de la Materia Prima	68
Tabla II 5. Criterios de Selección: Costo	68
Tabla II 6. Criterios de Selección: Tiempo de Construcción	68
Tabla II 7. Criterios de Selección: Mantenimiento	68
Tabla II 8. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema A	69
Tabla II 9. Ventajas-Desventajas: Husillo simple	69
Tabla II 10. Ventajas-Desventajas: Husillo Engranado	69
Tabla II 11. Ventajas-Desventajas: Husillo No Engranado.....	70
Tabla II 12. Ponderación de Alternativas del Subsistema B	70
Tabla II 13. Criterios de Selección: Costo	70
Tabla II 14. Criterios de Selección: Tiempo de Producción	71
Tabla II 15.. Criterios de Selección: Arrastre del Material	71
Tabla II 16. Criterios de Selección: Precisión de Ensamblado	71
Tabla II 17. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema B	71
Tabla II 18. Ventajas-Desventajas: resistencia eléctrica.....	72
Tabla II 19. Ventajas-Desventajas: transmisión de calor por fuego	72
Tabla II 20. Ventajas-Desventajas: transmisión de calor vapor.....	72
Tabla II 21. Ponderación de Alternativas del Subsistema C	73
Tabla II 22. Criterio de selección costo.....	73
Tabla II 23. Criterio respecto al tiempo de instalación	73
Tabla II 24. Criterio con respecto al mantenimiento.....	73

Tabla II 25. Criterio con respecto a la generación de temperatura	74
Tabla II 26. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema C	74
Tabla II 27. Ventajas y desventaja de motor eléctrico	74
Tabla II 28. Ventajas y desventajas de transmisión manual	75
Tabla II 29. Ponderación de Alternativas del Subsistema C	75
Tabla II 30. Criterio de selección costos	75
Tabla II 31. Criterio de selección por efectividad de trabajo	75
Tabla II 32. Criterio de selección por mantenimiento	76
Tabla II 33. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema D	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. 1. Tipos de plásticos su densidad y usos	66
Anexo I. 2. Propiedades Del (Pet)	66
Anexo II 1	67
Anexo III. 1 Material Para La Estructura Acero AISI 1020	77
Anexo III. 2. Especificación del material usado para la fabricación del tornillo extrusor y cilindro ACERO ASIS 4140	78
Anexo III. 3. Especificación del material usado en la fabricación de la tolva y plancha de estructura	80
Anexo IV. 1 Especificaciones de la termocupla	81
Anexo V. 1. Especificaciones de la termocupla	82
Anexo V. 2. EmIsividad del aire	83

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO: “CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PLÁSTICO”.

Autor/es: Shingón Collahuazo Oscar Adrián
Uvillus Tipan Gustavo Javier

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica tiene como objetivo la construcción de un prototipo de máquina extrusora para plásticos, analizando las principales variables en el proceso y control de temperatura. Se utiliza como materia prima desechos plásticos previamente triturados para la fabricación de filamentos circulares de 6 milímetros de diámetro.

La máquina está constituida principalmente por un tornillo extrusor de Arquímedes, el mismo que se ajusta con precisión dentro de un cilindro con el espacio suficiente para girar, el tornillo tiene la capacidad de empujar el material de un extremo a otro a una velocidad específica. El material polímero es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje, fluye y se mezcla en el cilindro y se obtiene por el otro extremo material con un perfil geométrico preestablecido. Este material recae en un sistema de rodillos el mismo que nos permite una salida continua del material.

La máquina sirve como herramienta de apoyo para el proyecto de investigación WPRC, que permitirá realizar mezclas y formular compuestos plásticos con otros materiales principalmente con residuos de madera.

Palabras clave: Compounding, extrusión, temperatura, plástico.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
MAJOR OF ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

THEME: "CONSTRUCTION OF AN EXTRUDER MACHINE FOR PLASTIC".

Authors: Shingón Collahuazo Oscar Adrián
Uvillus Tipan Gustavo Javier

ABSTRACT

The present technological proposal has as objective the construction of an extruder machine prototype for plastic analyzing the main variables in the process and temperature control pre-ground plastic waste is used as a raw material for the manufacture of 6 millimeters of diameter circular filaments. The machine is mainly constituted by an Archimedes extruder screw that fits precisely inside a cylinder with enough space to turn; the screw has the capacity to push the material from one end to the other at a specific speed. The polymer material is fed by means of a hopper at one end of the machine and due to the thrust action, it flows and mixes in the cylinder and is obtained at the other end with a pre-established geometric profile. This material falls on a roller system that allows a continuous output of the material. The machine serves as a support too for the WPRC research project, which will allow mixing and formulating plastic compounds with other materials, mainly with wood residues.

Keywords: compounding, extrusion, temperature, plastic.



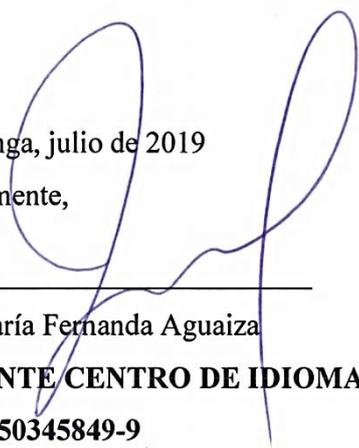
AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, SHINGÓN COLLAHUAZO OSCAR ADRIAN Y UVILLUS TIPAN GUSTAVO JAVIER**, cuyo título versa “**CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PLASTICO**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio de 2019

Atentamente,



Lic. María Fernanda Aguaiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050345849-9

1 INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Shingon Collahuazo Oscar Adrian.

Uvillus Tipan Gustavo Javier.

TEMA APROBADO:

Construcción de una máquina extrusora para plásticos.

CARRERA: Ingeniería Electromecánica.

EQUIPO DE TRABAJO:

Ing. Reinoso Peñaherrera Hector Raúl.

MsC. Ing. Byron Paul Corrales Bastidas

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Región: Sierra.

Provincia: Cotopaxi.

Cantón: Latacunga.

Parroquia: Eloy Alfaro.

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 6 meses.

FECHA DE ENTREGA: Julio del 2019

LÍNEA(S) Y SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Línea De Investigación: Procesos Industriales.

Sublíneas de Investigación de las Carreras: Diseño, Construcción y Mantenimiento de Elementos, Prototipos y Sistemas Electromecánicos.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

El propósito del tema de construcción es una propuesta de tipo productivo e integrador ya que permitirá la fabricación de una máquina extrusora , la que se convertirá en una alternativa de producción a base de material plástico de pequeño alcance y a bajos costos además la maquina servirá como herramienta de refuerzo y demostrativa de procesos de formado a base del plástico , en futuros proyectos de investigación de los estudiantes de Ingeniería Electromecánica los mismos que adecuaran la máquina a su manera para la explicación de diferentes procesos de formado del plástico .

2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Construcción de una máquina extrusora para plásticos.

2.2 Tipo de alcance

Productivo e integrador:

Con la construcción de la máquina extrusora lo que se pretende es conocer los diferentes procesos existentes para la transformación del plástico centrándonos en la máquina extrusora tema fundamental de nuestro proyecto, además se analizarán los diferentes mecanismos existentes para la fabricación de cada uno de los elementos.

2.3 Área del conocimiento:

ÁREA

Ingeniería, industria y construcción.

SUB ÁREA

Industria y producción

Alimentación y bebidas, textiles, confección, calzado, cuero, materiales (madera, papel, plástico, vidrio, etc.), minería e industrias extractivas.

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

El reciclaje industrial es un proceso desconocido del que no suele haber mucha información. En él, intervienen numerosos factores humanos y la última tecnología en mecánica, consiguiendo fabricar máquinas complejas que han sido diseñadas especialmente para este fin: molinos trituradores, extrusoras de un husillo, prensas, desgarradores, guillotinas, etc. [1]

La gestión de los plásticos y la reutilización de los envases en el sector industrial, es un tema que preocupa mucho a la sociedad. El plástico es un material altamente contaminante, y que, además, está presente prácticamente en el 90% de todos los accesorios de uso cotidiano.

Con el objetivo de aprovechar los desechos plásticos en las fábricas y darles una segunda oportunidad, surgen nuevas máquinas que permiten mecanizar y agilizar el proceso de reciclaje.

Concretamente, la máquina extrusora de plásticos, es una de las más importantes en las fábricas de todo el mundo debido a la capacidad para transformar los materiales denominados “termoplásticos”.

La extrusora permite obtener el molde de manera rápida y continua, agilizando el proceso industrial de reciclado y aprovechando al máximo la materia prima. [1]

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio.

La extrusión es un proceso que nos permite obtener plástico derretido en forma de filamentos de diferentes diámetros o formas utilizando como materia prima pellets de plástico reciclado

para ello es necesario una máquina extrusora que nos brinde la función deseada, tomando en cuenta que dicha máquina será se la utilizara como herramienta de investigación en posteriores proyectos de los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

2.5.2 Campo de acción

El proceso que realiza la máquina para el aprovechamiento del plástico reciclado está constituido por la etapa de almacenamiento, donde los residuos plásticos previamente triturados son depositados en una tolva, para posteriormente desplazarse por un tornillo sin fin, el material que pasa por el tornillo en movimiento se desplaza dentro de una cámara calefactora donde el plástico cambia de sólido a líquido, este plástico derretido sale por una boquilla adaptable , tomando la forma de la matriz o boquilla específica.

2.6 Situación problémica y problema

2.6.1 Situación problémica:

El aumento en la producción de artículos hechos de materiales poliméricos en los últimos años ha sido grande. Actualmente el volumen de polímeros y plásticos producidos supera el de los metales. En muchas aplicaciones los polímeros ya han remplazado a los materiales convencionales tales como metales, madera, y fibras naturales como el algodón y la lana. [2]

Los polímeros son un grupo de materiales compuestos de largas moléculas con uniones covalentes, que incluyen los plásticos y los cauchos. Los polímeros han existido en forma natural desde los orígenes de la vida, en formas tales como el ADN, ARN, proteínas, entre otros. El uso de materiales poliméricos está asociado en sus inicios a nombres como: Thomas Hancock (1820), quien inventó el proceso de "masticación" del caucho para fluidizarlo, y Charles Goodyear (1839), quien descubrió que las propiedades del caucho mejoraban al calentarlo con azufre, dando lugar a lo que se conoce como vulcanización. El primer polímero sintético comercializado fue la baquelita, resina fenol-fornaldehído, en 1910.

Muchos inventos y avances en la ciencia y tecnología de los polímeros han ocurrido desde aquellos tiempos. Actualmente, existen programas de investigación en el área de los polímeros en casi todas las universidades de los países industrializados, así como en las grandes empresas multinacionales. El presente proyecto pretende ofrecer una visión general de una clase de materiales poliméricos, los termoplásticos, sus características, y principalmente sus procesos de fabricación, y algunas variaciones de los mismos que han dado lugar a materiales compuestos, espumas y otros. [2]

2.6.2 Problema

La falta de instrumentos o tecnologías que permitan observar los diferentes procesos de fabricación de plástico, conllevan a construir una máquina que permita conocer el proceso de extrusión a base de plástico reciclado, el mismo que será implementado en los laboratorios de la universidad técnica de Cotopaxi.

2.7 Hipótesis o formulación de pregunta científica

La construcción de la máquina extrusora permitirá observar uno de los tantos procesos de producción existentes, a base del material plástico, permitiendo establecer parámetros necesarios al momento de fabricación de cada uno de los componentes, así como también la selección del sistema de control correspondientes para arrancar el funcionamiento de la máquina.

2.8 Objetivo(s)

2.8.1 Objetivo general

Construir una máquina extrusora para plásticos utilizando diferentes parámetros de diseño involucrados en cada uno de los componentes, que permita procesar polietileno de baja densidad en forma de pellets, para observar el proceso de extrusión y obtener material plástico extruido.

2.8.2 Objetivos específicos

- Seleccionar el tipo de extrusora plástica a construir que cumpla con las características necesarias para la obtención de material plástico derretido.
- Analizar las diferentes variables involucradas en el diseño que nos faciliten la construcción de la máquina.
- Construir una máquina extrusora para elaboración de productos a base de plástico reciclado.
- Realizar pruebas de funcionamiento necesarias de la máquina extrusora.

2.9 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Tabla 2. 1. Tabla de objetivos con sus respectivas actividades

OBJETIVO	TAREAS/ACTIVIDADES	Resultados
Seleccionar el tipo de extrusora plástica a construir que cumpla con las características necesarias para la obtención de material plástico derretido	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de los tipos de plásticos sus características y propiedades. 2. Conocer la temperatura a la cual el plástico cambia de estado sólido a líquido sin combustionar. 	Se logró conocer la temperatura óptima para la extrusión la cual varía dependiendo del tipo de plástico de 170 a 230 grados Celsius, no se debe exceder los 250 grados ya que el plástico empieza su etapa de combustión.
Analizar las diferentes variables involucradas en el diseño que nos faciliten la construcción de la máquina.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión de tesis y trabajos científicos elaborados para conocer acerca de la máquina. 2. Realización de reingeniería para que la máquina cumpla con los objetivos específicos. 3. Búsqueda de programas que nos permitan la realización de simulación del diseño a construir. 	Se logró realizar las modificaciones correspondientes de un diseño en particular con el propósito de mejorar las características de la máquina en capacidad y tiempo de producción.
Construir una máquina extrusora para elaboración de productos a base de plástico reciclado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fabricación de elementos mecánicos que nos permitirán la construcción de la máquina. 2. Selección de elementos y equipos eléctricos necesarios. 	Se logró la fabricación de los elementos mecánicos como tornillo, cilindro, tolva soportes y uniones mecánicas de manera correcta. Se seleccionó correctamente los elementos eléctricos como motor, contactor, breakers, relé térmico, temporizador on delay, resistencias eléctricas y controladores de temperatura.
Realizar pruebas de funcionamiento necesarias de la máquina extrusora.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar la temperatura necesaria para el cambio de estado sólido a líquido 2. Realizar un manual de operación para facilitar el correcto uso de la máquina. 	Se logró operar de manera correcta la máquina obteniendo una variación de la densidad, color y resistencia del plástico dependiendo de la variación de la temperatura en las resistencias.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción

La extrusión es un proceso de conformado que se utiliza para fabricar objetos con una sección transversal definida y fija. Al material de partida, generalmente una preforma cilíndrica, aplicando una compresión sobre la preforma, a salir a través de un orificio con la forma de la sección transversal deseada. Así la geometría del orificio de salida queda grabada en toda la longitud del producto extruido. [3]

Hoy día el proceso de extrusión es muy utilizado para obtener piezas de gran longitud con una sección constante como pueden ser barras, perfiles y tubos. Las principales ventajas del proceso de extrusión son:

- Capacidad para crear secciones transversales bastante complejas.
- Se reducen los riesgos de fractura, ya que el material solamente va a estar sometido a esfuerzos de compresión.
- No se derrocha material.
- El producto extruido adquiere generalmente una muy buena terminación superficial.

Los materiales extruidos comúnmente incluyen metales, polímeros, cerámicas, el hormigón y productos alimenticios. No obstante nosotros nos centraremos en el proceso de extrusión para plásticos únicamente.

Atendiendo a la temperatura del proceso la extrusión puede ser en frío o en caliente. El equipo para la extrusión consiste básicamente en 3 elementos:

1. un elemento extrusor que aplica la fuerza.
2. Un contenedor en el cual se deposita el material a extruir .
3. Una matriz a través de la cual se fuerza al material a pasar para que adquiriera la forma. [3]

3.2 Antecedentes de la investigación

Según el primer modelo industrial del que se encuentra evidencia, fabricado por J. Bramah en 1795, la extrusión es un proceso utilizado a escala mundial desde inicios del siglo XIX para la fabricación de tuberías de plomo; también este proceso fue útil para procesar productos cerámicos, pastas alimenticias, barras de hielo, electrodos de carbono, minas de grafito para lápices, vidrios, y otros materiales.

La extrusión podría definirse como: “El proceso de obtención de longitudes ilimitadas con una sección transversal constante, conformando el material al obligarlo a pasar a través de una boquilla bajo condiciones controladas de temperatura y presión, como lo son cintas, planchas, barras, películas, tubos, perfiles, etc. ” La materia prima utilizada en el proceso de extrusión

de plásticos son los polímeros, el primer polímero se origina como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar.

En el proceso de extrusión la materia prima viene en varias formas dependiendo principalmente de la utilización y el diseño de la extrusora; hoy en día los polímeros vienen principalmente en forma de pellets los cuales son pequeños, sólidos y cortos cilindros que vienen de un proceso anterior conocido como peletizado el cual permite el fácil acceso del material desde la tolva al husillo. [4]

Los sistemas de producción se encuentran directamente vinculados con los procesos de manufactura, es decir con los procesos de conformación plástica de materiales, que permitan optimizar su consumo, paralelamente los tiempos de producción.

3.3 Procesos de fabricación de plásticos.

Los plásticos son materiales poliméricos orgánicos (compuesta por moléculas orgánicas gigantes) que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de procesos como extrusión, el moldeo, la inyección y el hilado, entre otros.

En términos técnicos, la producción de plásticos es un proceso llamado polimerización: reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otra en la que se repiten las estructuras de las primitivas dando lugar al polímero. Una vez creados los compuestos poliméricos, en forma de resina, polvos, granza, pasta etc. Se lleva a cabo la transformación de los mismos por muy diversos procesos como inyección, extrusión, termo conformado, soplado, calandrado, etc. Si se trata de productos semielaborados requieren una manipulación posterior como mecanizado, ensamblado, encolado, etc. Que dará lugar al producto final acabado. [2]

3.4 Mano de obra requerida en el proceso de fabricación.

La mano de obra requerida para el proceso de fabricación de los plásticos, no tiene que ser esencialmente especializada. Simplemente debe conocer todo las máquinas y herramientas que se utilizaran para la elaboración de los productos plásticos.

En nuestros días, la fabricación de diversos productos plásticos se realiza en serie a través de máquinas automatizadas, por lo que solamente es necesario el personal para controlar la producción y el personal que dará mantenimiento a la maquinaria. [5]

3.5 Materias Primas y/o Materiales utilizados en el proceso de fabricación.

Las materias primas utilizadas en la producción de plásticos han variado mucho a lo largo del tiempo. En un principio, la mayoría de los plásticos se fabricaban con resinas de origen vegetal, como la celulosa (del algodón), el furfural (de la cáscara de la avena), aceites (de semillas), derivados del almidón o el carbón. La caseína de la leche era uno de los materiales no vegetales utilizados. [5]

En la actualidad, la mayoría de los plásticos se elaboran con derivados del petróleo.

3.6 Plásticos

Los plásticos comprenden una gran variedad de materiales formados por grandes moléculas, llamadas polímeros. Los miles de distintos plásticos se fabrican al combinar distintas sustancias para formar grandes cadenas moleculares.

3.6.1 Plásticos de ingeniería

Los plásticos de ingeniería son cada vez más populares en diseño de máquinas y equipos, debido a sus propiedades específicas, muchos plásticos son iguales o superiores en innumerables formas, a los convencionales materiales de diseño. En muchos casos, los plásticos de ingeniería, ya han reemplazado los materiales convencionales debido a sus propiedades de rendimiento superior. Las principales ventajas de los plásticos de ingeniería en comparación con los metales convencionales son: reducción de peso, resistencia al desgaste, buena absorción de vibraciones y el hecho de que los plásticos son más fáciles de maquinar. Además, su alto nivel de resistencia química, la fuerza térmica creciente de varios tipos de plástico y posibilidades mejoradas de reciclaje, son argumentos positivos adicionales para decidir sobre plásticos de ingeniería [6].

3.6.2 Densidad del plástico.

La industria internacional del plástico adopta una codificación para siete tipos de materias primas. Ha sido grabada en una cantidad cada vez más grande de productos para facilitar su identificación. Eso se observa con más frecuencia en artefactos de ciclo de vida corta, como embalajes. La legislación en defensa del consumidor y las normas técnicas vetan en el mundo todo el uso del plástico reciclado en embalajes de alimentos y medicinas, juguetes y artículos médico-hospitalarios. La mayoría de los fabricantes de productos plásticos codifican sus productos con un código internacional, que facilita su identificación, la separación y el reciclaje. La identificación que consta de un número de 1 a 7, según la resina de origen esto lo podremos observar en el anexo I: [6]

3.6.3 Tipos de Plásticos

En función de su estructura y su comportamiento existen 3 tipos diferentes de plásticos: Los termoplásticos, los termoestables y los elastómeros.

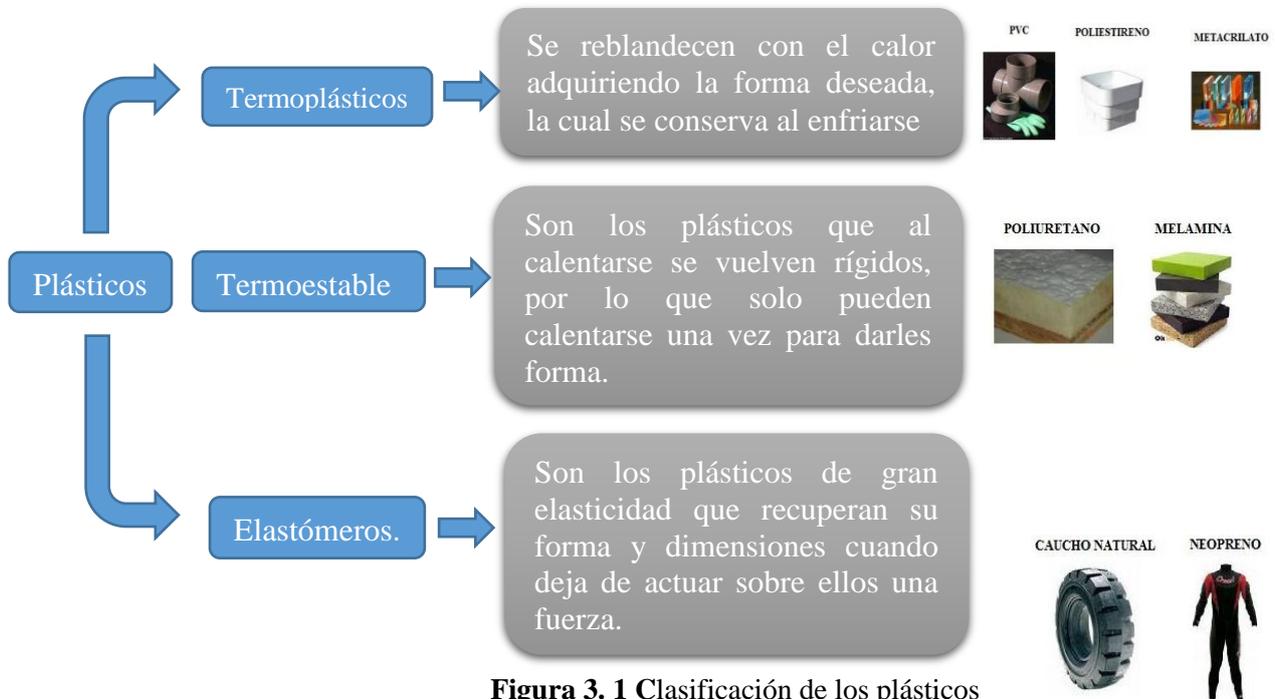


Figura 3. 1 Clasificación de los plásticos

3.7 Los termoplásticos

Un termoplástico, a veces escrito como termo plástico, es un tipo de plástico fabricado con un polímero que se vuelve un líquido homogéneo cuando se calienta a temperaturas relativamente altas y que cuando se enfría es un material duro en un estado de transición vítrea. Cuando se congela es un material frágil. Todas estas características son reversibles, lo que hace posible que los termoplásticos se puedan calentar y enfriar repetidamente sin que se pierdan estas cualidades y haciendo de los termoplásticos un material fácilmente reciclable.

3.7.1 Propiedades más destacadas

Las principales propiedades de los materiales termoplásticos que han hecho de ellos que sean tan utilizados en todo tipo de industrias y fábricas son:

1. Pasan por estado líquido al calentarse antes de pasar a estado gaseoso, es decir, se pueden derretir.
2. Tienen buena plasticidad con aplicación de calor, lo que permite moldearlos fácilmente
3. Se pueden disolver con algunos disolventes
4. Pueden absorber algunos solventes y, cuando lo hacen, se hinchan
5. Ofrecen buena resistencia a la deformación por fluencia (deformación irre recuperable)

3.8 PROCESOS DE MANUFACTURA DE LOS PLÁSTICOS

Dependiendo del tipo de plástico que se desea emplear existen diferentes formas de manufacturarlo, como se mencionó anteriormente, los termoplásticos son producidos por procesos de inyección, extrusión, soplado, termoformado; para los plásticos termoestables se encuentra el moldeo por compresión, el moldeo por transferencia.

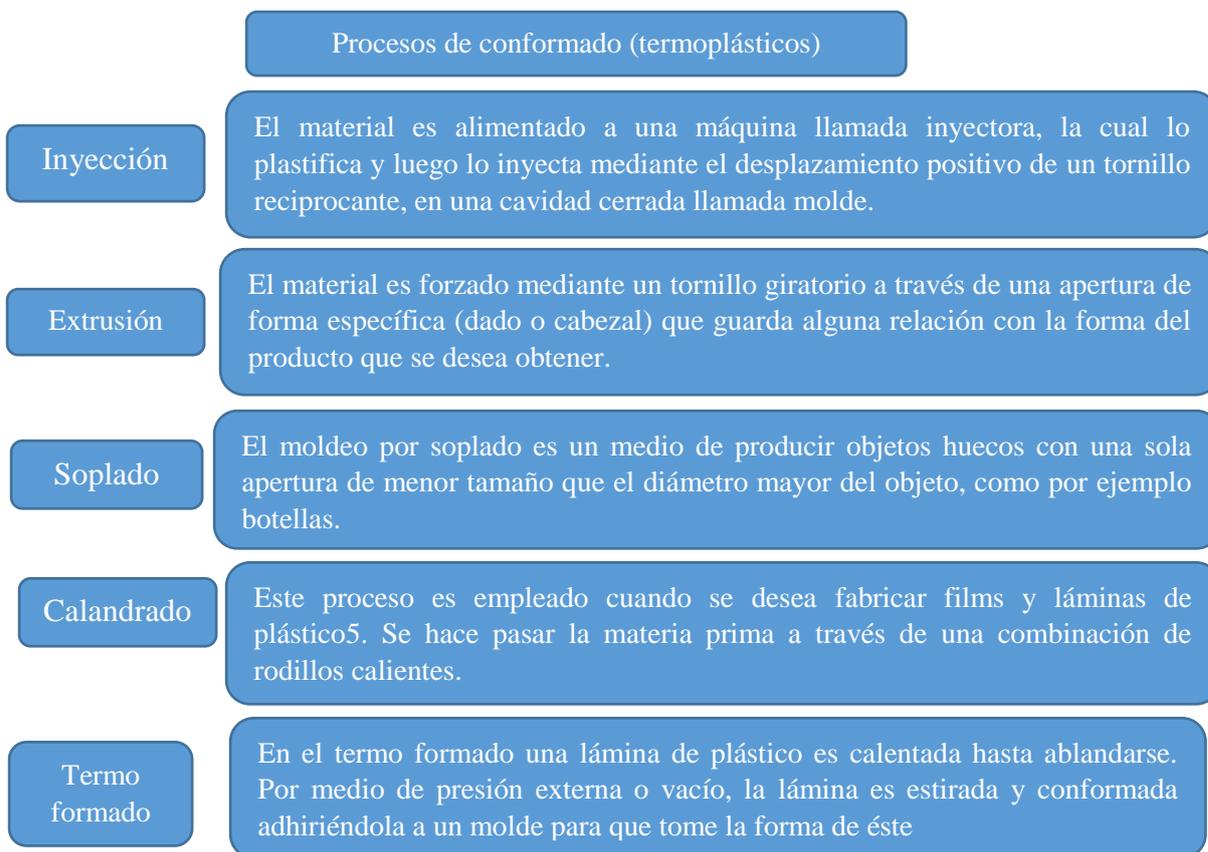


Figura 3. 2. Clasificación de procesos de manufactura

3.9 Máquinas extrusoras de plástico

Es uno de los procesos más importantes de obtención de plásticos en volumen y producción. Es un proceso continuo, en el que la resina es fundida por la acción de temperatura y fricción. Es forzado a pasar por un dado que le proporcione una forma definida y enfriada finalmente para evitar deformaciones permanentes, se fabrican mediante este proceso, tubos, perfiles, películas, mangueras, laminas, filamentos y pellets.

Una máquina de extrusión consta de un eje metálico central con alabes helicoidales, llamado husillo o tornillo, instalando dentro de un cilindro metálico llamado cilindro, revestido con una camisa calefactora de resistencia eléctrica. En un extremo se encuentra la tolva donde ingresa la materia prima, en ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo, compuesto por un motor y un sistema de reducción de velocidad. En la punta del tornillo, se ubica la salida del material y el dado que da la forma final al producto plástico.

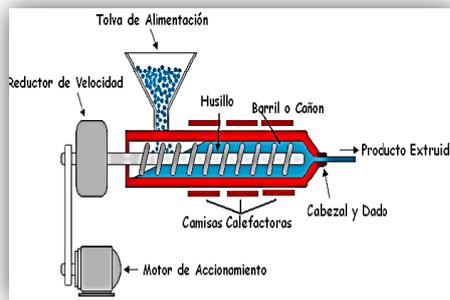


Figura 3. 3. Diagrama de extrusión

Fuente: [7]

3.9.1 Funcionamiento

La extrusión de plástico es un proceso industrial que utiliza maquinas extrusoras para procesar las materias primas y de reciclaje. El flujo continuo del material, la presión, temperatura y empuje permiten hacer pasar el material fundido por medio de un molde para darle la forma deseada. [8]

La materia prima que se encuentra en forma de gránulos para a través de un embudo que abastece constantemente al cilindro o "cañon" calentado en cuyo interior se encuentra un husillo que empuja el material a lo largo del cilindro y a la vez genera presión y aumenta la temperatura aún más para fundir y homogenizar la materia prima. [8]

En las máquinas extrusoras que basan su funcionamiento en el husillo o tornillo extrusor, existen dos principales partes: el alma que es el cuerpo del husillo y los filetes que ayudarán al transporte del material. Entre el alma y los filetes se forma un canal donde se receipta el material, el alma tiene un diámetro el cual no es constante y varía debido a que en el husillo se denotan tres zonas a lo largo de la operación:

Zona de Alimentación: Se ubica en el inicio de la extrusora y se caracteriza por poseer la mayor profundidad en el canal, eso significa que el alma tendrá el menor diámetro de todo el husillo. El material ingresa a esta zona y cumple con la función de compactar y transportar el polímero a la siguiente zona

Zona de Transición: Es la zona intermedia del husillo en la que el diámetro del alma va aumenta manera progresiva, por lo tanto la profundidad del canal se reduce en comparación con la zona de alimentación, su principal función es fundir al material y trasportarlo a la zona de dosificación [9].

Zona de Dosificación: Se ubica al final de la extrusora, el diámetro del alma aumenta de forma significativa y la profundidad del canal es casi nula. Esta zona abarca toda la presión

generada por la extrusora y dosifica el polímero en estado de fundición hacia la boquilla de salida

3.9.2 Ingeniería general del proceso de extrusión

En la actualidad existen diferentes tamaños de extrusoras industriales en función de la cantidad de material que se extruye y el diámetro del husillo, en la tabla se enlistan los tamaños más comunes de extrusoras de un solo tornillo

Tabla 3. 1. Tamaño de extrusoras industriales por el diámetro de husillo

Tamaño en milímetros	Tamaño en pulgadas
25	1
30	1 ¼
50	2
60	2 ½
80	1 ¼
110	1 1/40
150	6

Fuente: [9]

La capacidad de las máquinas antes mencionados varían entre 2kg/h para la máquina de 24 mm, hasta aproximadamente 450kg/h para las máquinas de 200mm. Propone siete especificaciones básicas para seleccionar un extrusor:

Determinación de las resinas por procesas

Definición del propósito fina de la extrusora

Requerimientos de alimentación

Identificación de los elementos complementarios del proceso

Identificación de los equipos auxiliares para el manejo de materiales primas

Especificaciones de las fuentes de alimentación de la potencia

Información de los estándares de la planta o laboratorio donde se implantara

3.9.3 Capacidad del extrusor

La capacidad del extrusor en libras por hora varía con el diámetro del cilindro medido en pulgadas. se considera que los sistema de transferencia de energía mecánica tiene una eficiencia de 75% que se transmite desde la parte motriz al husillo ; de ahí que la capacidad dependa también de la potencia suministrada por el motor en hp , del calor especifico de material y del gradiente de temperatura

3.9.4 Características principales de una extrusora

Producción máxima (kg/hora).

Potencia de la extrusora y presión máxima admisible de salida.

Facilidad de limpieza (cilindro autolimpiable, etc.).

Facilidad de manejo y control.

Variedad de accesorios.

Material por tratar.

El proceso de extrusión consiste en hacer fluir un material plastificado a través de un dado en el cual se le da la forma deseada, para este caso serían hilos de pet. El proceso de extrusión de polímeros solidos se puede dividir en cuatro etapas principales como se observa en la figura.

3.9.5 Diagrama de proceso

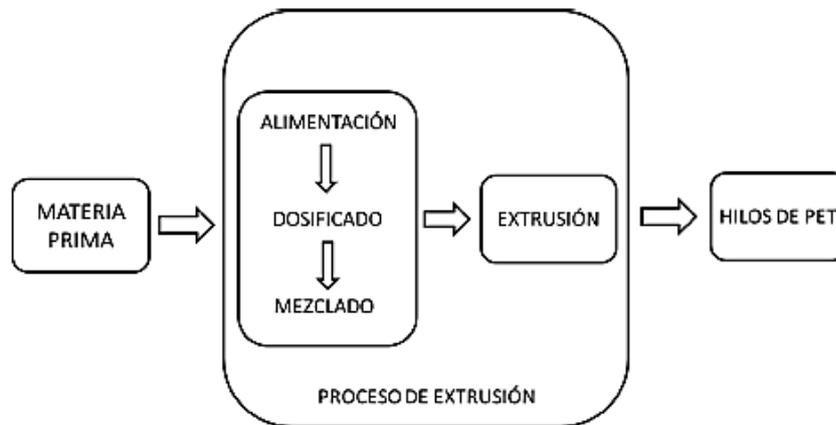


Figura 3. 4. Proceso de extrusión

3.9.6 Ciclo de trabajo

Tabla 3. 2. Descripción del proceso de extrusión

Proceso	Descripción
Alimentación	La materia prima ingresa en forma de gránulos pet a los silos de almacenamiento
Dosificación	Los insumos son pesados y descargados en la proporción adecuada según la formula seleccionada
Mezclado	El material dosificado se mezcla para que ingrese a la tolva
Extrusión	Proceso de transformación de la materia prima en forma de gránulos de hilo pet

3.10 Sistema mecánico de la máquina.

3.10.1 Propuesta de análisis de la parte mecánica.

Para el diseño de la máquina, se pondrá énfasis en la selección o diseño de componentes mecánicos que compone la extrusora y tener el conocimiento suficiente para lograr el diseño por medio de los cálculos necesarios.

Es por ello que se debe analizar a detalle todas las partes que están involucradas en la maquina extrusora, a continuación se enlistan las partes principales y los criterios importantes que se deben tomar en cuenta, para el diseño o selección de las partes mencionadas.

3.10.2 Sistema de alimentación, transporte y circulación de materia prima.

Consiste en un tornillo cilindro y de la tolva para la materia prima. La unidad plastificadora está integrada, por motivos de construcción en base a elementos individuales por lo general en forma libre.

3.10.3 El tornillo de extrusión.

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal (figura 3.5). El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material. La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del tornillo. Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete (θ) y el paso de rosca (w).

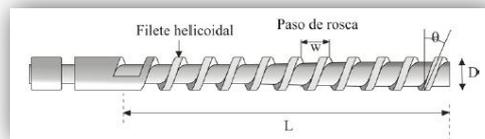


Figura 3. 5. Tornillo de extrusión

Fuente: [8]

3.10.4 Cilindro.

El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo como se muestra en la figura 3.6. La superficie del cilindro debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportará el material y permitir así que este fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo, ya que éste es mucho más fácil de reemplazar. [8]

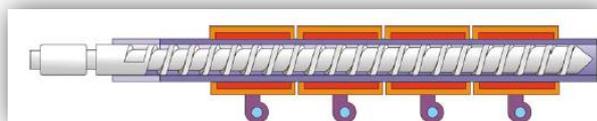


Figura 3. 6. Sistema cilindro de calefacción-tornillos

Fuente: [8]

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, al menos tres, con control independiente en cada una de ellas, lo que permite conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla. [8]

3.10.5 Garganta de alimentación

El cilindro puede estar construido en dos partes, la primera se sitúa debajo de la tolva y se denomina garganta de alimentación. Suele estar provista de un sistema de refrigeración para mantener la temperatura de esta zona lo suficientemente baja para que las partículas de granza no se adhieran a las paredes internas de la extrusora.

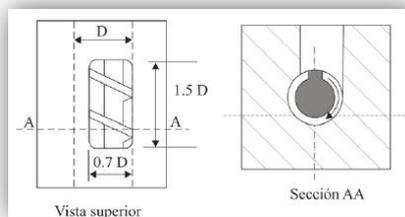


Figura 3. 7. Garganta de alimentación.

Fuente: [10]

3.10.6 Tolva

La tolva es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material.

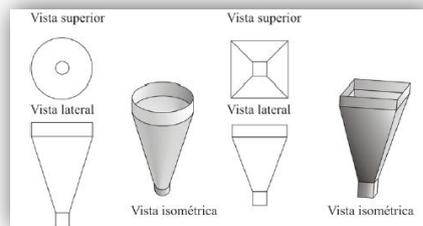


Figura 3. 8. Tolva.

Fuente: [10]

3.10.7 Cabezal y boquilla .

El cabezal es la pieza situada al final del cilindro, que se encuentra sujetando la boquilla y por lo general manteniendo el plato rompedor. Generalmente va atornillado al cilindro. El perfil interno del cabezal debe facilitar lo más posible el flujo del material hacia la boquilla. La figura 3.9 muestra un sistema cabezal-boquilla de forma anular. Las boquillas se pueden clasificar por la forma del producto, teniendo así boquillas anulares como la mostrada en la figura 3.9 [8]

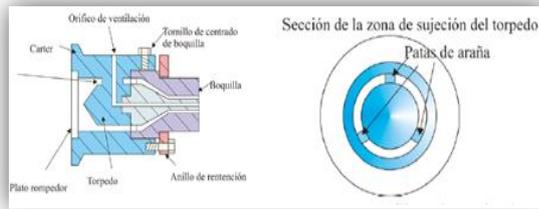


Figura 3. 9.Boquillas anulares.

Fuente: [8]

Las dimensiones de la boquilla no son exactamente las mismas que las del producto extruido.

3.11 Sistema de transmisión de potencia.

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificado como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción.

En la gran mayoría de los casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación.

3.11.1 Tipos de transmisiones

Entre las formas más habituales de transmisión están:

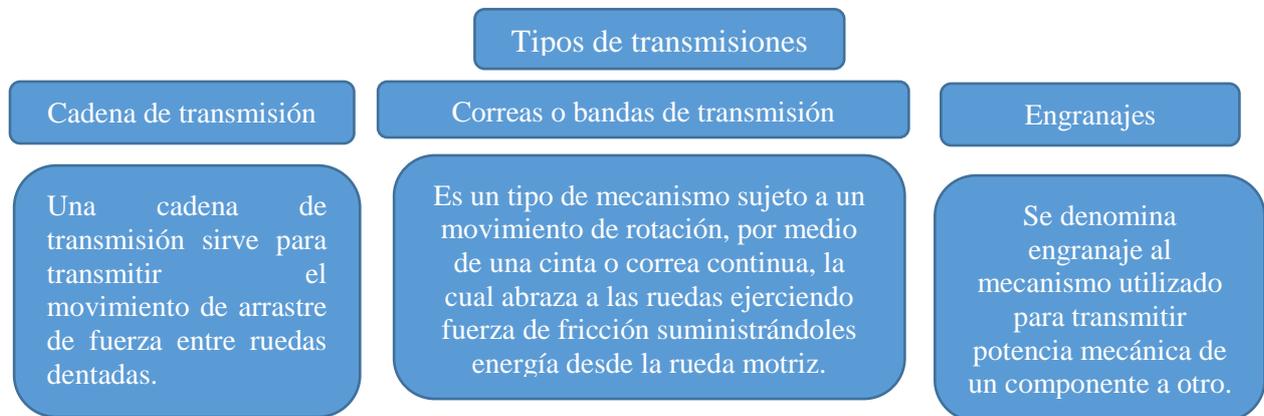


Figura 3. 10. Clasificación de los sistemas de transmisión

3.11.1.1 El Motor:

El motor de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla.

Los motores incorporados en las líneas de extrusión son eléctricos y operan con voltajes de 220 y 440 V. Las extrusoras modernas emplean motores DC (corriente continua), ya que permiten un amplio rango de velocidades de giro, bajo nivel de ruido y un preciso control de

la velocidad. Se recomienda que la potencia de diseño sea de 1 HP por cada 10 a 15 lb. /h de caudal, sin embarco para las aplicaciones ffe alto requerimiento de mezclado esta relación puede llegar a ser de 1HP por cada 3a5 lb/h. [11]

3.11.1.2 Caja reductora

Las cajas reductoras son las encargadas de reducir las altas revoluciones proporcionadas por los motores a una velocidad utilizable por las máquinas.

Además de reducir la velocidad se deben contemplar las posiciones de los ejes de entrada y salida y la potencia mecánica a transmitir.

Para potencias bajas se utilizan moto-reductores que son equipos formados por un motor eléctrico y un conjunto reductor integrado



Figura 3. 11. Motor y caja reductora

Fuente: [11]

Hay diferentes tipos de reducciones por ejemplo 4:1, 5:1 etc. Esto significa que cuando el motor gira varias revoluciones éstas son reducidas a solamente una por medio de la caja reductora. La reducción de revoluciones puede realizarse solamente por engranajes o por combinación de engranajes y poleas.

3.12 Sistema térmico

3.12.1 Temperatura de fusión para la inyección de plásticos

La temperatura de fusión de los materiales para inyección de plásticos varía de unos a otros. Deben llegar todos los materiales para poder ser inyectados.

En los amorfos, fluidifican entre los 130 y los 160°C si se trata de PS (poliestireno) o PVC, pero a más de 200°C si son policarbonatos.

Los calentadores por resistencias eléctricas se necesitan en toda máquina extrusora durante el arranque. Los calentadores del cilindro y cabezal son bandas de resistencias eléctricas las cuales necesitan una buena superficie de contacto. Los calentadores son importantes, pero normalmente el motor es la fuente de calor más importante a través de la fricción en el cilindro, con excepción de algunas máquinas pequeñas o de doble tornillo. La precalefacción también puede proporcionar hasta el 25% de la energía [12].

3.12.1.1 Resistencias tipo abrazadera.

Este dispositivo permite la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro, necesaria para lograr la fundición del plástico (PET).



Figura 3. 12. Resistencias tipo abrazadera.

Fuente: [13]

3.12.2 Control de Temperatura.

Los elementos del control de temperatura deben ser tomados en cuenta, para relacionarlos con el problema general del control eficaz. La colocación del elemento sensible a la temperatura, la baja conductividad térmica de los materiales, las masas relativas de la máquina y del material de paso, el calentamiento por presión y por trabajo mecánico, las secciones de material en flujo, la velocidad de flujo y el tiempo de calentamiento por las zonas y las características de viscosidad del material. Las termocuplas deben incorporarse a la pared del cilindro con un contacto térmico lo mejor posible. Si así se hace, la temperatura de la pared interior en el grupo seleccionado no será muy inferior (aproximadamente unos 2 °C) a la marcada por la termocupla, debido a la buena conductividad térmica de la pared de acero; pero podemos esperar que la temperatura del plástico que fluye sea bastante diferente según las condiciones de la zona, la mezcla y situación del fundido y la sección del plástico que se calienta. Al controlar la temperatura de esta termocupla en forma automática se controla la temperatura de una gran masa de metal, a través de la cual está fluyendo despacio una masa de plástico. La pérdida de calor varía con la temperatura de la pared exterior o camisa de la máquina de extrusión. Cualquiera que sea el tipo de control utilizado, no se debe permitir amplias fluctuaciones en la fuente térmica o en pérdidas incontroladas, dejando el sistema de control para corregir las pérdidas pequeñas de calor que supongan un pequeño porcentaje. [12]

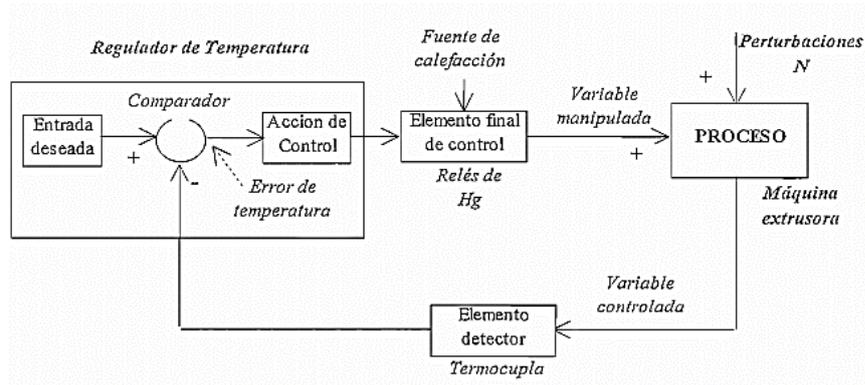


Figura 3. 13. Diagrama de control de temperatura

Fuente: [14]

3.12.3 Termocuplas, pirómetros y contactores

Las termocuplas son sensores encargados de percibir la señal calorífica de las resistencias y enviarla al pirómetro, está formada en su interior por dos cables un negativo y un positivo. Normalmente se utiliza una termocupla por cada tres resistencias colocadas en el cañón, una para el filtro, y una para el dado, Una termocupla está formada por dos alambres hechos de distintos metales y se unen en una junta.

3.13 Bastidores o Estructuras de Maquinas

De manera conceptual, un bastidor o estructura para máquina es un armazón de un material seleccionado de acuerdo a la aplicación el cual soportara o mantendrá los componentes o sistemas de una máquina; su tipo variara según sea su aplicación, tamaño, componentes estructurales, diseño, maquinabilidad, materiales y costo.

Para realizar el diseño de una estructura para máquina se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Ambiente o espacio donde se realizara la instalación de la máquina.
2. Facilidad de instalación y mantenimiento del equipo.
3. Carga aplicada, frecuencia de operación, tipo de operación y producto o material a ser procesado.
4. Interacción con otros equipos o sistemas estructurales.
5. Deformaciones y fuerzas aplicadas por los diferentes sistemas o componentes de la máquina.
6. Vibración generada por los componentes de la máquina y equipos externos.
7. Tolerancias de instalación e interacción de partes de la máquina.
8. Tipo de material para su construcción y procesos de maquinación.

Estos parámetros destacan diferentes aspectos al momento de la construcción y selección de materiales como por ejemplo:

1. Resistencia mecánica y rigidez.
2. Deflexión.
3. Limitación de vibración
4. Reducción de ruido
5. Durabilidad de los materiales
6. Acabado, tamaño y peso.
7. Complejidad del diseño y costo. [15]

3.14 Procesos de mecanizado

El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión los mismos que se detallan a continuación en la figura 3.14.

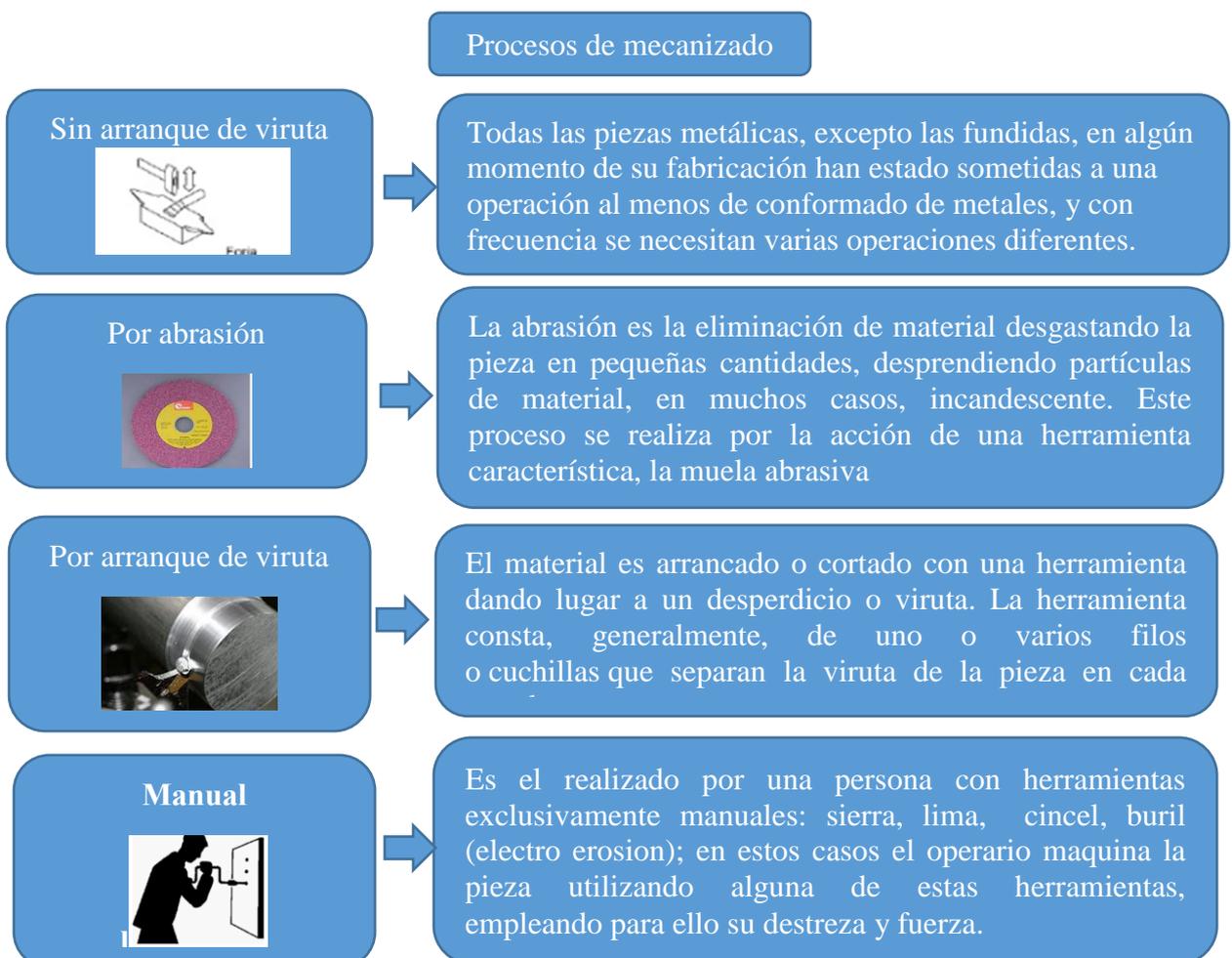




Figura 3. 14 tipos de mecanizados

3.15 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 3. 3. Tabla de variables

Variables	Concepto	Indicadores	Ítems
Independiente Extrusora de plástico	Es una máquina que ayuda a procesar el plástico cambiando su estado sólido a líquido.	-Capacidad de la máquina. -Temperatura de la cámara. -	¿Qué cantidad de plástico se dispone? ¿A qué temperatura el plástico se derrite? ¿Cómo mesclar el plástico de manera uniforme?
Dependiente Nuevos productos	Productos fabricados a base de plástico reciclado.	- Tipo de plástico -Temperatura de fusión -Densidad -Resistencia	¿Cuál es el plástico más duro? ¿A qué temperatura el plástico se derrite? ¿Cuál es la densidad de todos los plásticos?

3.16 RELACIÓN DE CAUSA Y EFECTO

La matriz de causa y efecto nos permite conocer la afectación que produce el plástico al medio ambiente al no ser reciclado y la manera conveniente de aprovechar dicho residuo plástico en la creación de nuevos materiales

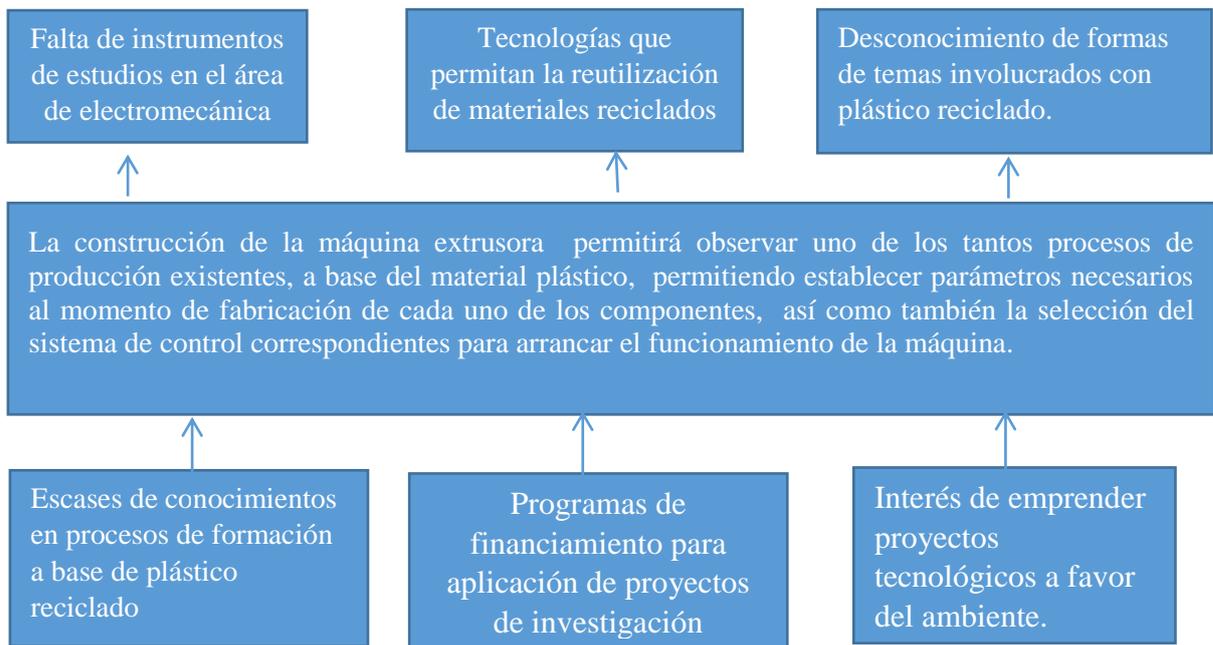


Figura 3. 15. Matriz causa efecto

4 METODOLOGÍA

Dentro del proceso de diseño es importante establecer una metodología para el desarrollo de un proyecto, la cual servirá de guía para definir el objeto a diseñar. Partiendo de una necesidad creada, el equipo de trabajo debe establecer una estrategia bajo la cual va a enfrentar el problema, estableciendo los objetivos y la secuencia de actividades más relevantes, que le permitan alcanzar las metas propuestas en el tiempo establecido

4.1 Alcance

El diseño de la maquina la cual es objeto de estudio del presente proyecto refiere su diseño exclusivamente a un interés de experimentación, posiblemente al uso dentro de un laboratorio, con la finalidad de experimentar con diferentes materiales y así expandir los conocimientos acerca de tratamientos y procesos que se le dan al plástico Pet, también puede ser utilizado para realizar “compounding” que significa la mezcla de dos tipos de plásticos distintos para formar otro tipo de plástico pero con las propiedades de los dos anteriores. El diseño no está dimensionado para una aplicación industrial. Pero se debe mencionar necesariamente que es posible la adecuación del proyecto hacia un nivel industrial haciendo modificaciones a la parte de cálculos, debido a que los cálculos no necesitan ser modificados en demasía. Con el conocimiento y estudio previo de los procesos y tratamientos que se deben dar a los plásticos se puede expandir y socializar el concepto de procesar los plásticos, desde un acopio más eficiente, trituración y extruido de plástico. Este proyecto una vez socializado puede ayudar

en nuestro medio a darle al plástico en desecho un valor agregado después de su tratamiento respectivo, esto significa crear más emprendimiento industrial mejorando oportunidades y creando empleos.

4.2 Bosquejo

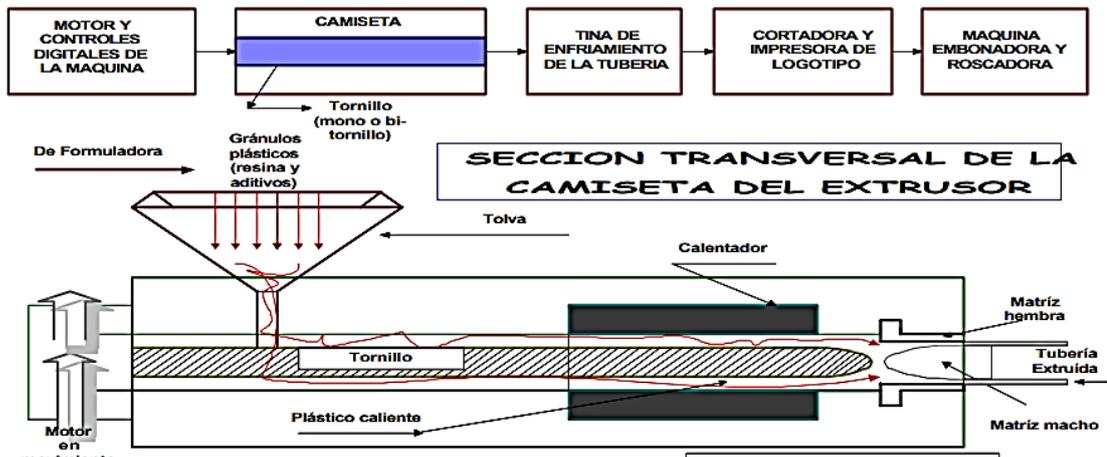


Figura 4. 1. Bosquejo del cuerpo extrusor

Fuente: [16]

4.3 Metodología para la selección de alternativas para la construcción de la máquina extrusora

4.3.1 Especificaciones técnicas

Para la construcción de la máquina extrusora es necesario establecer una selección adecuada de cada uno de los elementos por lo cual se procederá a realizar mediante una matriz de selección denominada pugh, esta matriz estará involucrada en la selección de cada uno de los elementos enfocándonos más al costo de adquisición o fabricación del elemento de la máquina

4.3.1.1 Matriz de selección pugh

Fue desarrollada por el Profesor Stuart Pugh en 1981. El nombre de la Matriz se debe a la generación de una tabla en la que se presentan diferentes opciones y el resultado de la comparación de las características comunes que las representan. Esta herramienta se utiliza para seleccionar entre varias alternativas, aquella que brinde los mayores beneficios realizando una comparación por pares de todas las opciones disponibles de las propiedades que presentan estas (criterios de selección). Prioriza conceptos u opciones cuando sólo uno de ellos puede ser seleccionado [14]

El procedimiento de la Matriz Pugh describe los siguientes pasos:

1. Definir el sistema o subsistemas.

2. Determinar los criterios de selección que servirán para la comparación por pares; los criterios deben ser conceptualmente independientes entre sí.
3. Para definir los criterios de selección se recomienda definir el subsistema a ser evaluado, luego describir las opciones disponibles para la selección e identificar los criterios.
4. Como último paso elaborar la Matriz de Pugh indicando los criterios a seleccionar y evaluarlos unos con otros como se muestra en la Tabla 4.1

El Sistema de calificación para la matriz se basará en puntuaciones:

- 0 = cuando un criterio es inferior al comparado.
- 0,5 = cuando el criterio tiene el mismo peso que el comparado.
- 1 = cuando el criterio es superior al comparado.

Tabla 4. 1.Ejemplo de Ponderación de la Matriz Pugh

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Criterio 1		1	1	3	50%
Criterio 2	0.5		0,5	2	30%
Criterio 3	0	0		1	20%
				6	100%

Fuente: [14]

4.4 Ecuaciones para el dimensionamiento de la maquina extrusora

4.4.1 Dimensionamiento del husillo

Una camisa con husillo de un canal es el tipo de elemento a ser diseñado, donde el husillo transmitirá el movimiento del material y la camisa se mantendrá fija.

La Figura 4.2 muestra el husillo con sus principales parámetros, por tanto, las dimensiones utilizadas para el torneado del husillo son:

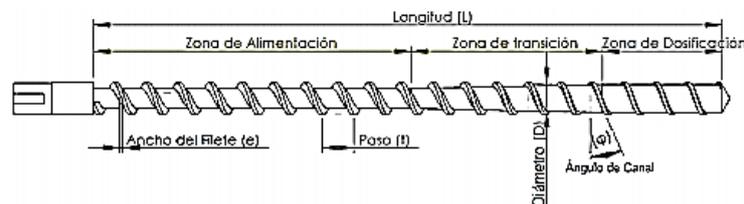


Figura 4. 2. Parámetros del husillo

Fuente: [13]

Las extrusoras de plásticos utilizan husillos de fluctúan su principal medida que es el diámetro entre 9 a 580 mm, sin embargo la Tabla 4.2 muestra las medidas de diámetro, paso, ancho de los filetes y profundidades de los canales en la zona de alimentación y dosificación, recomendables para el procesamiento de plásticos.

Tabla 4. 2. Parámetros geométricos del husillo

Diámetro D (mm)	Paso t (mm)	Profundidad del canal en la zona de alimentación, h1	Profundidad del canal en la zona de dosificación, h2	Ancho de los filetes, e
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

Fuente: [17]

Para el diseño del husillo nos basaremos en la norma CPE INEN 003 la cual nos dará las recomendaciones adecuadas para las representar de manera correcta el husillo en un plano detallando dimensiones y material.

$$e = 0.12 \cdot D \quad (6.1)$$

Donde:

e = Ancho del filete [mm].

D = Diámetro [mm].

Se recomienda en la transformación de plásticos mediante procesos de extrusión una longitud del husillo que sea 20 veces el diámetro, por lo tanto la longitud del husillo se termina por:

$$L = 20 \cdot D \quad (6.2)$$

El siguiente cálculo propuesto se denota el ángulo de hélice del canal mostrado en la Figura 4.3. Este ángulo se determina a partir de:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi \cdot D} \text{ [rad]} \quad (6.3)$$

Dónde:

D = Diámetro de la variable del canal [mm].

t = El paso del husillo [mm].

φ = Ángulo de hélice de canal [$^{\circ}$ sexagesimal].

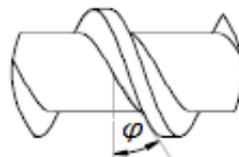


Figura 4. 3. Sección de un husillo de un canal

Fuente: [14]

4.4.1.1 Caudal de producción

La producción obtenida será calculada mediante la ecuación del flujo volumétrico

$$Q = \left(\frac{\alpha \cdot k}{k + \beta + \gamma} \right) n \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (6.4)$$

Donde:

α = Flujo de arrastre [cm^3].

β = Flujo de presión [cm^3].

γ = Flujo de filtración [cm^3].

η = Revoluciones para la velocidad de cortadura [rpm].

k = Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora.

El flujo de arrastre es la fuerza que impide que el material se adhiera al husillo y avance a lo largo de la extrusora:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot D \cdot h \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \cos^2(\varphi)}{2} \quad (6.5)$$

Donde:

m = Número de canales del husillo [adimensional].

D = Diámetro del husillo [cm].

h_2 = Profundidad del canal en la zona de dosificación [cm].

e = Ancho del filete [cm].

t = Paso del husillo [mm].

φ = Ángulo de hélice de canal

4.4.1.2 Flujos del husillo

El flujo de presión es el componente que se opone al flujo en el sistema, se expresa por:

$$\beta = \frac{m \cdot h_1^3 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \sen\varphi \cdot \cos\varphi}{12 \cdot L} \quad (6.6)$$

Donde

L : Longitud del husillo [cm].

m = Número de canales del husillo [Adimensional].

h_2 = Profundidad del canal en la zona de dosificación [cm].

e = Ancho del filete [cm].

t = Paso del husillo [mm].

φ = Ángulo de hélice de canal [sexagesimal].

El flujo de filtración tiene importancia para determinar el desgaste de los filetes y permite controlar las pérdidas en la producción. Está expresado por:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta h^3 \cdot \tan\varphi}{10 \cdot e \cdot L} \quad (6.7)$$

Donde:

L : Longitud del husillo [cm].

D = Diámetro del husillo [cm].

δ = Holgura del filete [cm].

e = Ancho del filete [cm].

φ = Ángulo de hélice de canal [sexagesimal].

4.4.1.3 Holgura de los Filetes

La holgura del filete (δ) representa la medida existente entre el extremo del filete del husillo y la superficie interior de la camisa es de suma importancia en el diseño de una extrusora.

$$\delta = 0.002 \cdot D \text{ [m]} \quad (6.8)$$

4.4.1.4 Constante de cabezal (k)

La constante del cabezal es uno de los datos a ser despejados para el caudal de producción, la constante se divide en distintas zonas con varios tipos de configuración para cada zona la constante k (constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora)

Canal Cilíndrico

$$k_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{640} \quad (6.9)$$

Donde:

d = Diámetro del canal [cm].

Para un canal cónico:

$$k_2 = \frac{3 \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot d_1^3}{640(d_0^2 + (d_0 \cdot d_1)d_1^2)} \quad (6.10)$$

Donde:

d_0 = Diámetro de entrada del material en un canal anular cilíndrico [cm].

d_1 = Diámetro de salida del material en un canal anular cilíndrico [cm].

4.4.1.5 Intervalos en la velocidad de cortadura

El intervalo de velocidad de cortadura, permite determinar el número de revoluciones que se necesita para la velocidad de corte. La velocidad de cortadura en el proceso de extrusión oscila entre los límites de 100 y 1000 s^{-1} , de esta forma se puede utilizar la fórmula de obtención de velocidad de cortadura para determinar las revoluciones mediante:

$$\gamma_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot \eta}{h_2 \cdot 1seg} \quad (6.11)$$

Donde

γ = Velocidad de cortadura [s^{-1}].

D = Diámetro [mm].

h_2 = Altura de filete en la zona de dosificación [cm].

η = Revoluciones [rpm].

4.4.1.6 Zonas del husillo

La longitud total del husillo se sugiere que debe ser de 20 veces el diámetro, de tal manera que la zona de alimentación debe ser 10 veces el diámetro, la zona de transición 6 veces el diámetro y la de dosificación 4 veces el diámetro

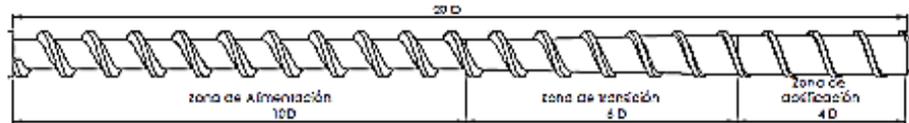


Figura 4. 4. Zonas del husillo

Fuente: [13]

4.4.1.7 Cálculo del número de filetes del husillo

Para obtener el número de filetes necesarios a través de todo el husillo, se aplica la relación L/D :

$$\#f = \frac{L}{D} \quad (6.12)$$

4.4.1.8 Relación de compresión

La relación de compresión, es importante calcularla debido a que permite establecer posibles fallas de desgaste relacionados con la profundidad del canal o a la alta velocidad de rotación [27].

$$RC = \frac{h_1}{h_2} \quad (6.13)$$

Donde:

h_1 = Altura del filete en las zonas de alimentación y transición (mm).

h_2 = Altura del filete en la zona de dosificación (mm).

4.4.1.9 Presiones en la máquina extrusora

Las máquinas extrusoras basan su funcionamiento en la presión que se adquiere a lo largo de toda la operación, mientras atraviesan las diferentes zonas del husillo.

Presión máxima:

$$P_{max} = \frac{6\pi \cdot D \cdot L \cdot \eta \cdot \mu}{h^2 \cdot \tan\varphi} \quad (6.14)$$

Donde:

D = Diámetro del husillo [m].

L = Longitud del husillo [m].

η = Revoluciones [rev/s].

μ = Viscosidad efectiva [Pa.s].

h_2 = Altura del filete en la zona de dosificación (mm).

φ = Ángulo de hélice de canal [$^\circ$ sexagesimal].

4.4.1.10 Cálculo de fuerzas de husillo

Con el cálculo de las fuerzas se determina la deformación máxima admisible y las dimensiones determinadas para el husillo. En el husillo actúa la fuerza axial P , el momento del giro Mg y la carga uniformemente repartida q , originada por el propio peso del husillo. La fuerza P y q provocan la deformación f del husillo como se indica en la Figura 4.5.

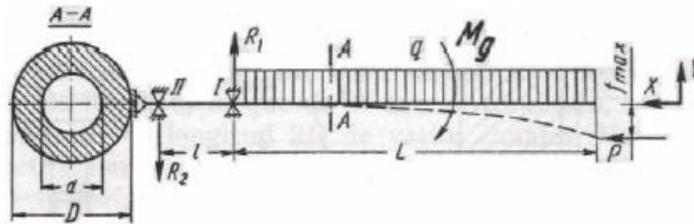


Figura 4.5. Diagrama de fuerzas de husillo

Fuente: [10]

En este caso K está determinada por una constante (K) cuyo valor es $K = 9550 Nm$, con esto se puede calcular el momento de giro dado por:

$$M_g = 9550 \frac{N}{\eta} \quad (6.15)$$

Donde:

M_g = Momento de giro [N.m].

N = Potencia [kW].

η = Revoluciones [rpm].

El siguiente parámetro a ser calculado es u que expresa la relación existente entre los diámetros de los husillos.

$$u = \frac{d}{D} \quad (6.16)$$

Donde:

d = Diámetro menor del husillo [m].

D = Diámetro mayor del husillo [m].

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (1 - u^2) \quad (6.17)$$

Donde:

F = Superficie transversal del husillo [m²].

D = Diámetro entre cresta y cresta de los filetes [m].

u = Relación entre los diámetros del husillo [adimensional].

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} (1 - u^4) \quad (6.18)$$

Donde:

J = Momento de inercia [m^4].

D = Diámetro entre cresta y cresta de los filetes [m].

u = Relación entre los diámetros del husillo [adimensional].

El radio de inercia se calcula mediante:

$$R = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad (6.19)$$

Donde:

J = Momento de inercia [m^4].

F = Superficie transversal del husillo [m^2].

Los valores iniciales para el cálculo de fuerzas en el husillo se llegan a determinar con (6.20),:

$$P = F \cdot Pmax \quad (6.20)$$

F = Superficie de la sección transversal del husillo, sobre la que ejerce su presión el material [m^2].

$Pmax$ = Presión específica del material en la parte delantera del cilindro o camisa [$\frac{MN}{m^2}$].

La tensión tangencial máxima sobre la superficie del husillo está dada por:

$$\tau = \frac{16 \cdot Mg}{\pi \cdot D^3 (1 - u^4)} \quad (6.21)$$

Donde:

Mg = Momento de giro [N.m].

D = Diámetro entre cresta y cresta de los filetes [m].

u = Relación entre los diámetros del husillo [adimensional].

La carga repartida en el husillo q , se determina por (A.41):

$$q = \frac{\text{peso del tornillo (kg)}}{\text{longitud del tornillo (m)}} \quad (6.22)$$

La tensión normal (σ), está expresada por:

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_f}{W_0} \quad (6.23)$$

Donde:

M_f = Momento de flexión máximo [kg].

W_o = Momento de resistencia [m^3].

El momento de flexión máximo esta expresado por:

$$M_f = \frac{q \cdot L^2}{2} \quad (6.24)$$

Donde:

q = Carga repartida [kg/m].

L = Longitud del husillo [m].

El momento de residencia respecto al eje neutro W_o se obtiene utilizando

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{32} (1 - u^4) \quad (6.25)$$

Datos:

D = Diámetro entre cresta y cresta de los filetes [m].

u = Relación entre los diámetros del husillo [adimensional]

4.4.2 Diseño de la tolva

La tolva es la entrada inicial y la fuente de alimentación para la extrusora. Las paredes inclinadas y circulares de la tolva permiten generar un flujo másico, lo que significa que el material está en constante movimiento y no se quedará pegado o producirá zonas muertas por donde no circule los gránulos.

$$\tan 60 = \frac{h_c}{8,5cm} \quad (6.26)$$

Para el cálculo del volumen total de la tolva es necesario obtener el volumen de su parte cónica y luego el volumen de su parte cilíndrica, esto permite saber el volumen total de la tolva.

$$V_{cono} = \frac{\pi h_c}{2} (R^2 + R \cdot r^2 + r) \quad (6.27)$$

Donde:

R : Radio superior del cono [cm].

r : Radio inferior del cono [cm].

h : Altura del cono [cm].

El volumen de la parte cilíndrica está expresado por:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{ci} \quad (6.28)$$

Donde:

r : Radio del cilindro [cm].

h : Altura del cilindro [cm].

Con el volumen del cilindro y del cono se podrá calcular el volumen total de la tolva.

Para determinar la masa que podrá almacenar la tolva se considera la densidad del PET y el volumen total de la tolva.

$$m = V_{total} \cdot \rho_{PET} \quad (6.29)$$

Donde:

V : Volumen total de la tolva [cm^3].

ρ : Densidad del PET [kg/cm^3].

4.4.3 Diseño del cilindro

Para el diseño del barril se tendrá en cuenta una serie de factores. En este caso es necesario saber el diámetro de la broca, la longitud desde la madera de aislamiento hasta el final de la broca. La norma ASME Y14.5 nos da las recomendaciones adecuadas de tolerancia que deberá haber entre el husillo y el cilindro.

Según las referencias encontradas la separación que debe tener el filete de la broca con respecto al barril será:

$$\delta = 0,005 \cdot D \text{ (2.1) [m]} \quad (6.30)$$

D = Diámetro de la broca [m]

Con lo cual se calcula ahora el diámetro interno del barril:

$$Di = Dt + 2 \cdot \delta \text{ [m]} \quad (6.31)$$

Dt = diámetro del tornillo [m]

Di = diámetro interno del cilindro [m]

4.5 Cálculo de la potencia requerida

4.5.1 Cálculos de las revoluciones del husillo.

Para el cálculo debemos conocer la velocidad de cortadura igual, la profundidad del canal podemos determinar las revoluciones del husillo para las condiciones indicadas.

$$\gamma = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{h_2 \cdot 1s} \quad (6.32)$$

Es necesario calcular la potencia que requiere el husillo del extrusor, el diámetro del husillo y el factor de proporcionalidad que este caso se lo obtiene como dato ($k = 66,7$), de esta forma la potencia viene dada por:

$$P = \frac{\eta * \pi * D^3}{k^2} \quad [KW] \quad (6.33)$$

Donde:

η = Número de revoluciones [rpm].

k = Factor de proporcionalidad [unidimensional].

D = Diámetro del husillo [mm].

P = Potencia [kW].

4.6 Sistema térmico

La potencia que deberán suministrar las bandas calefactoras para poder elevar la temperatura del cilindro y del husillo, está en función del calor necesario que se produce en el estado transitorio.

4.6.1 Calentamiento del pet

Para poder extruir el PET reciclado es necesario elevar la temperatura en el interior de la camisa desde ambiente hasta 250 °C que es cuando el PET se funde y llega a su estado líquido. [18]

4.6.2 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

Este coeficiente es igual a la suma del coeficiente de convección y del coeficiente de radiación:

Coeficiente por Transferencia de Calor.

$$h = h_c + h_r \quad (6.34)$$

Dónde:

h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_r Coeficiente de transferencia de calor por radiación ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Los valores de h_c y h_r se los calcula a continuación:

4.6.2.1 Determinación del coeficiente de convección

Temperatura media de película.

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (6.35)$$

Dónde:

T_s : Temperatura de la superficie del cuerpo sólido

Las propiedades del aire deben ser evaluadas a la temperatura T_f .

La longitud característica en el número de Grashof, del cilindro horizontal grande, es su diámetro; por lo tanto:

El número de Grashof puede interpretarse físicamente como un grupo adimensional que representa la razón de las fuerzas de flotación a las fuerzas viscosas en el sistema de flujo de convección libre.

Numero de grashof

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta t \cdot D^3}{\gamma^2} \quad (6.35)$$

g : Gravedad.

D : Diámetro del cilindro.

Δt : Variación de Temperatura.

El producto $Pr \cdot Gr$, es el número de Grayleigh que permite encontrar el número de Nusselt, así:

El número de Nusselt es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción.

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387R_a^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}} \right)^2 \quad (6.37)$$

Pr : Número de Prandtl.

Número de Nusselt para convección libre.

$$Nu = \frac{hc \cdot D}{k} \quad (6.38)$$

Despejando hc y reemplazando valores se obtiene:

Coefficiente de convección.

$$hc = \frac{Nu \cdot k}{d} \left[\frac{W}{m^2} \cdot ^\circ k \right] \quad (6.39)$$

4.6.2.2 Determinación del coeficiente de radiación

Las superficies metálicas oxidadas corrientes, son buenos radiadores de calor, las pérdidas que se verifican dependen de la temperatura absoluta, del área de la superficie y de la emisividad de la misma.

Pérdidas por radiación

$$q = A \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma (Ts^4 - T\alpha^4) \quad (6.40)$$

Dónde:

A: Área de transferencia de calor.

ϵ_1 : Emisividad (radiación térmica) de la superficie = 0.61.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²·°k).

Ts: Temperatura absoluta de la superficie.

T α : Temperatura absoluta ambiental.

El calor de pérdidas por radiación, considerando un coeficiente de pérdidas es:

$$q = A \cdot hr \cdot (Ts - T\alpha) \quad (6.41)$$

Coeficiente de radiación

$$hr = \frac{\epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (Ts^4 - T\alpha^4)}{Ts - T\alpha} \quad (6.42)$$

4.6.3 Estimacion de las pérdidas de calor

4.6.3.1 Pérdidas por conducción

El cilindro transmite calor a la garganta y a los soportes con los cuales entra en contacto. En el diseño de estos elementos de la extrusora se ha de minimizar la conducción de calor entre las superficies, reduciendo al mínimo el contacto físico de la superficie del cilindro con los soportes y con la garganta, estas pérdidas se desprecian.

4.6.3.2 Pérdidas por radiación

Las pérdidas por radiación se las determina mediante:

$$Qr = S \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (Ts^4 - T\alpha^4) \quad (6.43)$$

Dónde:

S: Área de cada zona.

ϵ_1 : Emisividad de la superficie.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²·°k)

Ts: Temperatura absoluta de la superficie.

T α : Temperatura absoluta ambiental.

4.6.3.3 Pérdidas por convección

El aire caliente en contacto con la superficie lateral del cilindro tiende a elevarse a causa de su menor densidad comparada con el aire más frío. Este proceso establece un flujo de corriente de aire que se eleva al techo, llevando consigo una cantidad importante de calor desde las partes calientes de la extrusora.

Aplicando la ley de enfriamiento de Newton, se tiene que:

$$Q_c = h_c \cdot \Delta T \cdot S \quad (6.44)$$

Las pérdidas calóricas por convección, se las determina utilizando el coeficiente de convección calculado para el sistema.

4.6.4 Termocuplas

Para su construcción es necesario calcular la potencia eléctrica del calefactor, que viene a ser la rapidez con la que fluye la energía por un conductor térmico.

Se tiene como dato que el calefactor trabaja a un voltaje de 220V y que se genera una resistencia experimental al paso de la corriente de 20Ω, sin embargo es necesario calcularla mediante:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6.45)$$

Donde:

ρ = Resistividad del material [$\Omega \cdot m$].

L = Longitud de la resistencia [m].

A = Área de la sección del conductor [m²].

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Selección de alternativas para la construcción de la maquina

Para construir la maquina se ha dividido en cinco subsistemas, ya que esto facilitará el análisis de alternativas para cada parte de la máquina utilizando la matriz de pugh. Entre los subsistemas existentes son:

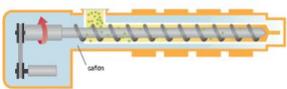
- Subsistema A: Alimentación.
- Subsistema B: Extrusión.
- Subsistema C: Fundición Del Material.
- Subsistema D: Potencia.

El análisis de alternativas para cada sistema se detalla en el ANEXO II

5.1.1 Estructura de la máquina de extrusion de plasticos

En base a la metodología realizada en base a la selección de alternativas por medio de la matriz de pugh que se detalla en el ANEXOII se establece la siguiente configuración para máquina extrusora

Tabla 5. 1.Elementos definidos para la máquina extrusora

Sistema	Configuración	Ilustración
Sistema de alimentación	Tolva cilíndrica	
Sistema de fundición de material	Por resistencias	
Sistema de extrusión	Husillo	
Sistema de potencia.	Con motor eléctrico	

5.2 Diseño del detalle

5.2.1 Cálculos de los parámetros del tornillo o husillo

5.2.1.1 El diámetro del husillo

Según la norma NTN INEN-ISO 294-1, recomienda que el tornillo apropiado para moldeo debe tener un diámetro comprendido entre 18 – 40 mm. Se utilizara un diámetro de 1 ½ pulg o 38 mm.

$$D = 38mm$$

5.2.1.2 Longitud del tornillo

La propiedad que define al husillo es la relación L/D, siendo L la longitud de tornillo y D el diámetro, la relación L/D se encuentra en el rango de 12.5/1 hasta 25/1.

Se estimó una relación de 12.5/1 que permite plastificar la mayoría los materiales termoplásticos, teniendo la siguiente longitud:

$$Lt = \frac{12.5}{1} * 38 = 12.5 * 38mm = 475 mm$$

Al ser el rango de 12.5 a 25 optado por una $Lt = 500mm$

5.2.1.3 Ancho del filete (e)

$$e = 0.12 * D = 0.12 * 38 = 4.56 mm$$

5.2.1.4 Tolerancia del tornillo/cilindro

$$\delta = 0.002 * D = 0.002 * 38 = 0.076mm$$

5.2.1.5 Número de filetes del husillo

$$\#f = \frac{Lt}{D} = \frac{500}{38} = 13.16$$

5.2.1.6 Paso del husillo (t)

Tabla 5. 2. Especificaciones del tornillo extrusor

Diámetro D (mm)	Paso t (mm)	Profundidad del canal en la zona de alimentación, h1	Profundidad del canal en la zona de dosificación, h2	Ancho de los filetes, e
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

Fuente: [13]

Para un diámetro de 38 mm el paso será:

$$t = 38mm$$

5.2.1.7 Ángulo helicoidal

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{38}{\pi \cdot 38} = 17.65^\circ$$

El flujo de arrastre α :

$$\alpha = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 3.8 \cdot 0.19 \cdot \left(\frac{3.8}{1} - 0.456\right) \cdot \cos^2(17.65)}{2} = 3.44 cm^3$$

Flujo de presión β :

$$\beta = \frac{1 \cdot 0.19^3 \cdot \left(\frac{3.8}{1} - 0.456\right) \cdot \sin 17.65 \cdot \cos 17.65}{12 \cdot 50} = 1.104 \cdot 10^{-5} cm^3$$

El flujo de filtración:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot 3.8^2 \cdot 0.0076^3 \cdot \tan 17.65}{1 \cdot 0.456 \cdot 50} = 8.73 \cdot 10^{-7} cm^3$$

Canal Cilíndrico

$$k_1 = \frac{\pi \cdot 2.6^2}{640} = 0.033$$

Para un canal cónico:

$$k_2 = \frac{3 \cdot \pi \cdot 2.6^3 \cdot 3.4^3}{640(2.6^2 + (2.6 \cdot 3.4) + 3.4^2)} = 0.37$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{0.033} + \frac{1}{0.37}} = 0.0303$$

5.2.1.8 Caudal de la extrusora

La velocidad recomendada para el tornillo extrusor esta entre 75 a 100 rpm se ha optado por una velocidad de 80 rpm del moto reductor disponible.

$$Q = \left(\frac{3.44 \cdot 0.030}{0.030 + 1.104 \cdot 10^{-5} + 8.73 \cdot 10^{-7}} \right) 80rpm = 275.09 \frac{cm^3}{min}$$

El valor Q es la producción del tornillo, pero la consistencia dimensional exige que los datos se presenten en kg/h, siendo la densidad del PET ($0.00137 \frac{kg}{cm^3}$) y el resultado se lo transforma a kg/h:

$$Q = 0.00137 \frac{kg}{cm^3} \cdot 275.09 \frac{cm^3}{min} \cdot \frac{60}{1h} \quad Q = 22.61 \frac{kg}{h}$$

5.2.1.9 Intervalos en la velocidad de cortadura

$$\eta = \frac{100 \frac{1}{seg} \cdot 0.19}{\pi \cdot 3.8} = 1.60 \frac{rev}{seg} \cdot \frac{60seg}{1min} = 95 rpm$$

5.2.1.10 Relación de compresión

$$RC = \frac{7}{2} = 3.5$$

5.2.2 Cálculo de fuerzas de husillo

Momento de giro

$$M_g = 9550 \frac{3.08}{80} = 367.67 Nm$$

El siguiente parámetro a ser calculado es u que expresa la relación existente entre los diámetros de los husillos.

$$u = \frac{0.030}{0.038} = 0.78$$

Superficie transversal del husillo

$$F = \frac{\pi \cdot 0.038^2}{4} (1 - 0.78^2) = 4.30 \cdot 10^{-4} m^2$$

Momento de inercia

$$J = \frac{\pi \cdot 0.038^4}{64} (1 - 0.78^4) = 6.26 \cdot 10^{-9} m^4$$

El radio de inercia se calcula mediante:

$$R = \sqrt{\frac{6.26 \cdot 10^{-9} m^4}{4.30 \cdot 10^{-4} m^2}} = 3.81 \cdot 10^{-3} m$$

Los valores iniciales para el cálculo de fuerzas en el husillo se llegan a determinar

$$P = 4.30 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 349 \frac{MN}{m^2} = 150070 N$$

La tensión tangencial máxima sobre la superficie del husillo

$$\tau = \frac{16 \cdot 367.67 Nm}{\pi \cdot 0.38 cm^3 (1 - 0.78^4)} = 55.71 \frac{MN}{m^2}$$

La carga repartida en el husillo

$$q = \frac{4.2 (kg)}{0.76(m)} = 5.52 \frac{kg}{m}$$

El momento de flexión máximo esta expresado por:

$$M_f = \frac{5.52 \frac{kg}{m} \cdot 0.76^2}{2} = 2 kg$$

El momento de resistencia respecto al eje neutro

$$W_0 = \frac{\pi \cdot 0.38^3}{32} (1 - 0.78^4) = 3.29 \cdot 10^{-5} m^3$$

La tensión normal

$$\sigma = \frac{150070 N}{4.30 \cdot 10^{-4} m^2} + \frac{2 kg}{3.29 \cdot 10^{-5} m^3} = 349 MN/m^2$$

5.2.3 Dimensionamiento de la tolva

Para el dimensionamiento de la tolva se toma en cuenta un ángulo de 60° un diámetro superior de 17.5 cm y un diámetro inferior de 4.8 cm proporcionándonos el Angulo establecido, gracia a esto podemos calcular la altura de cono

$$h_c = \tan 60 \cdot 8.5 cm = 14.72 cm$$

Se establece una altura de 14cm para la tolva de nuestra maquina

Volumen total de la tolva.

$$V_{cono} = \frac{\pi \cdot 14 cm}{2} (17.5^2 cm + 17.5 cm \cdot 4.8 cm + 4.8^2 cm) = 66058 cm^3 = 6.05 m^3$$

Para determinar la masa que podrá almacenar la tolva se considera la densidad del PET 0.00137 $\frac{kg}{cm^3}$ y el volumen total de la tolva.

$$m = 66058 cm^3 \cdot 0.00137 \frac{kg}{cm^3} = 2.3 kg$$

5.2.4 Diseño del cilindro

$$\delta = 0,005 \cdot D = 0,005 \cdot 38 = 0.19 mm$$

Con lo cual se calcula ahora el diámetro interno del barril:

$$D_i = 38 + 2 \cdot (0.19 mm)$$

$$D_i = 38.38 mm$$

Para la longitud de transporte se empleará el siguiente parámetro:

$$4 \cdot 38 \leq LT \leq 8 \cdot 38$$

$$152mm \leq LT \leq 304mm$$

Por lo tanto la longitud de transporte estará entre 152mm y 304mm

Para la longitud de fusión se empleará:

$$6D \leq LF \leq 10D$$

$$6 \cdot 38 \leq LT \leq 10 \cdot 38$$

$$228mm \leq LT \leq 380mm$$

La longitud de fusión estará entre 228mm y los 380mm

Para la longitud de dosificación se va a usar esta otra:

$$10D \leq LD \leq 12D$$

$$10 \cdot 38 \leq LT \leq 12 \cdot 38$$

$$380mm \leq LT \leq 456mm$$

La longitud de dosificación esta entre lo 380mm y los 456mm

Por lo tanto

La longitud de transporte será de 152mm

La longitud de fusión será de 152mm

La longitud de dosificación será de 76mm

5.2.5 Cálculo de la potencia requerida

5.2.5.1 Cálculo de las revoluciones y potencia del husillo.

$$\eta = \frac{100 \frac{1}{seg} \cdot 0.19}{\pi \cdot 3.8} = 1.60 \frac{rev}{seg} \cdot \frac{60seg}{1min} = 95 rpm$$

Es necesario calcular la potencia que requiere el el factor de proporcionalidad que este caso se lo obtiene como dato ($k = 66,7$) basado en [41], de esta forma la potencia viene dada por:

$$P = \frac{80 \cdot \pi \cdot 3.8^3}{66.7^2} \left(\frac{12.5D}{25D} \right) = 1.55 [KW] = 2 hp$$

5.2.5.2 Cálculo de los elementos protección de los elementos eléctricos.

Resistencias eléctricas:

$P = 220w$; $V = 220 V$; 5 resistencias

$$I_R = \frac{220w \cdot 5}{220V} = 5A$$

Motor eléctrico:

$P = 1.55 KW$; $V = 220 V$; $n = 89 \%$

$$I_L = \frac{1550 \text{ w}}{1.73 \cdot 0.89 \cdot 220 \text{ V}} = 4.576 \text{ A}$$

Relé térmico

Con sobrecarga máxima de 15%

$$I_L \cdot 1.15 = 4.576 \cdot 1.15 = 5.26 \text{ A} \quad \text{Relé térmico trifásico de 3 a 7 amperios.}$$

Interruptor termomagnético

$$(I_R + I_L) \cdot 1.15 = (5 + 4.576) \cdot 1.15 = 11 \text{ A} \quad \text{Disyuntor magnético trifásico de 16 amperios.}$$

5.3 Potencia de las bandas calefactoras

Temperatura media de película.

$$T_s = 240^\circ\text{C} = 513.15^\circ\text{K}$$

$$T_s = 20^\circ\text{C} = 293.15^\circ\text{K}$$

$$T_f = \frac{513.15 + 293.15}{2} = 403.15$$

Propiedades del aire a 130°C

$$\text{Número de Prandtl. } P_r = 0.691$$

$$\text{Viscosidad Cinemática. } \gamma = 2.574 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Conductividad Térmica. } k = 0,03335 \text{ W/mC}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{403.15} = 2.48 \cdot 10^{-3}$$

Numero de Grashof

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$D = 0.049\text{m}$$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta t \cdot D^3}{\gamma^2} = \frac{(2.48 \cdot 10^{-3}) \cdot 9.81 \cdot (220^\circ\text{K}) \cdot (0.049\text{m})^3}{2.574 \cdot 10^{-3}} = 0.24$$

$$R_a = P_r \cdot G_r = 0.691 \cdot 0.24 = 0.169$$

El número de Nusselt

$$N_u = \left(0.6 + \frac{0.387 \cdot (0.169)^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{0.691} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 = 0.7032$$

Coefficiente de convección.

$$hc = \frac{0.7032 \cdot 0.03335}{0.049} = 0.4786 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

5.3.1.1 Determinación del coeficiente de radiación

Dónde:

Emisividad del acero de 513.15°K.

Constante de Stefan Boltzmann $\vartheta = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

Sacamos el valor de la tabla de Emisividad.

$$\epsilon_1 = 0.69$$

Coefficiente de radiación

$$hr = \frac{0.69 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (513.15^4 - 293.15^4)}{513.15 - 293.15} = 11.01 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coefficiente de transferencia de calor total

$$h = 11.01 + 0.4786 = 11.49 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

5.3.2 Estimación de las pérdidas de calor

5.3.2.1 Pérdidas por radiación

Las pérdidas por radiación se las determina mediante:

$$Qr = S \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (Ts^4 - T\alpha^4)$$

Donde

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²·°k)

$$S = \pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot 0.049m \cdot 0.5m = 0.0769 m^2$$

Remplazando

$$Qr = 0.0769 \cdot 0.69 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (513.15^4 - 293.15^4) = 186.39W$$

5.3.2.2 Pérdidas por convección

$$Qc = 0.4786 \cdot 220 \cdot 0.0769 = 8.096W$$

Cantidad de calor necesaria para elevar la masa del material a la temperatura de trabajo

$$Esp = \frac{dm}{dp} \cdot Cp \cdot (Ts - T\alpha)$$

$$\frac{dm}{dp} = 10Kg/h \text{ Flujo másico de polímero en la zona}$$

$$Cp = 0.45 \frac{kcal}{Kg} \cdot ^\circ K$$

$$Esp = 6 \cdot 0.45 \cdot (513.14 - 293.15) = 594 \frac{kcal}{h}$$

$$Qn = 690.82W$$

Energía que sale del sistema

$$Es = Qr + Qc + Qn = 186.39W + 8.096W + 690.82w=885.35w$$

5.3.3 Cálculo de potencia requerida para bandas calefactoras

$$Q = 1kW \text{ Potencias en los calefactores (5 bandas de 200w)}$$

$$Q_{real} = Q - Qr - Qc = 1000w - 186.39W - 8.096W = 805.52w$$

$$Es = 186.39W + 8.096W + 690.82w=885.35w$$

Es la potencia neta (considerando perdidas) 885.35W

5.4 Análisis estructural de la mesa

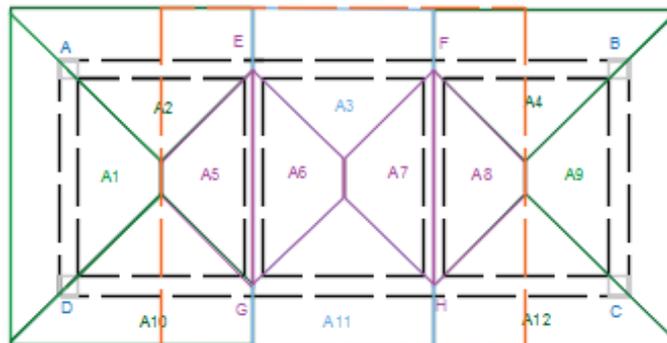


Figura 5. 1. Análisis estructural

Características de la pancha de acero de 6 mm

$$w = 47.10 \frac{Kg}{m^2}; l = 1.4m; a = 0.72m$$

$$A_1 = A_9$$

$$A_1 = (0.71 + 0.07) \cdot \frac{0.315}{2} = 0.12285m^2$$

$$w_1 = w_9 = 47.10 \frac{Kg}{m^2} \cdot 0.12285m^2 = 5.786 Kg$$

$$A_2 = A_4 = A_{10} = A_{12}$$

$$A_2 = 0.005 \cdot 0.51 + 0.195 \cdot 0.125 + 0.315 \cdot \frac{0.32}{2} + 0.195 \cdot \frac{0.195}{2} = 0.09634m^2$$

$$w_2 = w_4 = w_{10} = w_{12} = 47.10 \frac{Kg}{m^2} \cdot 0.09634m^2 = 4.5375 Kg$$

$$A_3 = A_{11}$$

$$A_3 = 0.38 \cdot 0.13 + 0.38 \cdot \frac{0.19}{2} = 0.0855m^2$$

$$w_3 = w_{11} = 47.10 \frac{Kg}{m^2} \cdot 0.0855m^2 = 4.02705Kg$$

$$A_5 = A_8$$

$$A_5 = (0.07 + 0.46) \cdot \frac{0.195}{2} = 0.051675m^2$$

$$w_5 = w_8 = 47.10 \frac{Kg}{m^2} \cdot 0.051675m^2 = 2.4339 Kg$$

$$A_6 = A_7$$

$$A_6 = (0.08 + 0.46) \cdot \frac{0.19}{2} = 0.0513m^2$$

$$w_6 = w_7 = 47.10 \frac{Kg}{m^2} \cdot 0.0513m^2 = 2.4162 Kg$$

Área del tubo cuadrado de acero galvanizado 40*40*3mm

$$A = 4.44cm^2 = 0.000444 m^2$$

Elemento	Carga Kg
AE	4.5375
EF	4.02705
FB	4.5375
BC	5.786
CH	4.5375
HG	4.02705
GD	4.5375

DA	5.786	
EG	4.8501	
FH	4.8501	
Carga total	47.4763	
Fuerzas	Newton	Esfuerzo Normal Mpa
FA	116.435	0.262240
FB	116.435	0.262240
FC	116.435	0.262240
FD	116.435	0.262240

Esfuerzo de fluencia del tubo cuadrado de acero galvanizado 40*40*3mm

$$\sigma = 269 \text{ Mpa}$$

Conclusiones:

- La estructura diseñada realiza una buena distribución de la carga a cada uno de los elementos.
- El esfuerzo de fluencia el mayor al esfuerzo normal en las patas de la mesa por lo cual es un diseño seguro y se puede montar de manera confiable todos los componentes de la máquina.

5.5 Materiales utilizados para la construcción de la máquina

Para la selección de los materiales de la máquina extrusora, se tuvieron en cuenta los siguientes factores

Disposición del material en el mercado

Durabilidad

Costo

Los materiales usados para la estructura, camisa, y tornillo son los siguientes

Tabla 5. 3. Detalles del material usado en la construcción de la maquina

Detalle	Material
Estructura	Acero AISI / SAE 1020
Cilindro	Acero AISI 1040
Tornillo extrusor	Acero cromado AISI 1040
Tolva de alimentación	Plancha galvanizada ASTM A36.
Boquilla	Acero AISI 1040
Plancha	Plancha galvanizada ASTM A36. Espesor 6mm

En el ANEXO II podemos observar detalladamente cada una de las características y propiedades con las que cuenta cada uno de los materiales utilizados para la construcción de la máquina.

5.6 Construcción mecánica de la maquina extrusora

Para la construcción de la maquina fue necesario realizar una observación detallada a diferentes diseños encontrados en diversos proyectos similares al nuestro

Se procedió a realizar un diseño detallado de cada uno de los componentes en donde nos especifique los valores y medidas necesarias para una correcta construcción de la maquina

A continuación se detalla el mecanizado necesario para la fabricación de cada uno de los elementos así mismo de detalla paso a paso el procedimiento seguido para el armado de la maquina

5.6.1 Construcción del tornillo extrusor

Una vez seleccionado el material se procede a fabricar el tornillo extrusor el mismo que se fabrica a través del torneado con el dimensionamiento especificado, el mecanizado del tornillo no se puede notar visualmente ni con el tacto solo se lo puede apreciar con el uso de una lupa Para la fabricación se tiene varias opciones de mecanizado tales como el arranque de viruta ,mediante maquinas CNC y la importación del elemento , pero como en el área local no podemos contar con el aporte de las maquinas CNC y para la importación del mercado exterior la desventaja seria el tiempo y costos , se vio la necesidad de realizar el husillo mediante el procedimiento de arranque de viruta ya que es una de las formas más ventajosas en el ámbito de costo permitiéndonos obtener el husillo de una forma breve y económica



Figura 5. 2 .Proceso de maquinado del tornillo extrusor

La traslado del material va a depender de un buen acabado del tornillo es decir este debe estar lo suficientemente liso para que no queden restos de grumos de material en los alabes.



Figura 5. 3.Tornillo extrusor

5.6.2 Construcción de la camisa o cilindro

Para la fabricación del cilindro se procedió a realizar por medio del torneado el cual nos permite tener una superficie con una rugosidad adecuada ya que este tipo de elemento va a estar sometido a temperaturas altas y necesita que la misma pueda distribuirse de una manera uniforme, su interior es forjado en el torno brindando así una superficie lisa para que brinde el fácil transporte del material



Figura 5. 4. Proceso de fabricación del cilindro por arranque de viruta



Figura 5. 5. Cilindro de la maquina extrusora

5.6.3 Construcción de la tolva de alimentacion

Para la fabricación de la tolva de alimentación se procede a realizar de un material que brinden las características necesarias como como el fácil desplazamiento de la materia prima y un almacenamiento adecuado del material



Figura 5. 6.Tolva de alimentación

5.6.4 Construcción de la boquilla

Para la construcción de la boquilla se recurre al mecanizado por arranque de viruta utilizando el torno, máquina que nos brinda los requisitos necesarios para obtener una superficie de terminado adecuado y de buena calidad.



Figura 5. 7 Maquinado de la boquilla de la máquina extrusora

Como se puede observar en la figura anterior la boquilla esta provista por una rosca de 11 hilos por pulgada factor necesario para el fácil acople y desacople del cilindro

5.6.5 Construcción de la estructura

La estructura está fabricada por un tubo auto reforzado del material explicado anteriormente.

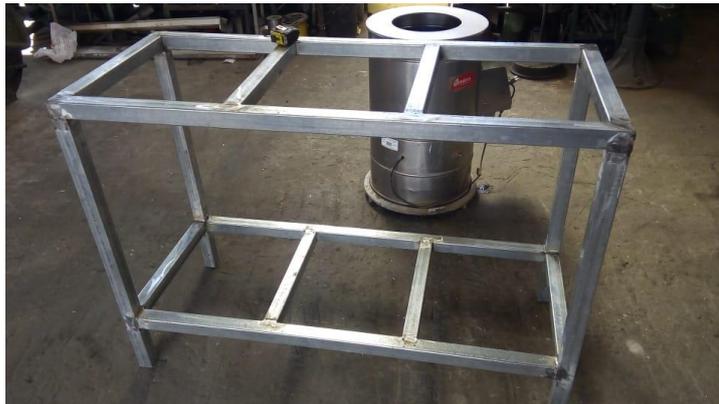


Figura 5. 8. Estructura de la máquina

5.6.6 La soldadura

Para la soldadura correspondiente de la estructura se utilizó la soldadura MIG

La soldadura MIG/MAG es un proceso versátil, pudiendo depositar el metal a una gran velocidad y en todas las posiciones. Este procedimiento es muy utilizado en espesores pequeños y medios en estructuras de acero y aleaciones de aluminio, especialmente donde se requiere un gran trabajo manual.

Las soldaduras MIG, son recomendables debido a su facilidad de operación, produciendo grandes tasas de fabricación por su nivel de rendimiento.

Los instrumentos de la soldadura, como los cables y la pistola, son ligeros, haciendo más fácil su transporte y su manipulación para el soldador.

Las soldaduras MIG, es uno de los métodos más versátiles en cuanto a la variedad de metales y aleaciones que se pueden utiliza



Figura 5. 9. Armado de la estructura de soporte de la máquina extrusora

5.6.7 Montaje de los elementos de la maquina sobre la estructura

Para el correcto montaje de los elementos sobre la estructura es necesario realizar la correcta simulación de la maquina en un programa de diseño para que nos facilite la ubicación de cada uno de las elementos y obtener los resultados requeridos

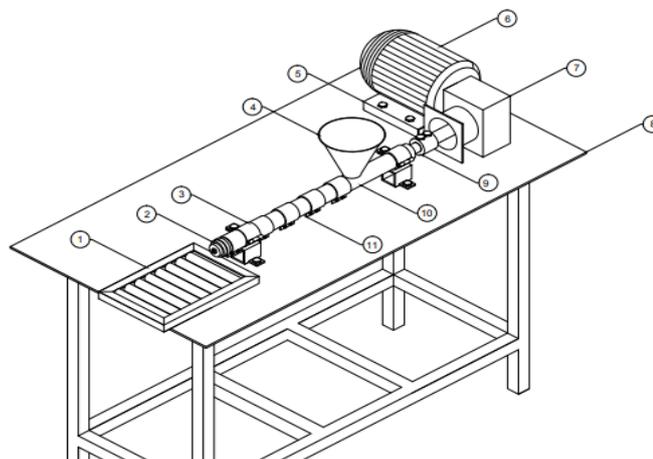


Figura 5. 10. Plano conjunto de la máquina extrusora

Se procede al montaje respectivo de la máquina extrusora obedeciendo las distancias dictadas en el diseño y en correcto orden para no tener ninguna dificultad

Primero procedemos a colocar una plancha de acero de 6 mm de espesor sobre la estructura la misma que brindara un disminución de la vibración gracias a su peso también permitirá la facilidad de ubicación de los soporte para los diferentes elemento de la máquina extrusora



Figura 5. 11. Mesa y plancha adjuntas

Como se puede observar en la figura 5.11 procedemos a colocar el cilindro y el motor en sus correspondientes lugares.

Posteriormente procedemos a colocar los demás elementos sobre la estructura base obteniendo así los resultados requeridos.



Figura 5. 12. Sistema mecánico concluido

5.6.8 Sistema de control electrico

A continuación se procede a seleccionar los elementos necesarios para que nos brinden el control y la seguridad necesaria de cada uno de los elementos para la maquina extrusora

5.6.8.1 Contactor

El contactor electromagnético es un aparato mecánico de conexión de contactos eléctricos controlado mediante un electroimán.

Para el motor de 1.5 hp se ha elegido un contactor trifásico de 6 amperios el cual soporta la corriente nominal de 3 amperios del motor.



Figura 5. 13. Contactor

Fuente: [20]

5.6.8.2 Relé térmico

Son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Para evitar la sobrecarga del motor se ha elegido un relé térmico trifásico de un rango de 3 a 7 amperios el cual es el adecuado para la corriente nominal de 3 amperios del motor.



Figura 5. 14. Relé térmico

Fuente: [20]

5.6.8.3 Relé Temporizador ON DELAY

Son elementos eléctricos los cuales efectúan un retardo a la conexión se pueden programar en segundos o en minutos.

Para un retardo a la conexión de 40 minutos del motor, tiempo en el cual se debe calentar el cilindro se ha elegido un temporizador ON DELAY de 0 a 60 minutos.



Figura 5. 15. Temporizador ON DELAY

Fuente: [20]

5.6.8.4 Disyuntor magnético

Para la protección de todos los componentes eléctricos; motor, resistencias, contactores, relés, temporizadores, termocuplas, controladores de temperatura, etc. Los cuales suman una corriente nominal de 12 amperios se ha elegido un disyuntor magnético trifásico de 16 amperios que proteja todos los elementos contra posibles cortocircuitos.



Figura 5. 16. Breaker

Fuente: [20]

5.6.9 Controlador de temperatura On / Off

Para realizar el control, se optó por utilizar un módulo digital de control de temperatura, el cual se muestra en la Figura 7.26. Este proporciona todas las funciones necesarias para el control. El módulo cuenta con una entrada para ingresar la señal proveniente de una termocupla, relés de salida que permiten accionar diferentes dispositivos en este caso permitirá accionar el calefactor, tiene modos de control PID y ON-OFF.



Figura 5. 17. Controlador on/off

Fuente: [21]

El controlador de temperatura seleccionado de acuerdo a las necesidades de la máquina es el Tipo REX –c900 para temperaturas de 0 a 120 °C para voltajes de 110/220 VAC.

5.6.10 Termocipla tipo k

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.



Figura 5. 18. Termocupla tipo K

Fuente: [21]

Tabla 5. 4. Características de la termocupla tipo k

Rango de temperatura	0 - 1100 C
Diámetro del termo pozo	5mm
Longitud del sensor	100mm
Diámetro de rosca	7.8mm
Longitud del cable aprox.	3m
Protección externa	blindaje metálico

Fuente: [21]

5.7 Pruebas de funcionamiento de la máquina

5.7.1 Prueba 1 - Funcionamiento del control de temperatura

Al calibrar el controlador del calefactor se asegura que la operación se suspenda a la temperatura indicada (valor de referencia), caso contrario seguiría incrementándose y podría degradar el material, de igual forma si no se acciona nuevamente a la temperatura indicada el material no se fundiría.

Tabla 5. 5.Funcionamiento del Control de Temperatura

Prueba	Valor de referencia	Histéresis	T° de apagado	T° de encendido
1	200°C	5°C	198°C	193°C
2	200°C	8°C	199°C	192°C
3	200°C	4°C	297°C	193°C

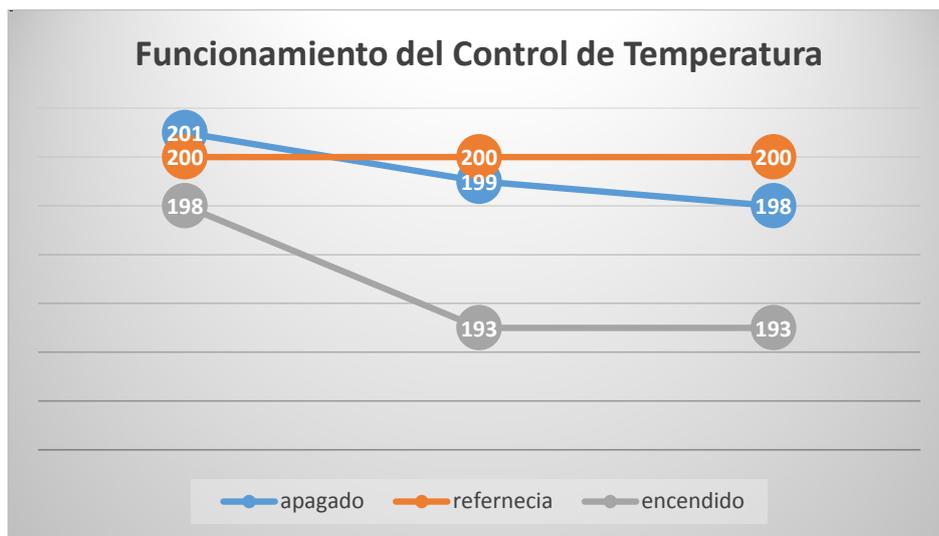


Figura 5. 19. Grafica de funcionamiento del control de temperatura

El resultado mostrado en la gráfica 5.19 demuestra que el control de temperatura es un 97% eficiente y responde según lo programado.

5.7.2 Prueba 2 - Tiempo para la temperatura de operación

Se debe conocer el tiempo en que la resistencia eléctrica a la temperatura de operación ya que permite saber cuánto toma a la máquina estabilizarse para comenzar su funcionamiento.

Tabla 5. 6. Tiempo para la Temperatura de Operación

Prueba	T° Inicial	T° de Operación	Tiempo
1	18°C	250°C	40 min
2	20°C	220°C	30 min
3	17°C	180°C	20 min

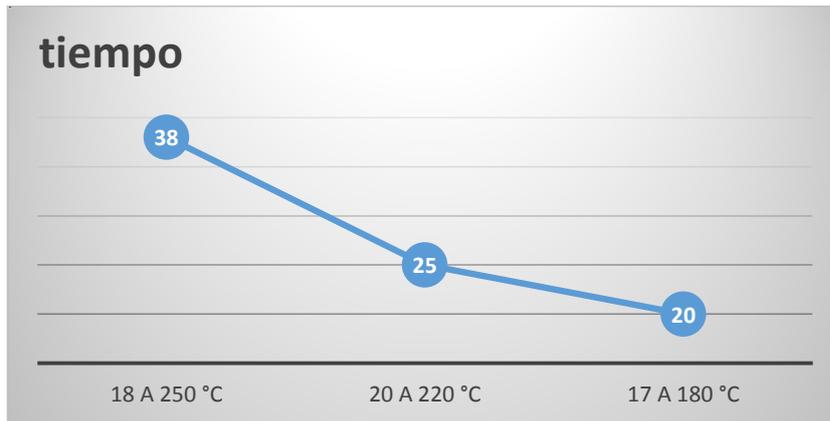


Figura 5. 20. Tiempo para la temperatura de operación

La gráfica 5.20 muestra los diferentes tiempos que se demora la resistencia para llegar a la temperatura de operación. Debido a que no cuenta con un recubrimiento en la camisa permite que el calor se disipe al exterior, provocando que los tiempos sean elevados.

5.7.3 Prueba 3 - Temperatura de ingreso y estado final del material

De manera experimental en la prueba 3 se ingresó el material a temperatura ambiente y se inspeccionó de manera visual el estado en el que sale de la extrusora a partir de 260°C hasta 300°C. La Tabla 5.7 muestra los resultados de las pruebas.

Tabla 5. 7. Temperatura de Ingreso y Estado del Material

Prueba	T° Material	T° Operación (zona de dosificación)	Estado del Material
1	20°C	260°C	Fundido/quemado
2	20°C	230°C	Fundido /plomo oscuro
3	20°C	200°C	Fundido /plomo claro
4	20°C	180°C	Fundido plomo blanquecino
5	20°C	160°C	Grumo

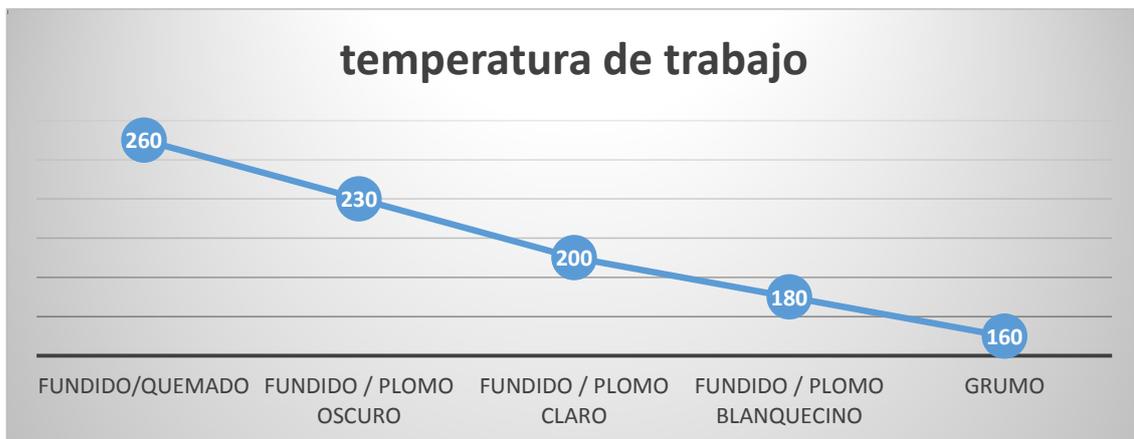


Figura 5. 21. Temperatura de trabajo

Como conclusión podemos decir que el material se va a fundir a la temperatura e 240 y 250 °c ya que a esa temperatura podemos obtener el plástico en buen estado mientras que si aumentamos la temperatura a los 270 o 300°C el plástico tiende a quemarse, y si reducimos demasiado la temperatura el plástico posee un aspecto de grumo por no haberse fundido lo suficiente. Dichos resultados los podemos observar en el siguiente grafico



Figura 5. 22. : Resultados de prueba de estado final de la materia

6 PRESUPUESTO

6.1 Presupuesto

A continuación, se ilustra el análisis de precios que corresponde para la construcción de cada conjunto que conforma la máquina extrusora, considerando la clasificación de los dos grupos de costos, los cuales son:

6.1.1 Costos directos

Aquí se encuentran involucrados los desembolsos de aquellas materias primas, materiales, equipos o accesorios que intervienen directamente en la elaboración de la maquina

Tabla 6. 1. Detalles de costos de materiales usados en los componentes de la maquina

Materiales Para La Construcción Mecánica Para La Extrusora				
Elemento	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total(\$)
Estructura				
	Acero estructural cuadrado 40 x 40x 3 mm ASTM a 500 gr b	2	18	36
	Plancha de acero 6 mm de espesor ASTM A36	½	150	75
Tolva				
	Plancha de acero 2 mm de espesor ASTM A36	¼	60	15
Tornillo extrusor				
	Eje cromado AISI 4140 de 2 pulg	100	150	150
	Bocines	2	25	50
Cilindro o camisa				
	Cilindro tipo célula AISI 4140	100	100	100
Sistema hidráulico para el molde				
	Pistón hidráulico	1	200	200
Boquilla de alimentación				
	Eje cromado AISI 4140 de 2 pulg	100mm	45	45
Transmisión de potencia				
	Motorreductor trifásico 1.5hp 80rpm	1	180	180
Sistema de fundición de material plástico				
	Resistencias 220v-200w	6	29,5	177
Material para soporte de los componentes de la maquina				
	Platina para la fabricación de soportes 50mm x3mm ASTM A 36	½	15	7,5
Total				1035,5

Tabla 6. 2. Detalles de costos de materiales para el sistema de control

Materiales para el sistema de control			
Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total(\$)
1 contactor LS/bobina 9 Amp.	1	7,34	7,34
Bobina LS para mc 9/12/18/22 220VAC	1	6,8	6,8
Relé térmico LS mt-32 4-6amp	1	27	27
Temporizador ON DELAY 12-240VAC/DC 6s-60s-6m-60m	1	21	21
Base de 8 pines redondos tc-o85a	1	1,24	1,24
Selector 22 mm 2 posiciones plásticos	1	1,53	1,53
Terminales tipo riel hembra 6.4mm	4	0,08	0,32
Terminal tipo ojo 5/32 ``	20	0,06	1,2
Terminal tipo u 5/32 ``	10	0,05	0,5
Gabinete metálico liviano 300 x300x200 mm	1	25,34	25,34
Mini pinza amperimetrica e-sum 600v	1	16,65	16,65
Conductor # 14 AWG	5 m	0,28	1,4
Conductor # 10 AWG	6m	0,4	2,4
Conductor # 12 AWG	4m	0,43	1,72
1 capacitor de trabajo de 80uf	1	11,62	11,62
Breaker 3f 16 ^a	1	24,98	24,98
Control de temperatura rex c900 0-1200° c 110/220vac	1	42	42
Cinta taípe	1	0,9	0,9
Riel para sujeción de elementos eléctricos	1m	2,6	2,6
Una termocupla tipo k	1	6,5	6,5
Total			202,54

Tabla 6. 3. Detalle de otros materiales usados en el transcurso de la construcción

Materiales usados en el transcurso de construcción			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Electrodos AGA 60 11	2 lb	2,3	4,6
Disco de corte	2	5	10
Disco de pulir	1	6	6
Pintura duracolor rojo	1 litro	3,2	3,2
Pintura duracolor negro	1 litro	3,2	3,2
Pintura duracolor azul	1 litro	3,2	3,2
Juego de fresas	1	5,8	5,8
Tiñer	3 litros	1,4	4,2
Lija roja 100	1/2 pliego	2,86	1,43
Materia prima para pruebas	5 libras	4	20
Total			61,63

6.1.2 Mano de obra directa

Es aquella que interviene personalmente en el proceso de producción, refiriéndose específicamente a los obreros.

Tabla 6. 4. Costo de mano de obra directa.

Detalle de mano de obra			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Torneado del tornillo extrusor	1	250	250
Torneado del cilindro o camisa	1	150	150
Soldadura		80	80
Construcción de la tolva		75	75
Instalación de elementos eléctricos		120	120
Pintura y acabados		60	60
Construcción de soportes	4	10	40
Maquinado de la boquilla	1	75	75
	Total		850

6.1.3 Costos indirectos

Comprende personal, materias primas, equipos, materiales o accesorios utilizados dentro de la investigación, pero que no se considera directos en el desarrollo del proyecto

Tabla 6. 5. Costos de materiales y accesorios indirectos utilizados en la valoración del proyecto

Transporte	20,00
Alimentación	25,00
Gastos varios	20,00
TOTAL GASTOS INDIRECTOS	\$65,40

6.1.4 Presupuesto final

Tabla 6. 6. Costo total del proyecto

Costo total	
Costos directos	
Materiales para la construcción mecánica de la extrusora	1035,5
Materiales para el sistema de control	202,54
Materiales usados en el transcurso de construcción	61,63
Total de gastos directos	1299,67
Mano de obra	850
Costos indirectos	
Transporte	20
Alimentación	25
Gastos varios	20
Total gastos indirectos	65
Total de gastos	2211,67

6.2 Impactos

Impacto práctico: la maquina extrusora de plástico permitirá extraer plástico derretido el mismo que mediante un proceso de moldeo se obtendrá nuevas piezas de material plástico ya sea este procesado o reciclado para ello se deberá tomar muy en cuenta las temperaturas necesarias dependiendo el tipo de plástico ya que su estructura molecular no es la misma .

Impacto tecnológico: la construcción de la maquina se encuentra basada en diseño de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica De Cotopaxi , el mismo que al analizar se procedió a realizar diversos cambios para llegar al objetivo es decir construir la maquina extrusora de plástico , ya que dicho proyecto será involucrado en proyectos futuros de los estudiantes de la carrera los mismos que usaran la máquina para explicar diferentes procesos de formado y producción a base de material plástico

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones:

- Se diseñó y construyó un sistema electromecánico para extrusión de gránulos de PET reciclados, el mismo que servirá como apoyo en proyectos de investigación de polímeros
- Se utilizó gránulos cristalizados de PET, se llegó a la fundición de los mismos debido a dos fenómenos, el calor producido por el calefactor y la fricción del material entre el husillo y la camisa de la extrusora, sin estos dos factores la fundición del material no se produciría.
- Se diseñó e implementó control ON-OFF, en dos zonas que regularan la temperatura del calefactor, permitiendo su encendido o apagado de acuerdo a un valor de referencia, este tipo de control es suficiente para la máquina extrusora
- Se diseñó, construyó y probó una maquina extrusora de polietileno de baja densidad de tornillo simple que permitió procesar el material en forma de pellets para su implementación como practica de laboratorio en la asignatura de diseño de máquinas y procesos de manufactura
- Se elaboraron los planos detallados de la máquina extrusora de polietileno tomando en cuenta diferentes fuentes bibliograficas para que nos facilite la construcción de la máquina deseada
- La estructura del tornillo extrusor y la camisa de la máquina extrusora de plástico pueden resistir cargas estructurales y termicas sin verse afectada la integridad estructural y termica de estos componentes

7.2 Recomendaciones:

- Para aplicaciones industriales la temperatura de los calefactores debe variar de acuerdo a las diferentes zonas, es decir en la zona de alimentación debe estar a una temperatura

inicial, la zona de transición debe estar a una temperatura media y la de dosificación a su temperatura máxima.

- La temperatura a la cual se va a trabajar no debe sobre pasar los 250°C, esto es debido a que el material se degradaría y como resultado se puede llegar a tener material quemado ya que la temperatura de auto combustión del plástico esta entre 250 y 350 °C .
- El calor que produce el calefactor se disipa hacia el ambiente, esto provoca que el tiempo que se demore en calentar a la extrusora sea muy elevado aproximadamente 40 minutos, se recomienda colocar una guarda reforzada con fibra de vidrio que concentre el calor del calefactor y poder reducir el tiempo de arranque de operación de la máquina.
- Una vez concluida la extrusión es necesario asegurar que el tornillo se encuentre sin material, caso contrario es posible que el material se adhiera a la camisa, esto provocaría que el tornillo quede pegado a las paredes de la camisa.
- Las extrusoras de plástico en procesos industriales, nunca se las apaga para evitar que el polímero se adhiera a las superficies y bloquee los componentes, debido a que la máquina extrusora al final de cada operación será apagada es muy importante realizar el mantenimiento descrito en el manual y asegurarse que el extrusor quede sin material en su interior, sin embargo es recomendable al encender nuevamente la máquina y esperar alcanzar su temperatura de operación con el fin de evitar un sobre esfuerzo al motor en el caso que se encontrara material adherido a las paredes.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «TECNOBIOMETRIC,» 18 enero 2019. [En línea]. Available: www.tecnobiometric.com/maquinas-extrusoras-de-plastico-que-son-y-para-que-sirven/. [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [2] F. G. Torres García, «PROCESOS DE MANUFACTURA Y DISEÑO,» University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), Manchester M60 1QD, United Kingdom, 1999.
- [3] G. Pacheco Rufián, «Diseño y construcción de una extrusora lateral y,» Dep. de Ingeniería Mecánica y Fabricación, Sevilla, 2017.
- [4] P. A. Gutiérrez Morales y J. F. Bornacelli Castillo, «METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO,» Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, 2008.
- [5] P. M. Alegre Juárez y J. I. García Solís, «Procesos de fabricación en plásticos,» tecnología industrial 2.
- [6] W. Tarco y M. Toalombo, *EELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALTERNATIVOS*, Iatacunga: universidad técnica de cotopaxi, 2012.
- [7] M. A. Vallejo Torres, «implementación de un sistema automatizado de extrusión de una máquina inyectora,» de *Trabajo de Graduación*, Ambato, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2010, pp. 8-9.
- [8] m. Beltrán y A. Marcilla, «Tecnología de polímeros».
- [9] Méndez, «Ingeniería en los procesos de extrusión,» 2010, p. 223.
- [10] J. L. AMOROS, «Diseño de Silos y Tolvas para almacenamiento de materiales,» enero 2011. [En línea]. Available: J.L. Amorós, (2011, Enero), Diseño de Silos y T <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdf/0013041s.pdf>. [Último acceso: 25 febrero 2019].
- [11] «tecnología de los plásticos,» 15 MARZO 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>. [Último acceso: 30 Mayo 2019].
- [12] B. S. Males Guallasamin, «ESTUDIO DEL MODELO Y EL CONTROL ACTUAL DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PVC,» Escuela Politécnica Nacional, QUITO, 1999.

- [13] R. Cifuentes, *Diseño de una maquina extrusora*, Santiago De Cali: Universidad Del Valle, 2011.
- [14] C. E. NARANJO IZURIETA , «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ELABORADORA DE HILO PET,» UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, QUITO, 2015.
- [15] L. A. Patarroyo, Diseño de elemento de maquinas, 5 julio 2011. [En línea]. Available: <http://luisalepatarroyo.blogspot.com/2011/07/bastidores-o-estructuras-de-maquinas.html>. [Último acceso: 29 mayo 2019].
- [16] Moli De La Bastida, «Aristegui Maquinaria, S.L.» Blixt, 8 Abril 2013. [En línea]. Available: <https://www.aristegui.info/la-evolucion-de-la-extrusora/>. [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [17] r. l. mott, diseño de elementos de maquinas, mexico: pearson educacion, 2006.
- [18] I. Alarcón, 28 abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-deficit-reciclar-basura-contaminacion.html>. [Último acceso: 15 abril 2019].
- [19] ferro-cortes, [En línea]. Available: <http://www.ferrocortes.com.co/aisi-sae-1020/>. [Último acceso: 14 abril 2019].
- [20] «matweb.com,» dataSheet, [En línea]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=a3cb537b777b4fe299c658b23d43378b&ckck=1>. [Último acceso: 05 abril 2019].
- [21] «omega company,» spectris company, [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.htm>. [Último acceso: 22 abril 2019].
- [22] M. L. Cornish Alvarez, «El ABCde los plasticos,» universidad Iberoamericana, 2007.
- [23] S. Laville, «el diario.es,» 2017 junio 2017. [En línea]. Available: https://www.eldiario.es/theguardian/compra-botellas-plastico-mayoria-vertederos_0_659684375.html. [Último acceso: 15 abril 2019].
- [24] K. Noroña, «el comercio,» 14 septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/desechos-plasticos-oceanos-ecuador-ministeriodelambiente.html>. [Último acceso: 15 abril 2019].
- [25] «Disposicion de desechos plasticos,» *norma NTE INEN 2634*, 2012.

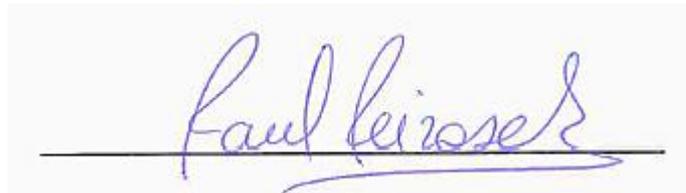
- [26] A. D. 2. 5338, *metodo de prueba standar para determinar el tiempo de degradacion de desechos plasticos*, mexico: Mc Graw-hill, 2007.
- [27] . W. Timothy W. , «Ming Jilee,» ABRIL 2005. [En línea]. Available: <http://www.plastico.com/temas/Lo-que-usted-debe-saber-sobre-diseno-de-tornillos+3038729>. [Último acceso: 30 Mayo 2019].
- [28] M. Philip, Matriz Pugh, Guadalajara, Mexico, 2014.
- [29] L. F. Ramos, «Extrusion doble husillo,» de *extrusion de plasticos* , mexico, 2012, pp. 137-140.
- [30] «Blog spot,» 10 febrero 2010. [En línea]. Available: <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com>. . [Último acceso: 20 abril 2019].
- [31] E. L. Vasquez Torres, «aceros ingenieria al carbono,» 2013.



Shingón Colahuazo Oscar Adrián
Proponente 1
Email: Oscar.Shingon3@utc.edu.ec
Telf.: 0995737836



Uvillus Tipan Gustavo Javier
Proponente 2
Email: Gustavo.uvillus5@utc.edu.ec
Telf.: 0980592859



Ing. Reinoso Peñaherrera Héctor Raúl
PROFESOR TUTOR
Telf.:0987294435

9 ANEXOS

Anexo I

Anexo I. 1. Tipos de plásticos su densidad y usos

CODIGO NUMÉRICO	ABREVIATURA	TIPO DE PLÁSTICO	Usos comunes
1	PET	Poliéster	Bebidas carbonatadas
2	PEAD ,(HDPE)	Poliétileno de alta	Envases de detergentes y shampoo, láminas, bolsas, bidones, etc.
3	PVC	Polivinilo	Tuberías, cables, cortinas de ducha, juguetes, pisos, etc.
4	PEBD ,(LDPE)	Poliétileno de baja densidad	Envases de películas finas y envoltorios, pañales, láminas
5	PP	Polipropileno	Tapas, etiquetas, baterías,
6	PS	Poliestireno	Envases de espuma, vasos y cubiertos descartables, etc.
7	Otros	Varios	

Fuente: [22]

Anexo I. 2. Propiedades Del (Pet)

PET	
Formula molecular	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n
Densidad amorfa	1,370 g/cm ³
Densidad cristalina	1,455 g/cm ³
Módulo de Young (E) (E)	2800–3100 MPa
Presión(σ)	55–75 MPa
Límite elástico	50–150%
Notch test	3,6 kJ/m ²
Glas temperature	75 °C
Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Conductividad térmica	0,24 W/(m·K)
Coeficiente de dilatación lineal (α)	7×10 ⁻⁵ /K
Calor específico (c)	1,0 kJ/(kg·K)
Absorción de agua	0,16
Índice de refracción	1,5750
Costo	0,10–0,35 \$/kg

Fuente: [22]

Anexo II 1

Subsistema a: Alimentación

Alternativa 1: Tolva de Sección Rectangular.

Tabla II 1. Ventajas-Desventajas: Tolva rectangular

Ventajas	Desventajas
Costo medio	Dobleces repetitivos lo que ocasiona una construcción de dificultad moderada
Permite recibir y acumular la materia prima para posteriormente dosificar al siguiente subsistema	Debido a los dobleces no permite un flujo constante de la materia prima y es poco constante
Tiempo de construcción bajo.	Mantenimientos ocasionales debido al desgaste de las paredes

Alternativa 2: Tolva de Sección Circular

Tabla II 2. Ventajas-Desventajas: Tolva Circular

Ventajas	Desventajas
Mantenimiento mínimo.	Nivel de construcción complejo. Costo de construcción elevado.
Permite recibir y acumular la materia prima para posteriormente dosificar al siguiente subsistema.	Costo de construcción elevado.
Proporciona un flujo constante de materia prima	Tiempo de construcción medio.

Criterios de Selección del Subsistema A Para evaluar de manera efectiva el subsistema de alimentación se han tomado los siguientes criterios como primordiales:

- Costo:
- Tiempo de construcción:
- Mantenimientos:
- Flujo de material:

En base al ejemplo de la Tabla 6.1 se realizará la ponderación para obtener numéricamente la importancia de los criterios de selección y de igual manera para el análisis de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios.

Tabla II 3.Ponderación de Criterios del Subsistema A

Costo = Flujo > Tiempo > Mantenimiento						
	costo	Flujo	Tiempo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0.5	1	1	3,5	0,35
Flujo	0.5		1	1	3,5	0,35
Tiempos	0	0		1	2	0,20
Mantenimiento	0	0	0		1	0,10
TOTAL					10,00	1

La Tabla II.3 muestra numéricamente que los criterios de costo y flujo de material son los más importantes para la selección de las alternativas.

Tabla II 4.Criterios de Selección: Flujo de la Materia Prima

Alternativa 2 > Alternativa 1				
	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
TOTAL			3	1

La Tabla II.4 muestra numéricamente que la alternativa 2 (tolva circular) es mejor que la alternativa dos con respecto al criterio flujo de la materia prima.

Tabla II 5. Criterios de Selección: Costo

Alternativa 1 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
Total			3	1

La Tabla II.5 muestra numéricamente que la alternativa 2 (tolva circular) es la mejor con respecto al criterio de costo.

Tabla II 6. Criterios de Selección: Tiempo de Construcción

Alternativa 1 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
Total			3	1

La Tabla II.6 muestra el predominio de la alternativa 2 (tolva circular) sobre la alternativa 2 (tolva rectangular) con respecto al tiempo de construcción de la tolva.

Tabla II 7.Criterios de Selección: Mantenimiento

Alternativa 1 < Alternativa 2				
	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
Total			3	1

La Tabla II.7 indica que con respecto al mantenimiento, la alternativa 1 (tolva circular) es la mejor. Una vez analizadas las alternativas en cuanto a los criterios establecidos por el autor, es necesario obtener cuál de las alternativas será la escogida. Para escoger la alternativa se realizará una multiplicación del puntaje que obtuvo el criterio en la Tabla 6.4 y el puntaje que obtuvo cada alternativa al momento de evaluar con cada uno de los criterios

Tabla II 8. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema A

	Costo	Flujo	Tiempos	Mantenimientos	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,12	0,12	0,07	0,03	0,34	2
Alternativa 2	0,23	0,23	0,13	0,07	0,66	1

En la Tabla II.8 se realiza las operaciones para comparar cual es la mejor alternativa con respecto a cada uno de los criterios. La alternativa con mayor ponderación es la alternativa 2 (tolva circular), por lo tanto, esta es la que se utilizará.

Subsistema B: Extrusión

Este subsistema trata acerca de las diferentes alternativas para la selección de una extrusora adecuada tanto para el tipo y transformación el material como para el costo total del proyecto.

Alternativa 1: Extrusora Mono husillo

Tabla II 9. Ventajas-Desventajas: Husillo simple

Ventajas	Desventajas
Manufactura sencilla	Material avanza acorde a la extrusora.
Tasa de producción baja	No permite una salida uniforme de material por su boquilla.
Costo moderado	El torneado es dificultoso, debido a los diferentes diámetros a lo largo del alma.

Alternativa 2: Extrusor de Doble Husillo Engranado

Tabla II 10. Ventajas-Desventajas: Husillo Engranado

Ventajas	Desventajas
Mayor arrastre del material a lo largo de la extrusora	Costo de producción elevado.
Tiempo de producción medio.	Precisión que se necesita en la construcción de los dos husillos para lograr engranar perfectamente en uno con el otro.
Homogenización de extrusión del material.	Estructura poco compacta

Alternativa 3: Extrusor de Doble Husillo no Engranado

Tabla II 11.Ventajas-Desventajas: Husillo No Engranado

Ventajas	Desventajas
Mayor arrastre del material a lo largo de la extrusora	Costo de producción elevado.
Tiempo de producción alto.	Precisión en la construcción de los husillos para el engranaje de sus filetes.
Extrusión total del material.	Estructura maciza poco compacta

Criterios de Selección del Subsistema B

Para evaluar de manera efectiva el subsistema de alimentación se han tomado los siguientes criterios como primordiales:

- **Costo:**
- **Tiempo de producción:**
- **Precisión de ensamblado:**
- **Arrastre del material:**

A continuación, se realiza la ponderación para determinar las mejores alternativas en base a la matriz Pugh.

Tabla II 12.Ponderación de Alternativas del Subsistema B

Costo>Tiempo=Arrastre>Ensamblado						
	Costo	Tiempo	Arrastre	Ensamblado	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0,40
Tiempo	0		0,5	1	2,5	0,25
Arrastre	0	0.5		1	2,5	0,25
Ensamblado	0	0	0		1	0,10
TOTAL					10	1

La Tabla II.12 muestra al costo como el principal criterio de selección el momento de elegir cualquier alternativa, a continuación, el tiempo y el arrastre de material con igual importancia y como último criterio la precisión que necesita para ser ensamblado.

Tabla II 13.Criterios de Selección: Costo

Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,50
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,17
Total				6	1

Los resultados de la Tabla II.13 muestra que la alternativa 1 (monohusillo) es la mejor opción en base al costo más bajo.

Tabla II 14. Criterios de Selección: Tiempo de Producción

Alternativa 1<Alternativa 2<Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0	2	0,33
Alternativa 3	1	1		3	0,50
Total				6	1

La Tabla II.14 muestra en cuanto a tiempos de producción la alternativa 3 (doble husillo no engrando) es la mejor en comparación con las 2 alternativas más

Tabla II 15.. Criterios de Selección: Arrastre del Material

Alternativa 1<Alternativa 2<Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0	2	0,33
Alternativa 3	1	1		3	0,50
Total				6	1

La alternativa 3 (doble husillo no engrando) es la mejor opción para el arrastre del material según los criterios analizados en la Tabla II.15.

Tabla II 16. Criterios de Selección: Precisión de Ensamblado

Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,50
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,17
Total				6	1

La Tabla II.16 muestra que la alternativa 1 (monohusillo) es la que necesita una menor precisión al ensamblado del husillo y la camisa. De igual forma que en el subsistema A, para escoger la alternativa se realiza una multiplicación del puntaje que obtuvo el criterio en la Tabla II. 12 y el puntaje que obtuvo cada alternativa al momento de evaluar con cada uno de los criterios.

Tabla II 17. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema B

	Costo	Tiempo	Arrastre	Ensamblado	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,2	0,04	0,04	0,05	0,34	1
Alternativa 2	0,13	0,08	0,08	0,03	0,33	3
Alternativa 3	0,06	0,12	0,12	0,02	0,34	2

En este subsistema, en la sumatoria para escoger la mejor alternativa tanto la alternativa 1 (monohusillo) como la alternativa 3 (husillo doble no engrando) comparten el mismo puntaje, de esta forma se podría escoger cualquiera de las dos alternativas, pero en la Tabla II.12 se demostró numéricamente que el criterio de costo es el que predomina ante los otros

critérios, por lo tanto se escoge la alternativa 1 (monohusillo) debido a que es la mejor referente al costo.

Subsistema c: Transferencia de calor

Transferencia de calor, en física, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura.

Alternativa 1-, fundición por resistencias eléctricas

Tabla II 18. Ventajas-Desventajas: resistencia eléctrica

Ventajas	Desventajas
Fácil de instalar	
Sistema silencioso y seguro de operar	
Mejor control de temperatura	

Alternativa 2; transmisión de calor por fuego

Tabla II 19. Ventajas-Desventajas: transmisión de calor por fuego

Ventajas	Desventajas
Sistema independiente para su funcionamiento	Costo elevado de instalación y mantenimiento
Altas temperaturas en menor tiempo	Difícil de controlar la temperatura
	Produce una temperatura no uniforme

Alternativa 3; transmisión de calor por vapor

Tabla II 20. Ventajas-Desventajas: transmisión de calor vapor

Ventajas	Desventajas
Altas temperatura en menor tiempo	Mayor costo de instalación y mantenimiento
	No produce una temperatura uniforme
	Se necesita otros sistemas para la producción de vapor

Criterios de Selección del Subsistema C

Para evaluar de manera efectiva el subsistema de transmisión de calor se han tomado los siguientes criterios como primordiales:

- **Costo**
- **Tiempo de instalación**
- **Mantenimiento**
- **Generación de temperatura:**

Tabla II 21. Ponderación de Alternativas del Subsistema C

Costo>Tiempo>mantenimiento<generación						
	Costo	Tiempo	mantenimiento	Generación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	0	3	0,3
Tiempo	0		1	0	2	0,2
mantenimiento	0	0		0	1	0,1
generacion	1	1	1		4	0,4
TOTAL					10	1

La Tabla II.21 muestra numéricamente que los criterios de costo y la generación de temperatura son los más importantes para la selección de las alternativas

Tabla II 22. Criterio de selección costo

Alternativa 1>Alternativa 2=Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.50
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0,25
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.25
Total				6	1

La Tabla II.22 muestra numéricamente que la alternativa 1 (resistencia eléctrica) es la mejor con respecto al criterio de costo

Tabla II 23. Criterio respecto al tiempo de instalación

Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.50
Alternativa 2	0		1	2	0.33
Alternativa 3	0	0		1	0.17
Total				6	1

La Tabla II.23 muestra numéricamente que la alternativa 1 (por resistencia eléctrica) es la mejor con respecto al tiempo de instalación

Tabla II 24. Criterio con respecto al mantenimiento

Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.50
Alternativa 2	0		1	2	0.33
Alternativa 3	0	0		1	0.17
Total				6	1

La Tabla II.24 muestra numéricamente que la alternativa 1 (por resistencia eléctrica) es la mejor con respecto al mantenimiento

Tabla II 25. Criterio con respecto a la generación de temperatura

	Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.50
Alternativa 2	0		1	2	0.33
Alternativa 3	0	0		1	0.17
Total				6	1

La Tabla II.25 muestra numéricamente que la alternativa 1 (por resistencia eléctrica) es la mejor con respecto a la generación de temperatura

De igual forma que en el subsistema A, para escoger la alternativa se realiza una multiplicación del puntaje que obtuvo el criterio en la Tabla II.21 y el puntaje que obtuvo cada alternativa al momento de evaluar con cada uno de los criterios

Tabla II 26. Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema C

	Costo	Tiempo	mantenimiento	generación	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,16	0,1	0,05	0,2	0,51	1
Alternativa 2	0,08	0,07	0,03	0,13	0,31	3
Alternativa 3	0,08	0,34	0,01	0,07	0,5	2

Este subsistema, en la suma se puede constatar que la mejor alternativa es la número uno (generación de temperatura por medio de resistencias eléctricas) debido a su costo y su facilidad de mantenimiento

Las alternativas para el sistema del sistema de inyección son: cilindro émbolo, cilindro husillo, cilindro doble husillo, cada una posee características de construcción y de funcionamiento, que se describe mediante la siguiente matriz.

Subsistema D: Transmisión de potencia

Este sistema permitirá dar movimiento al tornillo extrusor el mismo que está encargado de transportar la materia prima de un extremo a otro para el sistema de potencia encontramos dos alternativas

Alternativa 1, con motor eléctrico

Tabla II 27. Ventajas y desventaja de motor eléctrico

Ventajas	Desventajas
Mantiene una velocidad uniforme	Costo
Posee un torque de funcionamiento específico	Necesita de otros accesorios para su funcionamiento
	Mantenimiento

Alternativa 2: Generación De Potencia De Forma Manual

Tabla II 28. Ventajas y desventajas de transmisión manual

Ventajas	Desventajas
costo bajo	Mayor Esfuerzo físico por parte del operador
No necesita de mantenimiento	Velocidad de tornillo inadecuado
No necesita accesorios para su funcionamiento	La potencia de trabajo será variada

Criterios de Selección del Subsistema B

Para evaluar de manera efectiva el subsistema de alimentación se han tomado los siguientes criterios como primordiales:

- Costo:
- Efectividad de trabajo
- Mantenimiento:

A continuación, se realiza la ponderación para determinar las mejores alternativas en base a la matriz Pugh.

Tabla II 29. Ponderación de Alternativas del Subsistema C

Costo > efectividad > mantenimiento					
	Costo	Efectividad	mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	3	0.5
Efectividad	0		1	2	0.33
Mantenimiento	0	0		1	0.16
TOTAL				6	1

En la tabla II.29 muestra al costo como el principal criterio de selección el momento de elegir cualquier alternativa, a continuación la efectividad y el mantenimiento como último criterio

Tabla II 30. Criterio de selección costos

Alternativa 1 < Alternativa 2				
Alternativa 1	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

Los resultados de la Tabla II.30 muestra que la alternativa 1 (transmisión manual) es la mejor opción en base al costo más bajo.

Tabla II 31. Criterio de selección por efectividad de trabajo

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Alternativa 1	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

Los resultados de la Tabla II.31 muestran que la alternativa 1 (motor eléctrico) es la mejor opción en base a la efectividad de trabajo

Tabla II 32..Criterio de selección por mantenimiento

Alternativa 1 < Alternativa 2				
Alternativa 1	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

Los resultados de la Tabla II.32 muestran que la alternativa 1 (transmisión manual) es la mejor opción por no tener necesidad de mantenimiento

De igual forma que en el subsistema A, para escoger la alternativa se realiza una multiplicación del puntaje que obtuvo el criterio en la Tabla II.13 y el puntaje que obtuvo cada alternativa al momento de evaluar con cada uno de los criterios

Tabla II 33.Ponderación de Criterios vs. Alternativas del Subsistema D

	Costo	efectividad	mantenimiento	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.33	0.22	0,11	0.66	1
Alternativa 2	0.17	0,11	0,03	0,31	2

En este subsistema, en la sumatoria para escoger la alternativa da como resultado que para nuestra maquina la mejor fuente de potencia es la manual pero por motivo de ahorrar el esfuerzo físico del operador es necesario una transmisión por medio de un motor eléctrico

ANEXO III: Especificaciones Del Material Para La Extrusora

Anexo III. 1 Material Para La Estructura Acero AISI 1020



BARRAS DE ACERO AL CARBONO
AISI / SAE 1020

FT 01_001

Estado de suministro
Calibrado con tolerancia ISO 266-2 hu
Torneado
Laminado en caliente (Negro) con tolerancia DIN 1013
Premaquinado

Formas y color:



Composición química (% en peso)

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.15	0.15	0.60	-	-
0.20	0.35	0.90	0.040	0.050

Densidad: 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alargamiento en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad 1212 EF -100%
	PSI	MPa	PSI	MPa				
Caliente y maquinado	58000	400	32000	220	25	50	116	70
Estirado en frío	64000	440	53600	370	15	40	126	

Tratamientos térmicos recomendados (Valores en °C)

Forjado	Normalizado	Recocido		Templado	Revenido	*T Crítica aprox.	
		Ablanda/. Enfriar al aire	Regeneración Enfriar en horno			Ac1	Ac3
1100-1250	870 - 900	850 - 890	850 - 890	Cementar 925	150 - 250	724	840

Características
Acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad. De baja dureza para usos convencionales de baja exigencia. Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad.

Aplicaciones
Bases de matrices, soportes, engranajes, flanges, pernos de anclaje, ejes, cadenas, bujes, tornillería corriente y pasadores de baja resistencia. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar, recalcar, entre otros.

Anexo III. 2. Especificación del material usado para la fabricación del tornillo extrusor y cilindro
ACERO ASIS 4140

ACERO SAE 4140

DIN	42 Cr Mo 4
UNI	40CD4
SAE	4140
AFNOR	42 CD 4

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Es un acero de temple en aceite de medio carbono aleado al cromo-molibdeno de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400°C sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión en secciones pequeñas y medianas. Puede ser endurecido superficialmente por temple directo (a la llama o por inducción), obteniendo durezas de 57-62 Rockwell C. Generalmente se entrega en estado bonificado (con dureza entre 28 a 32 HRC).

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm³.
- Módulo de elasticidad → 2.1×10^{11} Pa
- Coeficiente de Dilatación / °C →
 - 20 a 100°C = 12.3×10^{-6}
 - 20 a 200°C = 12.7×10^{-6}
 - 20 a 400°C = 13.7×10^{-6}
 - 20 a 600°C = 14.5×10^{-6}
- Conductividad térmica → W/m · °C.
 - 20 a 100°C = 42.7
 - 20 a 200°C = 42.3
 - 20 a 400°C = 37.7
 - 20 a 600°C = 33.1
- Calor específico (J/kg·°C):
 - 20 a 200°C = 473
 - 20 a 400°C = 519
 - 20 a 600°C = 561
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
 - 20°C = 0.22
 - 20 a 100°C = 0.26
 - 20 a 200°C = 0.33
 - 20 a 400°C = 0.48
 - 20 a 600°C = 0.65



COMPOSICIÓN QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si %	Cr %	Mo %
Análisis típico en %	0.38 0.43	0.75 1.0	0.035	0.04	0.2 0.35	0.80 1.10	0.15 0.25

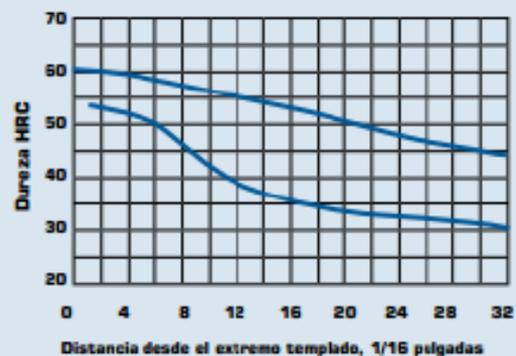
PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
Estado de Suministro	Resistencia a la Tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de Área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en Caliente	588 - 690	392	22	50	210 - 240
Calibrado	690 - 785	588	14	40	240 - 260
Ronificado	850 - 981	728	14	47	260 - 320

Note: Estas propiedades mecánicas son tomadas sobre redondos de 25mm. Para mayores e menores dimensiones hay que considerar el efecto de masa.

BANDA DE TEMPLABILIDAD

BANDA DE TEMPLABILIDAD PARA EL ACERO 4140							
Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC		Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC	
1/16 in	mm	Máx.	Mín.	1/16 in	mm	Máx.	Mín.
1	1.58	60	53	13	20.54	55	38
2	3.16	60	53	14	22.12	54	37
3	4.74	60	52	15	23.70	54	36
4	6.32	59	51	16	25.28	53	35
5	7.90	59	51	18	26.44	52	34
6	9.48	58	50	20	28.60	51	33
7	11.06	58	48	22	34.75	49	33
8	12.64	57	47	24	37.92	48	32
9	14.22	57	44	26	41.08	47	32
10	15.80	56	42	28	44.24	46	31
11	17.38	56	40	30	47.40	45	31
12	18.96	55	39	32	50.56	44	30

Curva de Templabilidad



TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Ceniza - arena seca
Normalizado	850 - 870	Aire
Recocido globular	750	Horno
Recocido subcrítico	680 - 720	Horno
Temple	830 - 850	Aceite
Revenido	500 - 650	Aire

Diámetro crítico: Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza:

70mm de diámetro con enfriamiento en agua

45mm de diámetro con enfriamiento en aceite

Planchas de Acero ASTM A36



PLANCHAS DE ACERO A36

Planchas de acero, también conocido como laminado en caliente (LAC) de acero en calidad A36. La plancha es una placa de acero estructural utilizado para la construcción en general y aplicaciones industriales.

Especificaciones: ASTM A36, AISI A36

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar.

Se mide en espesor x ancho x largo

Propiedades Mecánicas	Limite de Fluencia (kg/mm ²)	24 min.
	Resistencia a la Tracción (kg/mm ²)	41 min
	Alargamiento (%) en 50 mm	18 min.

NORMA TÉCNICA	GRADO B				
	C	Mn	P	S	Si
A36	0.25	0.8-1.2 máx	0.040 máx	0.050 máx	0.40 máx

Espesor	Ancho		Largo		Peso Teórico
	mm	pie	mm	pie	Kg/ plancha
2.0	1200	4	2400	8	44.05
2.5	1200	4	2400	8	55.55
3.0	1200	4	2400	8	67.05
4.5	1200	4	2400	8	100.50
6.0	1200	4	2400	8	134.81
8.0	1200	4	2400	8	180.80
9.0	1200	4	2400	8	200.25
12.0	1200	4	2400	8	270.90
16.0	1200	4	2400	8	363.74
19.0	1200	4	2400	8	433.60

* Equivalencias de conversión son aproximadas.

* Fotos y datos referenciales. No aceptamos responsabilidad por usos incorrectos o mal interpretaciones de estos datos.

ANEXO IV

Anexo IV. 1 Especificaciones de la termocupla



	BNX	Cobre
* Estos materiales de termocuplas están listados como típicos comercialmente disponibles en la actualidad y su listado no implica ningún respaldo de este estándar.		

Temperatura superior límite recomendada para termocuplas protegidas

TEMPERATURA LÍMITE SUPERIOR PARA DISTINTOS CALIBRES DE ELEMENTOS (AWG), deg. C (deg. F)					
Termocupla tipo	Calibre No. 8 (3,25 mm., 0,128 in.)	Calibre No. 14 (1,63 mm., 0,064 in.)	Calibre No. 20 (0,81 mm., 0,032 in.)	Calibre No. 24 (0,51 mm., 0,020 in.)	Calibre No. 28 (0,33 mm., 0,013 in.)
T		370 (700)	260 (500)	200 (400)	200 (400)
J	760 (1400)	590 (1100)	480 (900)	370 (700)	370 (700)
E	870 (1600)	650 (1200)	540 (1000)	430 (800)	430 (800)
K	1260 (2300)	1090 (2000)	980 (1800)	870 (1600)	870 (1600)
R & S				1480 (2700)	
B				1700 (3100)	

Límites de error para termocuplas

Termocupla tipo	Rango de temperatura, °C	Límite de error	
		Estándar (cualquiera superior)	Especial (cualquiera superior)
T	0-350	+/- 1°C or +/- 0,75%	+/- 0,5°C or 0,4%
J	0-750	+/- 2,2°C or +/- 0,75%	+/- 1,1°C or 0,4%
E	0-900	+/- 1,7°C or +/- 0,5%	+/- 1°C or +/- 0,4%
K	0-1250	+/- 2,2°C or +/- 0,75%	+/- 1,1°C or +/- 0,4%
R & S	0-1450	+/- 1,5°C or +/- 0,25%	+/- 0,6°C or +/- 0,1%
B	800-1700	+/- 0,5%	---

ANEXO V

Anexo V. 1. Especificaciones de la termocupla

AIRE

Temperatur °K	Densidad ρ (Kg/m ³)	Calor especifico c_p kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m ² /seg)	Nº de Prandt Pr
100	3,6010	1,027	0,692	1,92	0,0092	0,0250	0,770
150	2,3675	1,010	1,028	4,34	0,0137	0,0575	0,753
200	1,7684	1,006	1,329	7,49	0,0181	0,1017	0,739
250	1,4128	1,005	1,488	10,53	0,0223	0,1316	0,722
300	1,1774	1,006	1,983	16,84	0,0262	0,2216	0,708
350	0,9980	1,009	2,075	20,76	0,0300	0,2983	0,697
400	0,8826	1,014	2,286	25,90	0,0336	0,3760	0,689
450	0,7833	1,021	2,484	31,71	0,0371	0,4222	0,683
500	0,7048	1,030	2,671	37,90	0,0404	0,5564	0,680
550	0,6423	1,039	2,848	44,34	0,0436	0,6532	0,680
600	0,5879	1,055	3,018	51,34	0,0466	0,7512	0,680
650	0,5430	1,063	3,177	58,51	0,0495	0,8578	0,682
700	0,5030	1,075	3,332	66,25	0,0523	0,9672	0,684
750	0,4709	1,086	3,481	73,91	0,0551	1,0774	0,686
800	0,4405	1,098	3,625	82,29	0,0578	1,1981	0,689
850	0,4149	1,109	3,765	90,75	0,0603	1,3097	0,692
900	0,3925	1,121	3,899	99,30	0,0628	1,4271	0,696
950	0,3716	1,132	4,023	108,20	0,0653	1,5510	0,699
1000	0,3524	1,142	4,152	117,80	0,0675	1,6779	0,702
1100	0,3204	1,160	4,440	138,60	0,0732	1,9690	0,704
1200	0,2947	1,179	4,690	159,10	0,0782	2,2510	0,707
1300	0,2707	1,197	4,930	182,10	0,0837	2,5830	0,705
1400	0,2515	1,214	5,170	205,50	0,0891	2,9200	0,705
1500	0,2355	1,230	5,400	229,10	0,0946	3,2620	0,705
1600	0,2211	1,248	5,630	254,50	0,1000	3,6090	0,705
1700	0,2082	1,267	5,850	280,50	0,1050	3,9770	0,705
1800	0,1970	1,287	6,070	308,10	0,1110	4,3790	0,704

Anexo V. 2. Emisividad del aire

2.- EMISIVIDADES NORMALES

METALES	Estado superficie	Temperatura (°C)	Emisividad	NO METALES	Estado superficie	Temperatura (°C)	Emisividad
Aluminio	placa pulida	25	0.040	Amianto	en cartón	37	0.960
Aluminio	placa pulida	200-600	0.038-0.06	Amianto	en papel	37	0.930
Aluminio	oxidado	100-500	0.20-0.33	Ladrillo	magnesita refractar	1000	0.380
Aluminio	placa mate	25	0.070	Ladrillo	rojo, rugoso	20	0.930
Antimonio	pulido	37-260	0.28-0.31	Ladrillo	gris, satinado	1100	0.750
Latón	oxidado	200-500	0.600	Ladrillo	silice	540	0.800
Latón	pulido	20-300	0.05-0.032	Carbón,	filamento	1050-1400	0.526
Latón	placa usada	50-350	0.220	Carbón,	carbonilla buijas	95-270	0.953
Latón	mate	50	0.202	Carbón,	negro de humo	20	0.930
Cromo	pulido	37-1100	0.058	Cerámica	alfarería, satinado	20	0.900
Cobre	negro oxidado	37	0.780	Cerámica	porcelana	22	0.920
Cobre	ligeramente mate	25	0.037	Cerámica	refractaria, negra	93	0.940
Cobre	pulido	37-260	0.04-0.05	Arcilla	caldeada	70	91
Cobre	pulido electrolítico	80	0.018	Hormigón	rugoso	37	0.94
Oro	no pulido	20	0.470	Vidrio	liso	22	0.940
Oro	pulido	37-260	0.020	Vidrio	Pyrex, plomo, sosa	260-530	0.95-0.85
Hierro	oxidado	100	0.740	Hielo	liso	0	0.966
Hierro	esmerilado	20	0.240	Hielo	rugoso	0	0.985
Hierro	pulido	425-1025	0.14-0.38	Mármol	grano fino pulido	22	0.93
Hierro	pulido electrolítico	175-225	0.052-0.064	Mica		37	0.75
Hierro	todo oxidado	20	0.69	Mampostería	emplastecida	0	0.930
Hierro	laminado	925-1100	0.87-0.95	Papel	ordinario	20	0.8-0.9
Fundición	mecanizada	22	0.44	Papel	amianto	20	0.950
Fundición	oxidada a 600°C	200-600	0.64-0.78	Papel	alquitranado	20	0.910
Plomo	oxidado a 200°C	200	0.63	Papel	ordinario	95	0.920
Plomo	oxidado gris	23	0.280	Yeso blanco	rugosa	20	0.930
Plomo	pulido	130-260	0.08-0.056	Porcelana	vidriada	20	0.930
Magnesio	pulido	37-260	0.07-0.13	Cuarzo fundido	rugoso	20	0.930
Magnesio	oxidado	275-825	0.55-0.2	Goma blanda	gris	25	0.860
Molibdeno	para filamentos	700-2600	0.10-0.20	Goma dura	negra rugosa	25	0.950
Molibdeno	pulido	150-480	0.02-0.05	Madera de haya	láminas	25	0.935

10 Aspectos de seguridad

Las medidas de seguridad deben tomarse en cuenta para el operario y para la máquina. El operario de la máquina debe usar mascarilla, gafas y tapones para oídos. Para el motor de la máquina se considera necesario una protección eléctrica que consta de una botonera ON/OFF para el encendido y apagado, en caso de que la máquina entre en estado de falla se tiene el botón de paro tipo hongo que al activarlo detiene la operación de la máquina.



Figura 10. 1 Señales de prevención

Fuente: [7]

10.1 Seguridad funcional del prototipo

Las industrias hoy en día, están destinando elevadas cantidades de dinero para realizar estudios de las seguridades en las máquinas, con el fin de implementar controles, ya sea visuales o físicos para precautelar la seguridad y salud de sus empleados, pero en especial de las personas que operan las máquinas.

Es importante aclarar que si una persona no está capacitada para utilizar la maquina extrusora no debe accionarla por ningún motivo ya que existen mecanismos y accionamientos que podrían desembocar en un accidente.

Es primordial conocer los principales factores de riesgos que existen los cuales pueden estar presentes en la máquina. Los factores de riesgo son 6: mecánicos, físicos, ergonómicos, psicosociales, químicos, biológicos, en la máquina los tres últimos factores de riesgos no están presentes debido a que no se manipula químicos, microorganismos ni se genera un estrés en la operación, por lo tanto se ha considerado describir en la Tabla 12.1, los tres primeros factores de riesgo.

Tabla 10. 1 Factores de riesgo

Factor de riesgo	Definición	Ejemplos	
Riesgo mecánico	Factores que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.	Peligros	Riesgos
		Rodamientos	Atrapamiento entre objetos
		Engranajes	Atrapamiento entre objetos
		Cuchillas	Cortes
		Pisos regulares	Torceduras
		Altura	Caídas
Riesgo físico	Son todos los factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos que pueden generar lesión a las personas	Superficies calientes	Quemaduras
		Ruido superior a 85db	Problemas auditivos
Riesgo ergonómico	Factores que pueden provocar algún evento adverso provocado por malas posturas o estaciones de trabajo inadecuadas	Posiciones forzadas	Problemas musculares
		Sobresfuerzos	Problemas lumbares
		Cargas superiores a 25 kg	Problemas lumbares

Fuente: autores

10.2 MAPA DE RIESGOS

Es importante implementar en la máquina un control visual que permita divisar correctamente donde se encuentran los riesgos y qué podría causar a la persona que está operando la máquina.

Antes de trabajar se debe capacitar al operador tanto en los riesgos de la máquina como en los riesgos que está expuesto, mediante una matriz de riesgos de la persona de esta forma el personal entenderá que podría sucederle si no maneja con precaución la operación.

El mapa de riesgos además de ser un control visual, es un control para el operador, para que cada día antes de prender la máquina llene cada uno de los riesgos recordando su ubicación y consecuencia, tal como lo muestra la Figura



Partes del equipo	Tipo de riesgo	Simbología	
Eje en movimiento	Atrapamiento		Paro de emergencia .- realiza un paro total de la maquina
Husillo	Atrapamiento		
Calefactor	Quemaduras		Sistema de aislamiento de partes en movimiento .- riesgo de atrapamiento
Boquilla	Quemaduras		Sistema eléctrico .- solo personal autorizado.- riesgo de choque eléctrico
Molde	Quemaduras		Sistema eléctrico -solo personal autorizado.-riesgo de choque eléctrico
Switch de encendido	Choque electrico		

10.3 Identificación de peligros y evaluación de riesgos (matriz de riesgos)

La matriz de riesgos en una matriz en la que se identifican todos los peligros existentes para el operador y se evalúan los riesgos de los peligros, en la matriz se cruza la probabilidad y consecuencia de los riesgos a los que está expuesto el operario y en base a eso determinar que controles se debe implementar en la máquina.

La matriz de riesgos presentada, está basada en el INSHT6 y se muestra a continuación.

IDENTIFICACIÓN							EVALUACIÓN					
#	TAREA	CONDICIÓN DE OPERACIÓN IDENTIFICADA			DESCRIPCIÓN DEL PELIGRO	FACTORES DE RIESGO			 Probabilidad	 Consecuencia	VALORACIÓN DEL RIESGO	
		RUTINARIAS	NO RUTINARIAS	EMERGENTE		MECÁNICO	FÍSICO	ERGONOMICO				
1	Energizar la máquina	x			Conectores a 220V	Contactos eléctricos indirectos			2	2	4	MODERADO
2	Encender switch de calefactor y variador.	x			Conectores a 220V	Contactos eléctricos indirectos			1	2	2	TOLERABLE
3	Ingresar material a la tova de alimentación.	x			Ubicación de tova			Carga física posición	2	1	2	TOLERABLE
					Calefactor		Exposición a temperaturas extremas	2	2	4	MODERADO	
4	Accionar el motorreductor	x			Conectores a 220V	Contactos eléctricos indirectos			1	2	2	TOLERABLE
5	Controlar la salida de material	x			Calefactor		Temperatura		2	1	2	TOLERABLE
							Exposición a temperaturas extremas	2	2	4	MODERADO	
						Hilo	Exposición a temperaturas extremas	2	2	4	MODERADO	
6	Retirar el bobinador cuando está lleno	x			Hilo		Exposición a temperaturas extremas	2	2	4	MODERADO	
7	Parar motorreductor	x			Conectores a 220V	Contactos eléctricos indirectos			1	2	2	MODERADO
8	Suspender calefactor	x			Conectores a 220V	Contactos eléctricos indirectos			1	2	2	TOLERABLE
9	Realizar limpieza de máquina	x			Piezas calientes		Contactos extremos		1	2	2	TOLERABLE

Como conclusión, es que todos los riesgos evaluados deben ser conocidos por la persona que opera y claramente entendidos de la consecuencia de entrar en interacción con alguno de ellos.

Como recomendación es construir una guarda para protección de quemaduras por interacción con los calefactores, además implementar los controles visuales necesarios en la máquina y capacitar a los trabajadores en los riesgos descritos.

11 MANUAL DE OPERACIÓN

Es importante antes de operar la Máquina extrusora, leer esta guía rápida de operación de la máquina. A continuación, se detallan los pasos para su encendido, operación y apagado.



Alimentar la máquina a 220 V trifásico

Una vez alimentada la máquina se procede a colocar el tiempo determinado para la el arranque del motor, este tiempo debe ser lo suficiente para que las bandas calefactoras lleguen a la temperatura determinada de operación.



Una vez establecido el tiempo se procede a encender la máquina mediante una perilla que encontraremos en el tablero

Alimentada la máquina procedemos a encenderla posicionando en swtich en on



Una vez encendida la máquina procedemos a colocar la temperatura de 300° C la misma que será necesaria para que el material que se encuentra en el interior del

cilindro se funda y pueda desplazarse hacia el exterior y no exista taponamiento en la boquilla.



Pasado el tiempo establecido para el accionamiento del motor y a su vez del tornillo se deberá verificar que todo el material del interior del cilindro haya sido expulsado al exterior



Una vez que verifiquemos que ya no sale material por la boquilla se procederá a variar la temperatura de operación en base al material plástico a fundir esto ser un paso importante ya que de esto dependerá el resultado del producto terminado

Para seleccionar la temperatura correspondiente procederemos de la siguiente, manera



Este botón permitirá seleccionar la temperatura deseada



Permitirá seleccionar el campo a modificar





Permiten aumentar o disminuir la temperatura de trabajo de la extrusora

Establecida la temperatura a la que va a operar la máquina procedemos a colocar el material en la tolva para el correcto trabajo de producción



En el sistema de salida se procederá a accionar el sistema de rodillos los mismos que permitirán la facilidad en la salida del material extruido obteniendo así el producto requerido

Luego de realizar el trabajo requerido con la máquina será necesario esperar que todo el material que se encuentre en la tolva y en el interior del cilindro sea expulsado al exterior de la boquilla, esto será un paso importante antes de dejar fuera de operación a la máquina ya que así evitaremos el desperdicio de material y evitar taponamientos en la boquilla en posteriores trabajos

12 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para el correcto mantenimiento de nuestra maquina extrusora se debe seguir el siguiente procedimiento

1.- apagar la máquina



2.-Desenergizar la maquina

3.-Esperar el tiempo suficiente para que el cuerpo de la maquina se enfrie y asi evitar cualquier tipo de quemaduras

4.- Una vez verificado que el cuerpo de la maquina se encuentre frio procedemos a desmontar el cuerpo cilindro tornillo de las soportes



5.- Una vez desmontado en cuerpo de los soportes se procede a retirar la boquilla del cilindro



6.- Una vez retirada la boquilla se procede a extraer el tornillo extrusor para realizar su limpieza adecuada y dejar sin residuos del material tanto en el cilindro como en el tornillo



8.- La limpieza del tornillo se lo ara utilizando la herramienta o material adecuado para que el tornillo no sufra cualquier tipo de daño



Nota: es importante tener en cuenta que para retirar en tornillo del cilindro este debe estar sin material en su interior para facilitar su extracción

**PLANOS PARA
LA
CONSTRUCCION
DE LA MAQUINA**