



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE

DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

TEMA

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VARILLA DE
PLÁSTICO RECICLADO (PET) EXTRUIDO.**

TUTOR

PHD. MSC. ARECHE GARCÍA JAVIER NICOLÁS.

AUTORES

CHALACO VALLE MARCO XAVIER

MUÑOZ CHICHANDE ANDERSON DARIO.

GUAYAQUIL

2021



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VARILLA DE PLÁSTICO RECICLADO (PET) EXTRUIDO.	
AUTORES/ES: Chalaco Valle Marco Xavier Muñoz Chichande Anderson Dario.	REVISORES O TUTORES: PhD. Msc. Areche García Javier Nicolás.
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.	Grado obtenido: Ingeniero Civil.
FACULTAD: INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL.
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2021.	N. DE PAGS: 168
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.	
PALABRAS CLAVE: Prototipo, experimento, PET, varilla, Extrusora	
RESUMEN En los últimos años el plástico PET en nuestro país y el mundo se ha convertido en un problema ecológico, causando un impacto ambiental negativo y daños irreparables al planeta, por tanto, se optó incursionar en una propuesta innovadora en el sector de la construcción, que tiene como finalidad otorgar una doble solución, evita la contaminación y encuentra un lugar de disposición final del plástico mediante un sistema de reutilización para la fabricación de varillas extrusadas de PET. Ya que el plástico PET comprende excelentes propiedades físicas como mecánicas. El estudio se sustenta en base a teorías experimentales con ensayos a tracción, compresión y térmicos hacia el material. La metodología comenzó desde la construcción de la maquina extrusora, para generar probetas estandarizadas en función a la norma ISO 527, cuya finalidad fue realizarles los respectivos ensayos y a su vez identificar sus características físicas y mecánicas, determinando de que no sirven como refuerzo en elementos de hormigón armado, pero si para perfiles estructuras en correas tipo “G” (para soporte de techos aligerados), implementando un aporte importante para la construcción de estructuras ecológicamente sustentables.	

N. DE REGISTRO	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTORES: Chalaco Valle Marco Xavier Muñoz Chichande Anderson Dario.	Teléfono: (+593)980424318 (+593)982729699	E-mail: mchalacov@ulvr.edu.ec amuñozc@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSC. Alex Salvatierra Espinoza, DECANO. Teléfono: 2596500 Ext. 241 DECANATO E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec	

Quito: Av. Whymper E7-37 y Alpallana, edificio Delfos, teléfonos (593-2) 2505660/ 1; y en la Av. 9 de octubre 624 y Carrión, Edificio Prometeo, teléfonos 2569898/ 9. Fax: (593 2) 2509054

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

TESIS MARCOS CHALACO - ANDERSON MUÑOZ / JAVIER ARECHE

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ es.scribd.com

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Activo



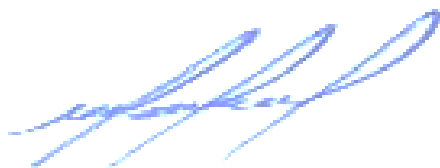
PHD. Msc. Areche García Javier Nicolás.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados, Chalaco Valle Marcos & Muñoz Chichande Anderson Darío, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, **“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VARILLA DE PLÁSTICO RECICLADO (PET) EXTRUIDO”**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autores



CHALACO VALLE MARCO XAVIER.

C.I: 0954152708



MUÑOZ CHICHANDE ANDERSON DARIO.

C.I: 0920866423

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación, “COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VARILLA DE PLÁSTICO RECICLADO (PET) EXTRUIDO”, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VARILLA DE PLÁSTICO RECICLADO (PET) EXTRUIDO**”, presentado por los estudiantes Chalaco Valle Marcos & Muñoz Chichande Anderson Darío como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.



PHD. MSC. ARECHE GARCÍA JAVIER NICOLÁS.

C.I.: 0962174165

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por otorgarme salud y sabiduría a lo largo de mi camino, encaminado siempre a su santa voluntad.

Agradezco a mis padres por depositar su confianza en mí y siempre estar presentes en todos mis logros y metas cumplidas, por saberme inculcar esos valores de superación.

A mis docentes por su tiempo y dedicación a lo largo de mi formación, por compartir sus consejos para el campo laboral, a nuestro tutor por su apoyo incondicional para la realización de la misma.

Marco Xavier Chalaco Valle

Agradezco a nuestro padre celestial por estar a mi lado en cada momento de infortunio, me diste la fortaleza para nunca rendirme hasta cumplir mis objetivos.

Anderson Dario Muñoz Chichande

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios y mi familia, porque han sido ese principal apoyo que me alentaba a superarme cada día, a ser mejor persona, a convertirme en ejemplo para ustedes, gracias a ustedes y a sus consejos he podido salir a delante, gracias a todos por creer en mi.

De esta misma manera le dedico esta tesis a mi hijo porque es lo más importante en mi vida, ya que me he convertido en tu ejemplo para crecer profesionalmente y que este logro sirva de herramienta para guiar cada uno de tus pasos.

Marco Xavier Chalaco Valle

Lleno de fe, humildad, amor y esperanza, le dedico esta tesis a mi madre, esposa e hijos, que son para mí el motor de mi vida, por los que me esfuerzo día a día para lograr mis metas y ser un ejemplo de esfuerzo constancia y perseverancia en un camino lleno de adversidades.

Anderson Dario Muñoz Chichande

ÍNDICE GENERAL.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Tema.....	3
1.2 Planteamiento del problema	3
1.5 Objetivo general	5
1.6 Objetivos específicos.....	5
1.7 Justificación.....	5
1.8 Delimitación del problema	7
1.9 Hipótesis.....	7
1.10 Línea de investigación institucional/facultad.	7
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Marco Teórico	9
2.1.1 Antecedentes teóricos	9
2.2.2. Comportamiento mecánico	21
2.2.2.1.4. Limite elástico.....	23
2.2.2.1.5. Módulo de elasticidad.....	23
2.2.2.1.6. Ecuación ley de HOOKE.....	24
2.2.2.1.8. Tenacidad.....	24
2.2.2.1.10. Fragilidad	24
2.2.2.1.12. Esfuerzo a Tensión.....	25
2.2.2.1.13. Esfuerzo a compresión.....	26
2.2.2.1.14. Esfuerzo A Flexión	26
2.2.2.1.15. Esfuerzo Cortante	27
2.2.3. Polímero.....	29
2.2.3.1. Historia de los Polímeros	30
2.2.3.2. Estructura Química	30
2.2.3.3 Clasificación de los Polímeros.....	31
2.2.3.3.1 Según su origen.....	31
2.2.3.3.1.1 Naturales	31
2.2.3.3.1.2 Sintéticos.....	31
2.2.3.3.2 Según la estructura de la cadena	31
2.2.3.3.3 Según su respuesta termo-mecánica:	33
2.2.3.3.3.1 Termoplásticos.....	33
2.2.3.3.3.2 Termo rígidos.....	33
2.2.3.4 Tipos de Polímeros	33
2.2.3.4.1 Polietileno de baja densidad (LDPE).....	33

2.2.3.4.2 Policloruro de vinilo (PVC).....	33
2.2.3.4.3 Polipropileno (PP)	34
2.2.3.4.4 Polietileno de alta densidad (HDPE)- lineal	34
2.2.3.4.5 Poliestireno (PS)	34
2.2.3.4.6 Politereftalato de etilenglicol (PET)	34
2.2.3.4.6.1 Descripción, características y propiedades del tereftalato de polietileno PET	35
2.2.3.4.7 Clasificación del PET	37
2.2.3.4.8 Proceso de producción del PET	37
2.2.3.4.9.1 Estructura de la resina de PET.....	40
2.2.3.4.9.2 Propiedades de la resina de PET.....	41
2.2.3.4.10 Clasificación de los envases PET	41
2.2.3.4.10.1 No Reciclables	41
2.2.3.4.10.2 Reciclables	41
2.2.3.4.10.2.1 Métodos de reciclajes.....	42
2.2.3.4.10.2.2 Reciclaje mecánico	42
2.2.3.4.10.2.3 Reciclado químico	42
2.2.3.4.10.2.4 Reciclaje con recuperación de energía o aprovechamiento energético.....	42
2.2.3.4.10.3 Reciclaje primario.....	43
2.2.3.4.10.3.1 Proceso de reciclaje primario.....	43
2.2.3.4.10.3.1.1 Separación.....	44
2.2.3.4.10.3.1.2 Limpieza	44
2.2.3.4.10.3.1.3 Peletizado.....	44
2.2.3.4.10.4 Reciclaje secundario.	44
2.2.3.4.10.5 Reciclaje terciario.	45
2.2.3.4.10.6 Otros métodos de reciclaje.....	45
2.2.3.4.11 Reciclaje del PET - Politereftalato de etileno.....	45
2.2.3.5 Selección del proceso de transformación – Extrusión.....	46
2.2.3.6 Proceso de extrusión.	46
2.2.3.7 Tipos de extrusoras	48
2.2.3.7.1 Extrusoras de desplazamiento positivo.....	48
2.2.3.7.2 Extrusoras de pistón.....	48
2.2.3.7.3 Extrusora de Peletizadora	49
2.2.3.7.4 Extrusoras de dislocamiento Positivo	49
2.2.3.7.5 Extrusora de pistón (Inyectora).....	49
2.2.3.7.6 Extrusoras de fricción	49
2.2.3.7.7 Extrusoras multitornillo	49
2.2.3.8 Componentes de una extrusora	50
2.2.3.8.1 Tolva de alimentación.....	51
2.2.3.8.1.2 Tipos de tolvas	51
2.2.3.8.2 Flood feed	52
2.2.3.8.3 Starve feed	52

2.2.3.8.4 Crammer	53
2.2.3.8.5 Melt feed	53
2.2.3.9 Garganta de Alimentación	54
2.2.3.9 El Tornillo de extrusión	54
2.2.3.10 Zona de alimentación	55
2.2.3.11 Zona de transición o compensación o zona de fusión	56
2.2.3.12 La zona de dosificación	57
2.2.3.13.1 Mezclador de aguja	59
2.2.3.13.2 Mezclador de anillo	59
2.2.3.13.3 Mezclador con filetes desiguales	59
2.2.3.13.4 Mezcladores tipo Dulmage	59
2.2.3.13.5 Mezclador tipo Maddock	60
2.2.3.13.6 Mezclador tipo Pulsante	60
2.2.3.14 Barril o Cilindro	60
2.2.3.15 Motor	61
2.2.3.16 Cabezal de extrusión	61
2.2.3.16.1 Plato rompedor y filtro	62
2.2.3.16.2 Cabezal y Boquilla	62
2.2.3.17 Peletizadora	63
2.2.3.19 Comportamiento del fundido	65
2.2.4 Varilla	66
2.2.4.1 Varilla con resaltes	67
2.2.4.2 Varilla Recta	67
2.2.4.3 Dimensiones nominales	67
2.2.4.3.1 Perfil Redondo	67
2.2.4.4 Clasificación	67
2.2.4.4.1 Varilla termo tratada	67
2.2.4.4.2 Varilla laminada en caliente micro aleada o de baja aleación	67
2.2. Marco Conceptual	70
2.2.1. Conceptos Generales	70
2.3. Marco Legal	74
2.3.1 Constitución de la República Del Ecuador	75
2.3.1.1 Convenios y Tratados Internacionales	76
2.3.1.1.1 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible	76
Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles	77
2.3.2 Normas técnicas	78
2.3.2.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC	78
NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)	78
2.3.2.2 Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-CG de las NECs	78
2.3.2.3 Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)	78
Seguridad estructural de las edificaciones:	78
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	

3.1 Metodología.....	85
3.2 Tipo de investigación.....	85
3.3 Enfoque.....	86
3.4 Técnica e instrumentos	86
3.5 Población.....	87
3.6 Muestra.....	87
3.7 Análisis de resultados.....	88
CAPÍTULO IV INFORME FINAL.....	94
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de investigación de FIIC.....	8
Tabla 2 Ventajas y desventajas del PET.....	37
Tabla 3 Datos técnicos del PET Politereftalato de etileno	40
Tabla 4 Propiedades de la resina de PET.....	41
Tabla 5 Internacional de codificación para el reciclaje de polímeros.....	43
Tabla 6 Ventajas y Desventajas del proceso de Extrusión.....	46
Tabla 7 Dimensiones de las varillas de acero.....	68
Tabla 8 Resistencia a la tracción de las varillas.....	69
Tabla 9 Composición química.....	69
Tabla 10 Especificaciones mecánicas.....	80
Tabla 11 Relación de aplicación de esfuerzos.....	80
Tabla 12 Doblado a 180°.....	81
Tabla 13 Comportamiento físico de PET obtenido de la botella de color café.....	99
Tabla 14 Características físicas de PET obtenido de botella de color café.....	99
Tabla 15 Rigidez del material.....	99
Tabla 16 Valores de rigidez del material.....	100

Tabla 17 Comportamiento físico de PET obtenido de botella de bidón.....	100
Tabla 18 Características físicas de PET obtenido de botella de bidón.....	100
Tabla 19 Rigidez del material.....	100
Tabla 20 Valores de rigidez del material	101
Tabla 21 Comportamiento físico de PET obtenido de botella transparente.....	101
Tabla 22 Características físicas de PET obtenido de botella transparente.....	101
Tabla 23 Rigidez del material.....	101
Tabla 24 Valores de rigidez del material.....	102
Tabla 25 Comportamiento físico de PET obtenido de botella mezclada.....	102
Tabla 26 Características físicas de PET obtenido de botella mezclada.....	102
Tabla 27 Rigidez del material.....	102
Tabla 28 Valores de rigidez del material.....	103
Tabla 29 Resultados de ensayos de tensión.....	103
Tabla 30 Resultado de ensayo de compresión.....	104
Tabla 31 Comportamiento térmico.....	104
Tabla 32 Homogeneidad de la pasta.....	104
Tabla 33 Valores de homogeneidad.....	104
Tabla 34 Temperatura de fusión.....	105
Tabla 35 Valores de temperatura.....	105
Tabla 36 Ensayo térmico.....	106
Tabla 37 Homogeneidad de la pasta.....	107
Tabla 38 Valores de homogeneidad.....	107
Tabla 39 Temperatura de fusión.....	108
Tabla 40 Valores de temperatura.....	108
Tabla 41 Ensayo térmico.....	109
Tabla 42 Homogeneidad de la pasta.....	109
Tabla 43 Valores de homogeneidad.....	109
Tabla 44 Temperatura de fusión.....	110
Tabla 45 Valores de temperatura.....	110
Tabla 46 Datos de Laboratorio obtenidos por ensayo de tracción en varillas corrugadas de acero.....	114
Tabla 47 Análisis teórico de comportamiento de varilla fabricada de PET.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Límite de elasticidad.....	23
Figura 2: Grafica esfuerzo vs deformación.	23
Figura 3: Sección de prisma sometido a una carga axial.....	25
Figura 4: Ejemplo de esfuerzo a Tensión.....	26
Figura 5: Ejemplo de esfuerzo a compresión.....	26
Figura 6: Ejemplo de esfuerzo a compresión.....	27
Figura 7. Ejemplo de esfuerzo cortante.....	27
Figura 8: Morfología de probeta para el ensayo de tracción: a) dimensiones originales; b) dimensiones durante el ensayo (etapa de deformación uniforme); c) dimensiones finales (morfología para aleaciones metálicas).....	28
Figura 9: Polimerización del estireno para dar poliestireno.....	29
Figura 10: Polímero Homopolímero y Copolímero, según la estructura de la cadena.....	32
Figura 11: Polímero lineal sin ramificaciones (a), con ramificaciones cortas (b), con ramificaciones largas (c), y polímero entrecruzado (d).....	32
Figura 12: Polímero lineal, según la estructura de la cadena.....	32
Figura 13: Polímero ramificado, según la estructura de la cadena.....	32
Figura 14: Polímero entrecruzado, según la estructura de la cadena.....	33
Figura 15: Estructura de los Polímeros.....	35
Figura 16: Composición Química del Polietileno de Tereftalato.....	36
Figura 17: Proceso de producción del PET - Polimerización.....	38
Figura 18: Diagrama de flujo de la producción de PET.....	39
Figura 19: Esquema Procesos de Extrusión.....	47
Figura 20: Disposición posible de los husillos en las extrusoras de doble husillo; giro contrario y giro en paralelo; diferentes grados de interpretación de los tornillos.....	50
Figura 21: Representación esquemática de una extrusora de husillo.....	50

Figura 22: Tipos de tolvas.....	51
Figura 23: Flujo de material en una tolva de alimentación.....	51
Figura 24: Sistema flood-feed.....	52
Figura 25: Sistema starve-feed.....	52
Figura 26: Sistema crammer	53
Figura 27: Sistema melt-feed.....	53
Figura 28: Garganta de alimentación.....	54
Figura 29: Garganta de alimentación.....	54
Figura 30: Partes básicas de un tornillo.....	55
Figura 31: Esquema del proceso de fusión del plástico en el tornillo.....	56
Figura 32: Angulo de hélice escarpado contra el de poca profundidad: el ángulo escarpado resiste al flujo inverso; el ángulo de poca profundidad proporciona una ruta menos tortuosa al flujo directo.....	56
Figura 33: Corte transversal de la extrusora en la zona de transición.....	57
Figura 34: Tipos de tornillos plastificadores.....	58
Figura 35: Sistemas de desgasificación.....	58
Figura 36: Mezcladores de tipo aguja con orientacin de las agujas perimetral.....	59
Figura 37: Mezclador de anillo.....	59
Figura 38: Zona de mezclado con filetes desiguales tipo “saxton”.....	59
Figura 39: Mezclador tipo dulmage.....	59
Figura 40: Mezclador tipo maddock.....	60
Figura 41: Mezclador tipo pulsante.....	60
Figura 42: Sistema cilindro de calefacción – tornillo.....	61
Figura 43: Plato rompedor.....	62
Figura 44: Cabezal.....	62
Figura 45: Boquilla anular.....	63
Figura 46: Características del extrusor y características del dado.....	63
Figura 47: Peletizadora.....	64
Figura 48: Sistema Pelitizador.....	64
Figura 49: principio de funcionamiento de una extrusora.....	65
Figura 50: Formas de muestras para ensayos en materiales de moldeo.....	82
Figura 51: Medición del módulo de tracción.....	84
Figura 52: Dimensiones de la probeta para ensayo.....	91

Figura 53: Cámara de deshumidificación.....	93
Figura 54: Controlar la temperatura en la cámara de deshumidificación.....	93
Figura 55: Calibración la maquina extrusora.....	93
Figura 56: Colocación de material PET triturado en la tolva.....	93
Figura 57: Llenado del molde.....	93
Figura 58: Fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción.....	94
Figura 59: Acoplamiento del cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo.....	94
Figura 60: Modelación de la tolva de la maquina extrusora de PET.....	95
Figura 61: Suelda de las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y tolva.....	95
Figura 62: Maquinado de boquilla de extrusión de ½ ,5/8, ¾ y 1 pulgada.....	95
Figura 63: Montaje del motor y reductor de velocidad.....	96
Figura 64: Montaje del eje extrusor hacia la camisa de calentamiento.	96
Figura 65: Ensamblaje total del cuerpo de la maquina Extrusora.....	96
Figura 66: Instalación del motor con reductor de velocidad.....	97
Figura 67: Conexión de los componentes mecánicos de la maquina extrusora.....	97
Figura 68: Instalación de conexiones electrónicas del variador de frecuencias.....	97
Figura 69: Maquina extrusora.....	98
Figura 70: Maquina extrusora y sus partes.....	98
Figura 71: Homogeneidad de la pasta del material PET (fecha de muestra 5/05/21)...	105
Figura 72: Temperatura de fusión del material PET (fecha de muestra 5/05/21).....	106
Figura 73: Homogeneidad de la pasta del material PET (fecha de muestra 06/05/21)	107
Figura 74: Temperatura de fusión del material PET (fecha de muestra 06/05/21)....	108
Figura 75: Homogeneidad de la pasta del material PET (fecha de muestra 07/05/21)	110
Figura 76: Temperatura de fusión del material PET (fecha de muestra 06/05/21)...	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción.....	120
Anexo 2: Maquinado del tornillo extrusor o husillo.	120
Anexo 3: Acoplamiento del cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo.12	
Anexo 4: Modelación de la tolva de la maquina extrusora de PET.	121
Anexo 5: Perforación de las platinas de refuerzo.	121
Anexo 6: Suelda de las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y tolva.....	121
Anexo 7: Centrado y colocación de la tolva hacia el tubo de calentamiento.....	122
Anexo 8: Ajuste de pernos, centrado y posicionamiento de las piezas donde pasara el material PET triturado.	122
Anexo 9: Maquinado de boquilla de extrusión de ½ ,5/8, ¾ y 1 pulgada.	122
Anexo 10: Boquillas de extrusión.	122
Anexo 11: Diseño y pulido de la estructura de soporte del eje extrusor, tubo de calentamiento y tolva.	123
Anexo 12: Maquinado de la brida entre el motor y el reductor de velocidad del eje extrusor.	123
Anexo 13: Montaje del motor y reductor de velocidad.	123
Anexo 14: Soldado de los tubos de refuerzo hacia el eje extrusor.	124
Anexo 15: Nivelación del eje extrusor con respecto a la tolva.	124
Anexo 16: Montaje del eje extrusor hacia la camisa de calentamiento.	124
Anexo 17: Ensamblaje total del cuerpo de la maquina Extrusora.....	125
Anexo 18: Soldadura de las patas de la mesa donde se apoyará la maquina extrusora.	125
Anexo 19: Soldadura de los tubos horizontales del refuerzo de la mesa.....	125
Anexo 20: Ensamble total de la mesa con su plancha de refuerzo.....	126
Anexo 21: Verificación de las medidas entre la base del motor y el reductor de velocidad.	126
Anexo 22: Verificación de concentricidad entre el reductor de velocidad y el eje extrusor.	127
Anexo 23: Comprobación entre la altura del motor y la base de soporte.....	127

Anexo 24: Diseño de los puntos de calentamiento de la maquina extrusora.....	127
Anexo 25: Corte con plasma de la base del motor.	128
Anexo 26: Corte con plasma de la base del reductor de velocidad.....	128
Anexo 27: Soldadura de la base del motor y el reductor de velocidad.....	129
Anexo 28: Tablero de control de la maquina extrusora.	129
Anexo 29: Montaje de los breakeres del panel de control.	130
Anexo 30: Elaboración de las resistencias tipo boquilla 250W/240V de acero inoxidable.	130
Anexo 31: Termopares tipo K, rosca de 1/4".	130
Anexo 32: Montaje de los sensores termopares tipo K- rosca de 1/4"	131
Anexo 33: Instalación del motor con reductor de velocidad.	131
Anexo 34: Conexión de los componentes mecánicos de la maquina extrusora.....	131
Anexo 35: Pintado general de la maquina extrusora.	132
Anexo 36: Conexiones eléctricas y electrónicas del motor.	132
Anexo 37: Instalación de conexiones electrónicas del variador de frecuencias.....	132
Anexo 38: Cableado de los sensores de temperatura y de las resistencias tipo boquilla en el tablero de automatismo.....	133
Anexo 39: Maquina extrusora.	133
Anexo 40: Corte de las secciones de acero de alta temperatura con plasma.....	133
Anexo 41: Calibración de la temperatura requerida para plástico PET.....	134
Anexo 42: Llenado del molde con plástico PET.	134
Anexo 43: Recolección del material PET.	135
Anexo 44: Corte de botellas en partes por medio de una cortadora eléctrica.....	135
Anexo 45: Trituración de plástico, para obtener hojuelas de plástico PET triturado.....	136
Anexo 46: Obtención de hojuelas de plástico PET.	136
Anexo 47: cámara de deshumidificación.	137
Anexo 48: Presupuesto de equipo mecánico de extrusora.....	137
Anexo 49: Presupuesto del equipo de moldes para probetas.	138
Anexo 50: Presupuesto de equipo eléctrico y electrónico de extrusora.....	139
Anexo 51: Presupuesto total de fabricación de maquina extrusora, elaboración de probetas y equipo eléctrico y electrónico de extrusora.	141
Anexo 52: Procedimiento de puesta en marcha de la extrusora.	141

Anexo 53: Recomendación para el buen funcionamiento del equipo.	142
Anexo 54: Hojuelas de PET trituradas.	142
Anexo 55: Cámara de deshumidificación.	143
Anexo 56: Controlar la temperatura en la cámara de deshumidificación.....	143
Anexo 57: Pesaje de las hojuelas en balanza.	143
Anexo 58: Calibración de la temperatura de la maquina extrusora.....	144
Anexo 59: Pesaje de las hojuelas en balanza.....	144
Anexo 60: Calentamiento previo de la tolva.	144
Anexo 61: Llenado de probetas.	145
Anexo 62: Compresión del material.	145
Anexo 63: Enfriamiento de las cubetas.	146
Anexo 64: Retiro de las probetas del molde.	146
Anexo 65: Ensayos de tracción.....	146
Anexo 66: Finalizado el ensayo de tracción.....	147
Anexo 67: Ensayo de compresión.	147
Anexo 68: Informe de ensayos.	147
Anexo 69: Resultados del ensayo de tracción.....	148
Anexo 70: Resultados del ensayo de compresión.....	148
Anexo 71: Información complementaria.	149

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Guayaquil, la segunda más grande de Ecuador se presentan dos problemáticas que afectan a su población, en primera instancia la falta de viviendas de interés social, y los altos índices en contaminación ambiental, debido a los desechos sólidos, destacando los altos porcentajes en plásticos de un solo uso, que causan incidencias sociales, culturales y medioambientales que afectan a la sociedad y su entorno.

El presente proyecto se presenta con la finalidad de presentar una propuesta que promueve la reutilizar elementos que han sido catalogados como desechos como un elemento alternativo en la construcción de vivienda a bajo costo, que cuenta con las características de ser de bajo coste, liviana, fácil de transportar y sea amigable con el ambiente.

Se busca incursionar con una propuesta innovadora en el sector de la construcción, donde la varilla de plástico elaborado con PET, presente una resistencia a la flexión conforme a los estándares de calidad y parámetros establecidos por la normativa legal vigente. El PET *“está potenciando la eco arquitectura moderna”*, debido a su larga vida útil y permanencia en la naturaleza, además de ser una maravilla ingenieril,

En el Capítulo I se aborda el planteamiento del problema, destacando las actuales condiciones de contaminación ambiental, los impactos técnicos, medio ambientales y socio económicos a nivel mundial y nacional que generan la mala disposición de las botellas de PET, y su no aprovechamiento, se presentan como una solución en elementos constructivos en infraestructuras, cumpliendo la función de acero de refuerzo en el hormigón armado.

Así mismo se establecen los objetivos de la investigación, a partir de la construcción de una máquina extrusora de plástico, para determinar las características físicas y mecánicas del plástico extruido y así identificar las dimensiones de una varilla de plástico (PET) para que funcione como refuerzo en base a las normas regulatorias INEN de Ecuador y su respectiva justificación.

En el Capítulo II, se describe las bases teóricas y conceptuales fundamentales para el desarrollo de la investigación, aludiendo a relevantes autores, los cuales se destacan por

su invaluable aporte en la ingeniería civil, y el aprovechamiento de materiales para el reciclaje, se establecen como referencia publicaciones e investigaciones nacionales e internacionales, además de la normativa legal vigente aplicable al proyecto como base para el estudio.

En el Capítulo III, se presenta la metodología aplicada, se describen los instrumentos, equipos y diseños, sustentándose en la investigación científica, experimental, y analítica; debido al diseño, construcción y ensayos a realizarse en una maquina extrusora de plástico PET reciclado para la fabricación de varilla de plástico (PET), instituyendo como instrumento el experimento para investigar y generar conocimiento.

En el Capítulo IV se presenta el informe final del proyecto, mostrando el desarrollo de los ensayos, costos de equipos y materiales utilizados en la construcción del mismo, el análisis del comportamiento de las características mecánicas de una varilla de plástico (PET), seguido de las conclusiones y recomendaciones en base a los resultados de la investigación realizada.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Comportamiento mecánico de una varilla de plástico reciclado (PET) extruido.

1.2 Planteamiento del problema

Se estima a nivel mundial que aproximadamente que cada año se producen 500 mil millones de botellas de plástico, donde cada una de ellas tarda en promedio 450 años en descomponerse, y el 90% son producidas a partir de combustibles fósiles. Alrededor de 8 millones de toneladas de residuos plásticos acaban en los océanos llegando a grandes ríos del mundo y sus principales afluentes debido a su mala disposición final y no contar con un sistema eficiente para su reutilización.

En ciertas naciones industrializadas se ha logrado conseguir que un porcentaje superior al 50% de los desechos sólidos que se reciclan se pueden aprovechar, mientras que en América Latina y el Caribe es apenas el 14%, según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Las naciones del mundo se propusieron hacia el 2030 reducir considerablemente la generación de desechos.

En 2019 en Ecuador, se generaron de 528.000 toneladas de residuos plásticos, equivalentes al 11% del total de desechos sólidos producidos, y donde las botellas desechables de agua representaron un 36%, las cifras van en aumento, en el 2016 eran 0,58 kilogramos diarios. Al 2017, esta cifra subió a 0,86 kilogramos y en 2020 debido a la inmensa cantidad de desechos que produce la población donde al menos 12.000 toneladas de desperdicios son enterradas, considerado como un modelo insostenible, según los expertos. Según cifras del INEC, el 96% de la basura se entierra y solo se recicla el 4%.

Los desechos generados por botellas de plásticos tienen tres destinos: el relleno sanitario (45,7%), las celdas emergentes (28,8%) y los botaderos a cielo abierto (25,6%). Estos espacios por lo general están ubicados cerca de los ríos y los expertos temen que estos sean contaminados por los lixiviados o líquidos contaminantes que genera la basura. El mayor número de botaderos a cielo abierto y de celdas emergentes están en la Costa,

66 y 14 respectivamente. Mientras que el mayor número de rellenos sanitarios están en la Sierra.

La primera ciudad del país en generar más desechos sólidos al día: es Guayaquil donde el relleno Las Iguanas recibe 3.395 toneladas diarias. La capital de la nación, Quito es la segunda con un porcentaje de entre 2.100 y 2.200 toneladas, cifra que aumentó en 600 toneladas durante la pandemia, seguido de la ciudad de Cuenca ocupa el tercer lugar y arroja 521 toneladas diarias al relleno Pichacay.

Los índices de contaminación se incrementan debido a que un alto porcentaje de los plásticos que son producidos solo tienen un lapso de uso precario, los cuales son utilizados y desechados casi de manera inmediata por el consumidor, debido a la falta de información y en muchos casos a una propuesta de interés social que permita reducir el uso de los mismos, reciclar y reutilizar en un proyecto innovador.

Se estima que en el país alrededor de 600.000 familias no tienen vivienda propia, y donde las viviendas de los sectores marginales han sido producto de invasiones sin ningún tipo de criterio de ordenamiento territorial, construidas de caña y para conservar el estado físico del material utilizan elementos químicos como maderol, aceite quemado o diésel que son materiales peligrosos para tratar la caña, debido a su alto porcentaje inflamable.

En cuanto a las varillas de acero tradicionales, indispensables en la actualidad para construir las viviendas de hormigón armado corresponde al uso de materia prima virgen la cual se obtiene directamente de la naturaleza. Adicionalmente se le suman los procesos de extracción, el refinamiento del mineral de hierro, el carbón y la piedra caliza para la fabricación del hierro. Esto conlleva a una alta demanda de energía eléctrica, gran consumo de combustibles fósiles y la generación de emisiones al aire, suelo y agua afectando en mayor medida la categoría de agotamiento de los minerales (Participación porcentual del 97,7%).

1.3 Formulación del problema

¿Cómo es el comportamiento mecánico de una varilla de plástico reciclado (PET) extruido?

1.4 Sistematización del problema

- ¿Cómo se construye una máquina extrusora de plástico?
- ¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del plástico extruido?
- ¿Cómo se comportan las características mecánicas de una varilla de plástico (PET)?

1.5 Objetivo general

Explicar el comportamiento mecánico de una varilla de plástico reciclado (PET) extruido.

1.6 Objetivos específicos.

- Construir una máquina extrusora de plástico.
- Identificar las características físicas y mecánicas del plástico extruido.
- Describir el comportamiento de las características mecánicas de una varilla de plástico (PET).

1.7 Justificación.

En el presente proyecto de investigación, se destaca debido a que se convierte en una guía para los ingenieros en la utilización del plástico PET reciclado como una varilla de refuerzo en hormigones, donde se podría reducir los costos en el sector de la construcción. Así mismo, se establece como un precedente para ampliar los fundamentos teóricos de las variables en estudio; comportamiento mecánico, varilla y plástico PET reciclado.

Se destaca que en la investigación propuesta se presentaran lineamientos y metodologías que sirven como aporte en el diseño y construcción de máquinas extrusoras, y como realizar ensayos para determinar las características físicas y mecánicas del plástico extruido y así identificar las dimensiones de una varilla de plástico (PET) para que funcione como refuerzo.

Actualmente las industrias no son capaces de lograr un máximo aprovechamiento del PET en el reciclaje, debido a que muchas de ellas contienen impurezas las cuales van desde metal, papel y demás sustancias extrañas, que minimizan su continuo uso.

El acero de refuerzo es un material convencional, que se identifica por tener una vida útil de buena durabilidad, características de alta resistencia, así como permite ser

moldeable, sin embargo, es el rubro más alto en cuanto a construcción se trata, en esta medida se plantea el uso del PET reciclado, como alternativa que comparte igualdad de características y las mismas propiedades con el diferencial de tener un costo más accesible.

En cuanto a los alcances académicos, mismos que se han destacado por su alto impacto respecto a la reutilización de PET permiten concernir las investigaciones a una aplicación del aludido polímero en el ámbito de la construcción.

Mediante esta propuesta se proyecta aportar al cumplimiento de los *Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)* concebida en la *Agenda de Desarrollo 2030* en la ONU 2015, donde Ecuador se suscribió a finales del mismo, para integrar en su Plan Nacional de Desarrollo; *Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura* donde se proyecta *Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.*

Según lo expuesto por (Organización de las Naciones Unidas, ONU ;, 2015) con el aumento del uso de minerales no metálicos en de la infraestructura y la construcción, presentando un progreso significativo en el nivel de vida material. La «huella de material» per cápita de los países en desarrollo aumentó de 5 toneladas métricas en 2000 a 9, en 2017. Se destaca así mismo que el 93% de las 250 empresas más grandes del mundo presentan informes de gestión en materia de sostenibilidad.

El informe del 2019 sobre el avance del cumplimiento de la agenda 2030 para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de la Secretaría Planifica Ecuador, no registra ningún avance, en este enfoque se busca promocionar un método eficaz, para minimizar la generación de residuos sólidos, fomentando el acopio de botellas de plástico, mejorando los indicadores y situación actual mediante una opción viable, ecológica y rápida.

Referente al ámbito ambiental, la investigación presentada tendrá como fin otorgar un sitio de disposición final del plástico PET de tal manera que reducirá la contaminación al medio ambiente y tendrá un aporte de reutilización por parte de los productos plásticos.

Los principales benéficos que se obtienen como resultado en la disminución de la producción de varillas de aceros, inician con la reducción de los costos de extracción de su entorno producción, ahorros energéticos generando así que existan menos coerciones

sobre los recursos ambientales. y garantizando la disposición en su estado natural para las futuras generaciones.

Seguido de la reutilización de recursos que han sido catalogados como desechos y garantizando una disposición final útil, que genera rentabilidad económica y medioambiental. En nuestro mercado se encuentran otros materiales de construcción como las varillas de acero, las cuales suponen extraer del entorno un elemento y no ser devuelto. En Ecuador no se ha desarrollado todavía un producto que sea ecológico, reciclado, amigable con el medio ambiente y que contribuya con el mejoramiento del entorno.

La industrialización inclusiva y sostenible, junto con la innovación y la infraestructura, se proyectan como una de las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos, desempeñando un papel clave a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, y permitir el uso eficiente de los recursos. Para optimizar el buen uso de los recursos, es imprescindible comportamiento, mediante un análisis y posterior propuesta técnica para disminuir los, mediante una gestión eficiente

1.8 Delimitación del problema

Campo:	Educación superior. Tercer nivel de grado.
Área:	Ingeniera Civil
Aspecto:	Investigación experimental
Tema:	Comportamiento mecánico de una varilla de plástico reciclado (PET) extruido.
Delimitación espacial:	Guayaquil – Ecuador
Delimitación temporal:	6 meses

1.9 Hipótesis

Las varillas de plástico reciclado (PET) extruido, con un diámetro optimo tendrá las características mecánicas para servir como refuerzo en elementos de hormigón armado.

1.10 Línea de investigación institucional/facultad.

Tabla 1
Línea de investigación de FIIC

Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	LINEA INSTITUCIONAL: Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	LINEA DE FACULTAD: Materiales de construcción.
--	--	--

Fuente: FIIC (2021)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes teóricos

Con respecto a la variable comportamiento mecánico; expone Mejía & Torres, el proyecto de investigación “*Caracterización del comportamiento mecánico del concreto simple con adición de fibras poliméricas recicladas PET*” previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, de la Universidad Católica de Colombia en la Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Civil. (Lugo Mejía & Torres Pérez, 2019).

En la publicación realizada se presenta un estudio comparativo del comportamiento mecánico, características físicas en el concreto al cual se le ha agregado elementos no convencionales, como Grano de Caucho Reciclado (GCR) Y Polietileno Tereftalato (PET) mismas que estarán presentes en sustitución del agregado fino utilizados la producción de unidades de mampostería para pavimentos.

Los investigadores presentan como objetivo del estudio describir el comportamiento mecánico del concreto simple con diferentes porcentajes de adición de fibras poliméricas recicladas PET, dentro de los objetivos específicos propuestos se inicia con la recopilación de información existente sobre el uso de las fibras PET en ingeniería civil.

Continuado con establecer dentro del diseño de la mezcla, las proporciones ideales de cada material para 1m³ de concreto, y determinar la resistencia a la compresión, tracción y flexión de la mezcla de concreto con la adición de polímeros, para finalizar proponen realizar la comparación de resistencia entre el concreto común y el modificado con fibras, adicionalmente revisar el balance económico y ver el beneficio del mismo.

El proyecto tiene como alcance describir el comportamiento mecánico del concreto con la adición de las fibras PET, así mismo identificar la proporción ideal de fibras para el aumento de la resistencia en el concreto.

Los autores concluyen que a partir de la información obtenida el uso de fibras como agregado en materiales de construcción como lo son el caucho de miga, PET, generan un aporte significativo para mejorar sus propiedades, sin embargo, su utilidad esta proporcionada con el porcentaje de adición a la mezcla específico el cual no debe ser

sobrepasado para que las fibras cumplan su función y mejoren las características del concreto.

Conjuntamente se expone que las fibras presentaban una mejora sustancial en el concreto ante los diferentes tipos de esfuerzos, principalmente a flexión, en el concreto generan un efecto a favor al reducir la retracción por fraguado y el agrietamiento generado ya sea por la misma retracción o por ser sometido a la acción de cargas.

Destacan los autores que el diseño realizado y con el cual se tuvo el punto de partida fue de un $F'_c = 4000$ psi, mostraron una alta mejora en el concreto con la ayuda de las fibras. Sin fibras $F'_c = 2844.67$ psi, con una cantidad de fibras de 96 kg de fibras se presentó una resistencia a la compresión de $F'_c = 3201.67$ psi, presentando así un aumento del 12.55% en la resistencia del concreto.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta es tomado como referencia en el proyecto de investigación propuesto, así mismo como la metódica utilizada por el autor en cuanto a diseño de muestra, caracterización de los materiales y las pruebas o ensayos realizados, además del proceso de caracterización de las muestras; toma del peso de cada muestra, dimensiones de las mismas y los esfuerzos presentados.

En el proyecto de investigación “*Comportamiento mecánico de bloques comprimidos de suelo cemento al 6% con fibras sintéticas de PET*” presentado por Guio Pérez en 2019, de la Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Estudios a Distancia FAEDIS, Programa de Ingeniería Civil, propone como punto fundamental y abordaje de sostenibilidad realizar el análisis de materiales aplicables a la construcción civil de bajos costes, que cumplan con la normativa en cuanto al comportamiento mecánico. (Guio Perez, 2019).

Este autor presenta en su estudio una metodología que permite mediante el uso de BTC la disminución de uso en combustibles fósiles, que además posea características mecánicas óptimas, a un costo accesible al interés social, destacando particularidades de diversidad arquitectónica en cuanto a su apariencia. Destaca que con la introducción de fibras de plástico PET se disminuirá la contaminación, empleándolo en materiales constructivos.

Como objetivo principal de este estudio, se evalúa el comportamiento mecánico de bloques comprimidos de suelo cemento (BTC) al 6% de cemento, utilizando fibras

sintéticas de plástico reciclado PET (Tereftalato de Polietileno) en diferente porcentaje de adición, 0.25, 0.5 y 1 %, para desarrollar un material que incorpore materiales reciclados y analizar si estos bloques cumplen con la normatividad del país.

Entre los objetivos específicos se inicia con buscar fuentes de información relacionados con el tema de investigación, seguido por caracterizar el suelo empleado en el estudio, continuado por la fabricación de las piezas con la maquina adobera, realizar la caracterización mecánica de los BTC, para finalizar analizar los datos y compararlos con criterios normativos aplicables.

Mediante el análisis de resultados, se obtuvo que; en las muestras con porcentajes de 0.5 y 1 % de fibras de PET un comportamiento a la prueba de compresión con MPa superiores en comparación a las muestras con 0.25% de fibra y los bloques sin fibra. En cuanto a bloques fabricados que no contaban con la fibra se mostraron resistencias a la compresión bajas, entre 0.91 y 0.95 MPa y con un leve incremento para los especímenes con 0.25% de fibras PET, con 2,09 MPa como promedio de resistencias a la prueba de compresión.

En los resultados referentes a la resistencia a la prueba de compresión se obtiene, que, al ser comprimido, no presenta factura inmediata, tendiendo el material a perder sus caras, manteniendo la geometría, al presentar la fractura, esta se dirige hacia las esquinas en un plano inclinado, lo cual se atribuye a la concentración de los esfuerzos.

El autor concluyo que es necesario medir la resistencia a la compresión y la deformación, para calcular el módulo de elasticidad y así determinar la resistencia real de los BTC, así mismo que es conveniente hacer este tipo de bloques con un mezclado mecánico que permita una incorporación más uniforme del material, pues manualmente la distribución de los componentes no es la óptima, debido a que el porcentaje de participación de los componentes del Bloque BTC.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta con referencia al proyecto de investigación propuesto es tomado en cuenta como base teórica del comportamiento mecánico; sirviendo de guía la metodología empleada.

Así mismo se utilizará de guía, para la creación de la máquina CINVA RAM, utilizada por el autor como una herramienta para masificar la fabricación de BTC, la misma que será utilizada en esta investigación.

Respecto a lo expuesto en el trabajo *“Estudio comparativo del comportamiento mecánico y características físicas en el concreto adicionado con Grano de Caucho Reciclado (GCR) Y Polietileno Tereftalato (PET) como reemplazo del agregado fino para la fabricación de unidades de mampostería para pavimentos”* realizado por Casas Hernández, de la Universidad de La Salle, Ciencia Unisalle, Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, previo a la obtención del título en Ingeniero Civil en el nivel del grado en la Línea de Investigación: Materiales para Construcción y Desarrollo Sostenible (Casas Hernández, 2018).

La investigación realizada tiene como finalidad estudiar el comportamiento mecánico de los especímenes de concreto adicionados con estos materiales, posterior a su elaboración se determinan las características físicas mediante el uso de visión artificial, cuyo uso requiere de programas de diseño asistido y semiasistido por computadora.

El objetivo principal de la investigación es evaluar las características mecánicas mediante ensayos de laboratorio y las características físicas haciendo uso de visión artificial, en el concreto adicionado con PET y GCR como reemplazo de un porcentaje del agregado fino.

Entre sus objetivos específicos esta, determinar experimentalmente la resistencia a compresión y flexión de los elementos de concreto al variar la cantidad de PET y GCR reemplazante del agregado fino, así mismo identificar la incidencia del comportamiento de los vacíos externos e internos mediante el uso de visión artificial en los elementos de concreto cuando se adicionan con PET y GCR.

Además, el autor propone identificar la incidencia que tiene la adición de PET y GCR en el comportamiento del color de los especímenes mediante el uso de visión artificial, establecer si es posible relacionar las características mecánicas de los elementos con los resultados obtenidos en los análisis de visión artificial en las muestras adicionadas con PET y GCR, y para finalizar determinar la viabilidad de utilizar estas unidades de mampostería en pavimentos.

El autor establece que es fundamental crear alternativas al uso que se le dan a los desechos de envases PET y llantas de caucho luego de cumplir su vida útil para mitigar los impactos negativos en el medio ambiente, con el fin de reducir la explotación de

materiales pétreos que constituyen los agregados del concreto, generando así una disminución en los costos que requiere incluir estos materiales en las mezclas.

Los resultados obtenidos en las pruebas para determinar las características mecánicas y físicas del concreto con adición de PET y GCR como reemplazantes del agregado fino, concluyen que; los ensayos de resistencia a flexión demostraron que esta propiedad se ve afectada a medida que se aumentan las concentraciones tanto de PET como de GCR.

El autor observo que la mezcla preliminar de prueba que, cuando se utilizó el porcentaje alto de PET (30%), el concreto no presentaba suficiente cohesión de partículas para poder realizar la medición como la normativa establece y considerando que el PET en dosificaciones muy altas puede tener como resultado una caída crítica de sus propiedades mecánicas.

El autor establece que en el trabajo desarrollado se puede determinar diversos factores que pueden mejorar esta investigación, como también algunos aspectos y recomendaciones para tener en cuenta en el uso de estos elementos, destaca así mismo que el uso de PET transparente dificultó el proceso de identificación de este espécimen mediante el análisis realizado en AutoCAD, por lo que, en medida de lo posible, se recomienda utilizar PET triturado con algún color definido, de esta manera, los análisis visuales no solo se hacen más sencillos, sino también más confiables.

Se destacan los aportes de la investigación anteriormente expuesta, en referencia al proyecto de investigación propuesto, los principales aspectos son; los precedentes, las bases teóricas de comportamiento mecánico, la metodología empleada para realizar los ensayos y obtener los resultados que permitieron evaluar las muestras, las propiedades mecánicas y físicas para ser consideradas como posibles elementos en la construcción.

Con respecto a la variable varilla, tenemos los siguientes antecedentes; en la Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones se presenta el trabajo de tesis *“Análisis, Comportamiento y Comparación de Varillas Corrugadas en Fibra de Vidrio, con Relación a las Varillas Convencionales; Conjuntamente en Elementos Estructurales de Hormigón”* como trabajo de grado previo la obtención del título de Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones. (Lalvay Llivigañay, 2017).

El objetivo general de la investigación planteada por el autor es; evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las varillas de fibra de vidrio, para obtener información de sus características y así tener un más amplio conocimiento sobre este nuevo material de la construcción, dentro de los objetivos específicos se concibe; determinar las propiedades físicas y mecánicas de las varillas de fibra de vidrio, evaluar de forma comparativa las varillas de acero con relación a las de fibra de vidrio, para obtener una idea clara de sus ventajas y desventajas y para finalizar analizar si las fórmulas del acero pueden ser usadas para este tipo de varillas.

Determino el autor que; en los ensayos a tracción las características como el módulo de elasticidad y el punto de ruptura de cada una de las varillas, dando como resultado en el acero el mismo módulo de elasticidad y curva de esfuerzo deformación que se ha trabajado en estos tiempos; mientras que la varilla de fibra de vidrio presento un módulo de elasticidad y una curva esfuerzo deformación distinta para cada diámetro de varilla, concluyo que la varilla de fibra de vidrio falló por aplastamiento en las mordazas debido a que sus corrugas se desprendieron; además, se comprobó que en la fibra a menor diámetro existe un mayor esfuerzo.

El autor estableció en el ensayo a compresión que; el esfuerzo a la compresión presento la respectiva deformación; dando como resultado que la varilla de fibra de vidrio presenta una curva esfuerzo deformación distinta a la del acero. En las varillas de fibra de vidrio se apreció un comportamiento sumamente interesante, al momento de quitar la carga de compresión la varilla retomo su forma original, pero presentando pequeñas fisuras; todo lo contrario del acero.

Así mismo destaca que; la adherencia de la varilla de fibra de vidrio resulto ser baja, en el análisis a flexión ésta presento desplazamiento en la viga; además, sus corrugas se desprendieron cuando la carga estaba cerca del 90% generando una adherencia baja entre la varilla y el hormigón.

Recomienda el autor que se deberá continuar con la investigación de este material ya que quedan muchas dudas que en el camino fueron apareciendo; como el comportamiento de la varilla de fibra de vidrio ante el fuego y el comportamiento de una viga armada con estribos de acero debido a que la columna presentó una falla de corte en el amarre del estribo.

De igual manera propone desarrollar parámetros de diseño con la normativa ecuatoriana NEC, con el fin de adecuar las características de la varilla de fibra de vidrio; modificando las ecuaciones de diseño y de análisis de elementos de hormigón armado; debido a que con las fórmulas actuales ésta varilla presenta muchas variaciones en la carga y deformaciones.

Establece el autor tener un adecuado control de las fisuras y deformaciones de los elementos de hormigón al momento de su diseño, comprobando que el elemento estructural tenga una buena resistencia y una buena servicialidad; así mismo, con la adherencia debido a que sus corrugas se desprenden generando una adherencia baja.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta con referencia al proyecto de investigación propuesto son las bases teóricas de las varillas, en específico se presentó antecedentes del uso de materiales innovadores en el sector de la construcción en elementos estructurales, así mismo como su adherencia con el hormigón, se destaca la metodología utilizada durante el proceso y los resultados obtenidos.

En el proyecto de investigación *“Estudio experimental de la influencia de la oxidación en la capacidad de adherencia de las varillas corrugadas utilizadas como acero de refuerzo en el hormigón, mediante el ensayo PULL OUT”* previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Mención Estructuras, de la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, elaborado por Guanoliquín Anasi, en la ciudad de Quito, agosto 2018.

En este proyecto, el autor investiga y analiza si el estado de oxidación superficial de las varillas de refuerzo utilizadas en el hormigón armado influye en porcentaje, de forma positiva o negativa en el fenómeno denominado tensión de adherencia.

En el objetivo principal el autor es determinar cuál es el porcentaje de la capacidad de adherencia dependiendo del estado de oxidación superficial del acero de refuerzo, en cuanto a objetivos específicos propone; definir las constantes y las variables que serán analizadas dentro de la investigación, validar las características de los materiales a utilizarse para la fabricación de las probetas, implementar y ejecutar el ensayo Pull – Out test como lo estipula la norma Rilem/CEB/FIP,

Así mismo clasificar los datos obtenidos del ensayo Pull – Out, descartando aquellos que estén dispersos de la media, relacionar la tensión de adherencia contra el

deslizamiento para cada uno de los ensayos, y para finalizar relacionar estado de Oxidación contra deslizamiento para diámetros nominales similares.

El autor expone que; al aplicar la carga de tracción en las varillas, aparece un esfuerzo de adherencia entre el hormigón y el acero, que puede aumentar o disminuir, este efecto depende únicamente del estado de oxidación superficial presentado en las barras, y es independiente del deslizamiento de las varillas dentro del hormigón, es decir que el porcentaje de variación será el mismo para cada deslizamiento

Al realizar el análisis de los resultados, se evidencia que existen dos comportamientos dentro del fenómeno de adherencia; en primera instancia, cuando las varillas se encuentran ligeramente oxidadas y la tensión de adherencia aumenta; segundo, cuando las barras están medianamente y severamente oxidadas la tensión de adherencia disminuye.

Concluyendo que el mecanismo de resistencia que tiene mayor influencia dentro del fenómeno de tensión de adherencia es la interacción mecánica, porque los otros dos mecanismos son anulados cuando la carga aplicada es muy grande.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta con referencia al proyecto de investigación propuesto son las bases teóricas de las varillas, se hace énfasis en la literatura utilizada, el uso de las normas establecidas para el diseño y ejecución de ensayos, el diseño de los elementos adaptados al medio constructivo ecuatoriano y los factores que intervienen en el fenómeno de adherencia.

En el Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Mecánico *“Análisis de las propiedades mecánicas y metalográfica de las varillas de acero corrugadas comercializadas por las diferentes ferreterías bajo la norma ASTM (A706/706M, A615/A615M) en el Municipio de Ocaña Norte de Santander”* presentado por Monterrosa Ruiz (2016), de la Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña, Facultad de Ingenierías, el investigador hace énfasis en el análisis de las propiedades mecánicas y metalográfica de las varillas de acero corrugadas comercializadas por las diferentes ferreterías en el municipio de Ocaña Norte de Santander, estableciendo a materia prima en la vida cotidiana, brindando un desarrollo sostenible a través de sus características únicas de resistencia y ductilidad.

El objetivo general planteado por el autor es realizar un análisis de las propiedades mecánicas y metalográfica de las varillas de acero corrugadas comercializadas por las diferentes ferreterías bajo la norma ASTM (A706/706M, A615/A615M) en el municipio de Ocaña Norte de Santander, en objetivos específicos se tiene realizar encuestas para determinar el número de ferreterías en el municipio de Ocaña, determinar los diámetros de las varillas de aceros corrugadas de uso común en las diferentes construcciones del municipio de Ocaña norte de Santander.

Destaca la relevancia de la realización de este proyecto investigativo debido a que brindara un gran apoyo a todas las personas vinculadas con la construcción, debido a que es una necesidad imperiosa frente el auge que ha tomado la construcción en el municipio de Ocaña. Expone que el estudio es fundamental por el papel que juega las propiedades mecánicas y metalográficas de los materiales estructurales en el área de construcción, garantizando así la resistencia de las estructuras en la construcción.

Plantea el autor que; indudablemente en estas construcciones se requieren de materiales que cumplan con normas técnicas; entre estos materiales se hace referencia a las varillas de acero corrugadas, para que garanticen un óptimo funcionamiento deben cumplir con normas específicas internacionales, de tal manera que las varillas de acero corrugada ofrezcan a los constructores garantías en el acabado de sus estructuras.

En el análisis de resistencia a la tracción y flexión el autor contrasto que, para determinar la resistencia a la tracción de cada uno de los fabricantes, se escogieron 5 muestras que fueron sometidas a cargas que llevaran el material hasta la ruptura, con la finalidad de conocer las propiedades mecánicas de cada uno de los fabricantes.

Para realizar estas pruebas se tomaron submuestras de 500mm de cada fabricante y proveedor de una muestra inicial de 1000 mm, a las cuales se les realizaron medición de las características físicas, así mismo se realizaron las pruebas de tensión y flexión. En la metalográfica que se realizó se observó en su microestructura corresponde a un acero hipo eutectoide que tiene un contenido de carbono inferior al 0,77%, en la que se observó ferrita y perlita que son las láminas alternas claras (ferrita) y oscuras que son el cementita (carburo de hierro Fe₃C). Obteniendo el autor como resultado del estudio un acero de bajo carbono para la fabricación de las varillas de acero corrugado.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta con referencia al proyecto de investigación propuesto son las bases teóricas de las varillas, se destaca la metodología que se utilizó, para el análisis de las propiedades mecánicas y metalográfica de las varillas de acero corrugadas, así mismo como el uso de las normativas internacionales ASTM (A706/706M, A615/A615M) para acero de refuerzo.

Referente a la variable Plástico reciclado PET extruido, se presenta el proyecto de investigación previa a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, *“Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de pallets a partir de plástico reciclado”* elaborado por E. Sánchez Gallo de la Universidad Politécnica Salesiana en el año 2015.

El autor presenta la investigación a partir de la problemática ocasionada por la acumulación de residuos sólidos que ha afectado a la ciudad de Guayaquil entre otras ciudades del país. Acentuándose por la escasa cultura ambiental, la falta de programas de reciclaje y el desinterés de los beneficios que trae consigo en reciclaje

Los plásticos utilizados en la industria y en la vida diaria son productos con una pobre capacidad de degradación, como consecuencia quedan muchos residuos en el medio ambiente durante años.

En cuanto a los resultados obtenidos, de la resistencia de los elementos constructivos fabricados con la maquina extrusora, se destaca las principales ventajas, de ser; estéril, imperecedero, aislante, insensible al agua y a la humedad, a los agentes químicos, rayos UV, organismos vivos como las bacterias o los insectos, además, y además fácil de lavar y desinfectar. Obteniendo valores de; Peso específico: 0.90 a 0.96 gr/cc, Máxima temperatura de servicio: 75°C, Punto de reblandecimiento: 130°C, Máxima resistencia a baja temperatura (PET): -75°C, Dureza: shore D 63; rockwell 49 Esfuerzo a tensión: 3,300 psi Elongación para ruptura: 800% Módulo de flexión: 125,000 psi Izod impacto: 8 ft-lb/in.

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica son de acuerdo al fabricante que controla la síntesis y procesamiento para cumplir las características requeridas que pueden variar en función de los tipos de polímeros empleados y al grado de degradación de los mismos.

Así mismo el autor recomienda una propuesta de productos a partir de material reciclado PET donde se realiza un análisis de resistencia de los elementos y un análisis de eco diseño que presenta armonía paisajística volviéndose amigable con el entorno.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta con referencia al proyecto de investigación propuesto son las bases teóricas del plástico PET reciclado extruido, se destaca la metodología que se utilizó, así mismo como el aporte en cuanto el principio de funcionamiento de una Extrusora-Peletizadora, y su innovación para crear elementos constructivos a partir del PET reciclado.

Se expone el proyecto de investigación “*Reciclado de plástico (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión*” propuesto por Turpo Mamani (2019), Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura; Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Quien propone como objetivo principal Reutilizar plástico (PET) en la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión, seguid de los objetivos específicos que son; diseñar y ensamblar la extrusora, seleccionar plástico PET para el proceso de extrusión, así mismo como determinar la mezcla óptima de PET y arena fina y para finalizar evaluar la resistencia a compresión del adoquín de PET y arena fina.

Para este proyecto se requirió del diseño de una máquina extrusora con los componentes fundamentales que requiere el método de extrusión, mismos que son: un monohusillo de 1.10m de longitud con un diámetro de 30mm, un motor de 1.5HP acoplado a un motorreductor de 40 rpm y una tolva de alimentación, la extrusora ensamblada controló automáticamente la temperatura de fusión del plástico, este control se dio por la incorporación de un microcontrolador Arduino Mega 2560 que permitió realizar todo el proceso de extrusión apropiadamente.

En la investigación la autora mediante el experimento y análisis realizado se establece que; el tereftalato de Polietileno (PET) es un polímero que se puede reciclar en combinación con la arena fina para obtener adoquín aplicado en pavimentos peatonales como: parques, plazas, villas, travesías, boulevard y en comunidades pequeñas.

Así mismo destaca que una mayor concentración de PET es menor la resistencia, el enfriamiento es acelerado y requiere una refrigeración inmediata; del segundo tratamiento se concluye que la incorporación de un 25% de arena fina aumentó la resistencia del

adoquín de esto se infiere que la arena fina es un material que brinda refuerzo, cohesión y rigidez; en el tercer tratamiento ambos materiales se prepararon a porcentajes iguales donde la arena sigue aumentando la resistencia y el cuarto tratamiento posee la resistencia más alta con 220.6 kg/cm² por que tuvo buena interacción del polímero y la arena.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta con referencia al proyecto de investigación propuesto son las bases teóricas de la variable plástico PET reciclado extruido, en la que se destaca la metodología utilizada, el diseño, ensamblado y operación de una extrusora de tipo monohusillo y la obtención de piezas o elementos constructivos a partir de ella.

Se presenta el proyecto *“Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de Polipropileno (PP) reciclado mediante la adición de Polietileno Tereftalato Reciclado (PET) por proceso de extrusión”* expuesto por Poalacin Barragán (2019), presentado para optar por el grado académico de Ingeniera Química en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias.

La autora plantea como objetivo general; mejorar las propiedades físicas y mecánicas de Polipropileno (PP) Reciclado mediante la adición de Polietileno Tereftalato Reciclado (PET) por proceso de extrusión, así mismo presenta los objetivos específicos, los cuales son; realizar la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del polipropileno reciclado (PP) utilizado como materia prima.

Además, propone determinar las variables del proceso de extrusión del polipropileno reciclado (PP) y del polietileno teraftalato reciclado (PET), determinar la concentración óptima de polietileno teraftalato reciclado (PET) para su mezcla con polipropileno reciclado y para finalizar caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del producto obtenido en base a la mezcla realizada.

En la investigación la materia prima utilizada presento propiedades físicas, mecánicas y morfológicas propias de la naturaleza del material, al tener la cualidad de reciclado, los valores vistos presentan una desviación menor a los que se verían de ser un material puro. Porcentualmente la composición del polipropileno reciclado por microscopia utilizado por la tesista fue de 100 % C, un esfuerzo de fluencia en tracción de 15,90, esfuerzo a la rotura de flexión de 28,65.

Estos resultados fueron obtenidos a partir de las condiciones establecidas en la extrusora de monohusillo para la obtención de probetas de la matriz de PET y PP reciclado. Determinando el siguiente perfil de temperatura desde la zona de alimentación hasta la boquilla: 155/190/190/190, con una velocidad del tornillo de 350 rpm y una presión de moldeo de 31 MPa.

Concluye que las características físicas y mecánicas del producto obtenido en base a la mezcla realizada muestran un cambio en la matriz de polipropileno utilizado como base, dicho cambio proviene del mismo proceso de extrusión llevado a cabo y de la utilización o no del compatibilizante, de tal forma que si este es utilizado las fases entre PP/PET tendrán características diferentes tanto estructuralmente como en las propiedades mecánicas.

El aporte de la investigación anteriormente expuesta son las bases teóricas del plástico PET reciclado extruido, se destaca la metodología empleada, y su contribución significativa en la extrusión del PET reciclado, moldeo, las técnicas, los ensayos de flexión, tracción y compresión, así mismo como cálculos de Ingeniería propuestos.

Para la primera variable correspondiente a comportamiento mecánico, se tomó como referencia el libro “Comportamiento mecánico de los materiales”, de los autores Núñez , Roca , & Jorba (2016), aquí se detallan las propiedades mecánicas, que pueden ser estudiadas mediante cada uno de los ensayos descritos y los parámetros que las permitirán cuantificar.

2.2.2. Comportamiento mecánico

Es la conducta que presentan las propiedades de los materiales al ser sometidas a fuerzas mecánicas externas que tienden a alterar su capacidad de equilibrio, donde el comportamiento mecánico de los materiales y su inmediata evolución, se encuentra dentro de la estructura de las propiedades del material. Es necesario para el entendimiento sobre el comportamiento mecánico de los materiales, conocer las propiedades mecánicas que presentan los materiales.

2.2.2.1. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas definen el comportamiento de la estructura interna de la materia ante la acción de fuerzas externas. Cuando dos fuerzas opuestas actúan sobre un

cuerpo, pueden provocar una modificación interna, alterando la posición y distancia entre sus átomos, que resulta en un cambio de forma de dicho cuerpo.

A continuación, se explican todos los términos relacionados con dichas propiedades:

2.2.2.1.1. Fuerza

Es la tracción que se aplica sobre un cuerpo, lo que produce un cambio en la posición de reposo (deformación) o movimiento del mismo. Estas fuerzas pueden ser axiales (tracción y compresión) y no axiales (cizallamiento o tangenciales).

- a. **Fuerza de tracción:** producida por una carga que estira o alarga un cuerpo, va acompañada de una deformación por tracción.
- b. **Fuerza de compresión:** producida por una carga que comprime o acorta un cuerpo, va acompañada de una deformación por compresión.
- c. **Fuerza de cizallamiento o corte:** resultado de dos grupos de fuerzas paralelas entre sí, que resisten el desplazamiento o movimiento de una parte de un cuerpo sobre otro, lo que resulta en un corte del cuerpo.

2.2.2.1.2. Distorsión o Deformación

Se refiere al cambio de la forma original que puede sufrir un cuerpo por acción de una carga o fuerza ajena al cuerpo.

La deformación puede ser:

1. **Elástica:** es una deformación reversible. El cuerpo recupera su forma original cuando se retira la fuerza ejercida sobre él.
2. **Plástica:** es una deformación permanente. El cuerpo no recupera su forma original al ser retirada la fuerza.

2.2.2.1.3. Elasticidad

Se refiere a la propiedad mecánica que hace que los materiales tengan la posibilidad de deformarse por fuerza externas y volver a su estado original sin romperse o fracturarse. Los materiales completamente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, que es lo que se conoce como límite elástico.

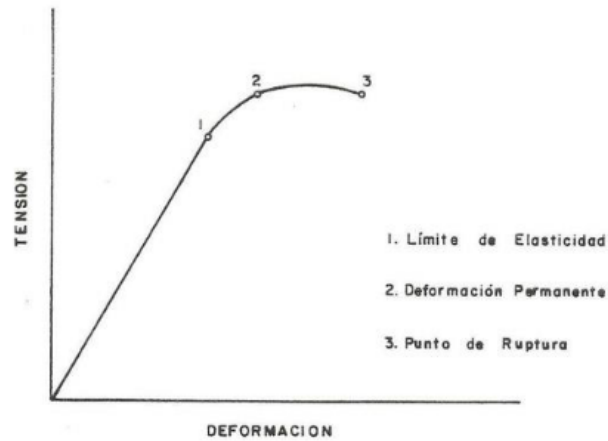


Figura 1: Límite de elasticidad
Fuente: 360enconcreto (2020)

2.2.2.1.4. Limite elástico

El límite elástico o también conocido como límite de elasticidad, es la tensión máxima que puede llegar a soportar un material elástico sin presentar deformaciones permanentes.

2.2.2.1.5. Módulo de elasticidad

También conocido como módulo de Young, hace referencia a la relación, entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Cuando se presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria a esta se le denomina LEY DE HOOKE.

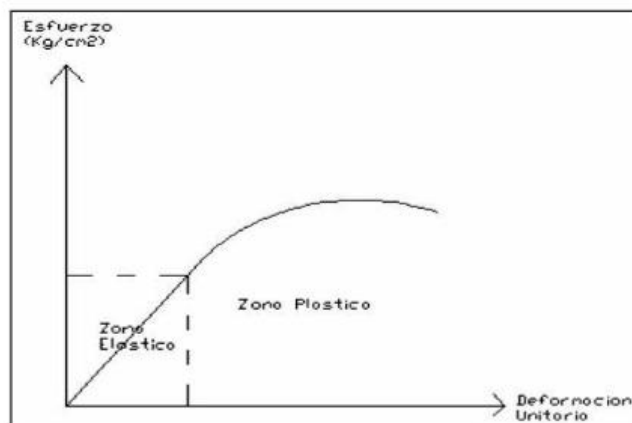


Figura 2: Grafica esfuerzo vs deformación
Fuente: 360enconcreto (2020)

2.2.2.1.6. Ecuación ley de HOOKE.

La ley de Hooke habla acerca de la proporcionalidad entre la deformación de un material elástico la cual es directamente proporcional al esfuerzo aplicado. Indica que por cada aumento en la tensión existirá un aumento proporcional en la deformación.

Formulación 1 Ecuación ley de HOOKE

Es expresada como:

$$\sigma = E\varepsilon \quad [1]$$

Dónde:

σ = Esfuerzo axial

ε = Deformación

A = Modulo de elasticidad

2.2.2.1.7. Dureza

Resistencia de un cuerpo a ser penetrado por otro. En algunos casos puede ser modificada (aleaciones, tratamientos). Oposición que ejerce un cuerpo para no rayarse.

2.2.2.1.8. Tenacidad

Es definida como la energía por unidad de volumen que absorbe el material hasta la fractura puede evaluarse mediante el módulo de tenacidad, considerado como un parámetro auxiliar en selección de materiales.

2.2.2.1.9. Fatiga

Es la rotura por un esfuerzo de magnitud o sentido variable, es una deformación de los materiales sometidos a cargas variable, algo inferiores a la rotura.

2.2.2.1.10. Fragilidad

Cualidad contraria a la tenacidad. Tienen el límite de elasticidad y el de rotura muy próximos: carecen de zona plástica. Cuando se ejerce una fuerza sobre un material este se fractura.

2.2.2.1.11. Esfuerzo axial o normal

Es la fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada, se llama esfuerzo sobre esa sección y se representa con la letra griega σ (sigma). El esfuerzo en un elemento con área transversal A sometido a una carga axial P se obtiene, por lo tanto, al dividir la magnitud P de la carga entre el área A ”

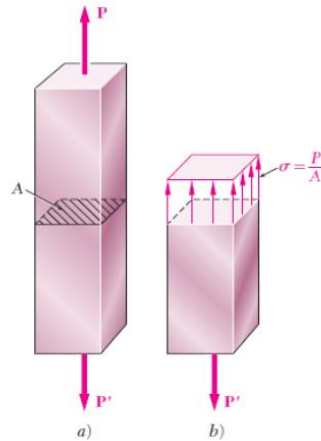


Figura 3: Sección de prisma sometido a una carga axial.

Fuente: PIERRE, RUSSELL, T. DEWOLF, (20...). 5 p.

Es expresada como:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad [2]$$

Dónde:

P = Carga Axial actuante

A = Área de sección transversal

2.2.2.1.12. Esfuerzo a Tensión

Se establece que este esfuerzo es ocasionado cuando una estructura está sometido a dos fuerzas o cargas de sentido opuesto entre sí, ocasionando que la estructura se deforme por alargamiento.

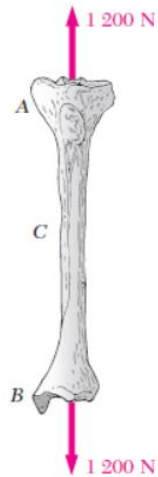


Figura 4: Ejemplo de esfuerzo a Tensión.

Fuente: PIERRE, RUSSELL, T. DEWOLF, (20...). 5 p.

2.2.2.1.13. Esfuerzo a compresión

Descrito como un esfuerzo de compresión, ocasionado cuando el cuerpo está bajo la acción de dos fuerzas en sentido opuesto, que ocasiona una deformación por aplastamiento sobre la estructura

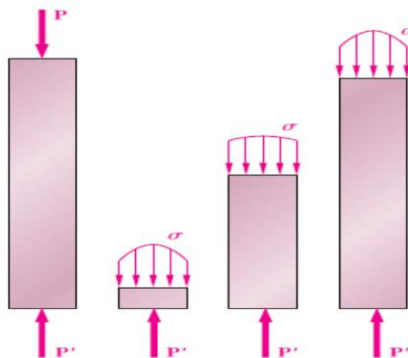


Figura 5: Ejemplo de esfuerzo a compresión

Fuente: PIERRE, RUSSELL, T. DEWOLF, (20...). 5 p.

2.2.2.1.14. Esfuerzo A Flexión

Se define que una estructura está sometida a flexión cuando se encuentra bajo fuerzas que provocan que la estructura se doble

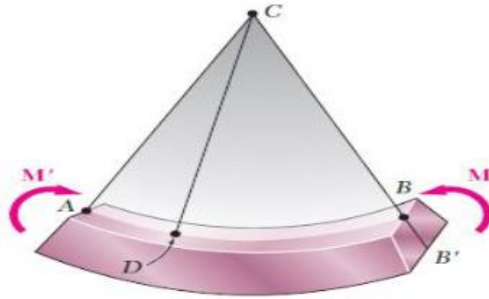


Figura 6: Ejemplo de esfuerzo a compresión

Fuente: PIERRE, RUSSELL, T. DEWOLF, (20...). 5 p.

2.2.2.1.15. Esfuerzo Cortante

Según el libro de Mecánica de Materiales de Ferdinand P. Beer, el esfuerzo cortante se da al dividir el cortante P entre el área A de la sección transversal, y así se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. El cual se representa a través de la letra griega τ (tau)

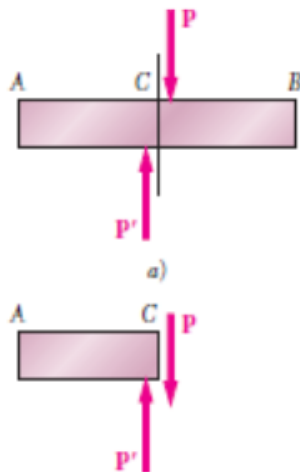


Figura 7. Ejemplo de esfuerzo cortante

Fuente: PIERRE, RUSSELL, T. DEWOLF, (20...). 5 p.

Es expresada como:

$$\tau_{\text{promedio}} = \frac{P}{A} \quad [3]$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante promedio

P = Fuerza trasversal

A = Área de sección trasversal

2.2.2.1.16. Descripción secuencial del ensayo de tracción técnico

En el ensayo de tracción técnico se aplica una tensión de tracción uniaxial creciente a velocidad moderada a la vez que se registra el alargamiento que experimenta el material hasta el momento en el que se produce la fractura. Debido a la moderada velocidad de aplicación de la fuerza se considera que el ensayo de tracción técnico es cuasi estático.

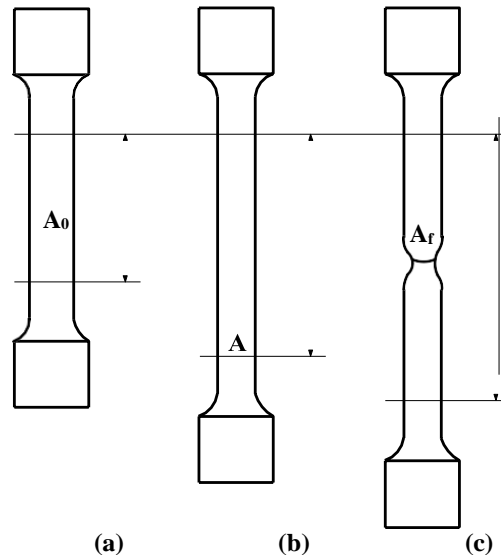


Figura 8: Morfología de probeta para el ensayo de tracción: a) dimensiones originales; b) dimensiones durante el ensayo (etapa de deformación uniforme); c) dimensiones finales (morfología para aleaciones metálicas).

Fuente: Elaborado por los autores

En el caso de algunos polímeros, puede producirse un incremento significativo de la temperatura de estos materiales debido a la aplicación de un trabajo mecánico severo en un tiempo relativamente corto y, como consecuencia, la variación de las propiedades que se pretenden determinar con el ensayo de tracción técnico. Por ello, las normativas de distintos países establecen que el ensayo de tracción técnico se lleve a cabo con control de deformación, es decir, a velocidad de deformación constante.

Con relación a la variable Plástico PET extruido se tomó con referencia el libro de “Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos”, escrito por Leonardo Emiro Contreras Bravo, Luis Fernando Vargas Tamayo, Ricardo Augusto Ríos Linares (2018). Al referirnos sobre el plástico PET, nos estamos refiriendo a un material polimérico (polímero), por lo que es importante mencionar las características y propiedades de estos materiales.

2.2.3. Polímero

Un polímero, se puede definir como un compuesto orgánico, procedente de origen natural o sintético, que posee un alto peso molecular, formado por unidades estructurales repetitivas denominadas: monómeros.

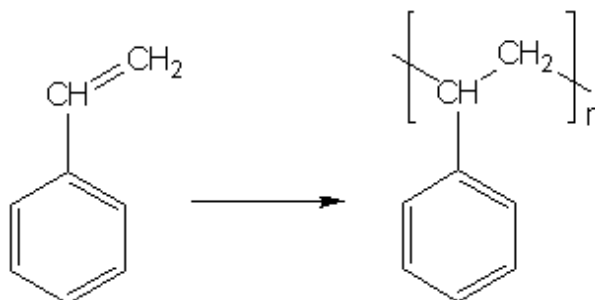


Figura 9: Polimerización del estireno para dar poliestireno

Fuente: Van der Vegt, A.K. 1999

“Los polímeros son moléculas de grandes dimensiones, compuestas por eslabones orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes” destaca el enlace de los mismos, mencionando que primordialmente están compuestos por átomos de carbono y varios de ellos pueden poseer grupos laterales o radicales conformado con uno o más átomos.

Citando a Sánchez Gallo (2015), quien por su parte precisa a los polímeros como moléculas lineales o de tipo ramificadas, las cuales se forman debido a una repetición indefinida de los grupos funcionales simples, donde se destaca sobre todo en su definición la clasificación de los mismos, su composición y comportamiento químico.

Son consideradas las mencionadas moléculas orgánicas como son las que componen los materiales plásticos que son reconocidos en la actualidad, los polímeros sintéticos se originan mediante la polimerización, este es un proceso que genera la reacción de miles de monómeros mismos que son parte de una cadena macromolecular extensa. Desde esta perspectiva los tipos de polimerización son dos; crecimiento de cadena denominado adición y por crecimiento por pasos denominado condensación.

Los polímeros sintéticos poseen características de alta resistencia a la degradación biológica, el proceso se presenta debido a que las enzimas de los microorganismos no logran separar los enlaces C-C, y debido a su carácter hidrofóbico inhibe la acción

enzimática, además favorece a esta condición el peso molecular mayor y la menor área superficial.

En esta medida, un plástico es biodegradable no sólo por las materias primas empleadas para su producción, además dependen de la estructura química y la constitución final del producto que están posean,

2.2.3.1. Historia de los Polímeros

En cuanto a la historia de los plásticos, el primer ejemplar surge a partir de 1860, en Estados Unidos donde Phelan and Collander, fabricante de bolas de billar ofreció una recompensa de 10.000 dólares concurso, lo ganaría quien presentara un sustituto aceptable del marfil natural, para hacer las bolas de billar, la propuesta de John Wesley Hyatt, fue el celuloide, el cual era inflamable y se deterioraba al exponerlo a la luz, con el cual no obtuvo el premio, pero sin embargo ganó éxito comercial.

John Wesley Hyatt obtuvo el celuloide disolviendo la celulosa, la cual es un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol, el cual tenía la característica de poderse suavizar o ablandar repetidamente y ser moldeado de nuevo mediante calor aplicado, siendo denominado como un termoplástico, utilizados en mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica.

En 1909 el químico Leo Hendrik Baekeland sintetizó un copolímero de interés comercial, conformado por moléculas de fenol y formaldehído, el cual poseía la característica de poderse modelar cuando se formaba y al solidificarse adquiría una resistencia dura, además de ser resistente al agua, no era conductor de electricidad, era se lo nombro baquelita, quien pasaría la historia como el primer plástico totalmente sintético.

Debido a la estructura molecular de la baquelita se obtuvo un plástico termoestable, una vez que este se enfrió no es posible que se pueda volver a ablandar. Es aquí donde radica las diferencias entre los polímeros termoplásticos, debido a que sus cadenas no presentan entrecruzamiento a diferencia de la baquelita. En la actualidad los polímeros comercialmente más importantes producidos y sintetizados a gran escala.

2.2.3.2. Estructura Química

Los polímeros son catalogados como macromoléculas y se forman debido a la unión repetida de una o varias moléculas las cuales se encuentran incorporadas por enlaces

covalentes, los monómeros son las moléculas pequeñas que se combinan entre sí, en la polimerización se presentan en las reacciones que se realizan para obtener los polímeros

El polietileno, la molécula es sencilla, de tipo no polar, y las cadenas diferentes se atraen entre sí debido a las fuerzas intermoleculares débiles, y debido este proceso el polietileno es blando y puede ser fundido a temperaturas no muy altas, pero en el PET, la introducción en la cadena primordial de grupos aromáticos que son grupos voluminosos y polarizables mismos que desarrolla su rigidez debido al anillo bencénico, además de proporcionar una resistencia superior química.

2.2.3.3 Clasificación de los Polímeros

Los polímeros presentan diversas categorías en las cuales se pueden clasificar, debido a la gran variedad de los mismos, se pueden destacar las subdivisiones más relevantes, pudiendo ser; según su origen, debido a la estructura de las macromoléculas o según su uso en el medio.

2.2.3.3.1 Según su origen

2.2.3.3.1.1 Naturales

Surgen a partir de sustancias producidas por organismos vivos, los cuales son utilizados sin modificación humana o química, como las proteínas empleadas por las arañas para tejer su tela y caucho natural.

2.2.3.3.1.2 Sintéticos

Son macromoléculas en las cuales interviene la mano del hombre, éstas tienen dos categorías contando con; termoplásticos y termorígidos, relacionadas con su comportamiento al ser sometidas a altas temperaturas, los primeros al calentarse se ablandan o funden, y los segundos al ser sometidos a iguales condiciones se descomponen y no pueden fundirse ni solubilizarse.

2.2.3.3.2 Según la estructura de la cadena

Estos pueden ser: Homopolímero o Copolímeros.

Los homopolímeros son aquellos polímeros en los que todos los monómeros que los constituyen son iguales. Los copolímeros están formados por dos o más monómeros diferentes.

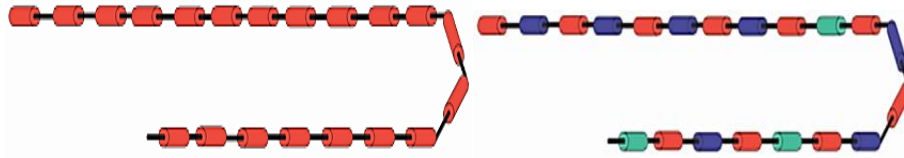


Figura 10: Polímero Homopolímero y Copolímero, según la estructura de la cadena.
Fuente: (Gallo, 2015, pág. 17)

Las propiedades de los polímeros pueden variar considerablemente dependiendo de si existen o no ramificaciones y de la longitud de las mismas, destacando que cuando en las reacciones de polimerización no existen reacciones secundarias se obtienen polímeros lineales con o sin ramificaciones, dependiendo de diversas condiciones de polimerización se pueden obtener ramificaciones cortas o largas.

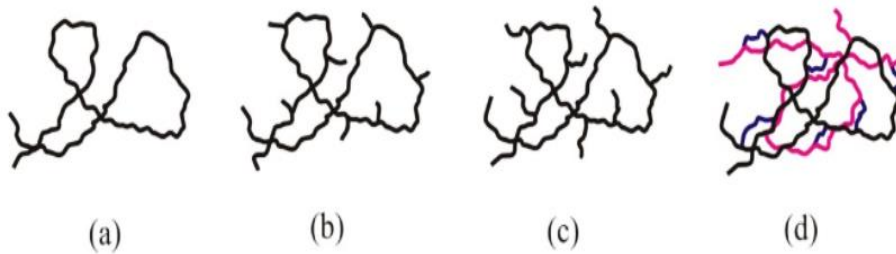


Figura 11: Polímero lineal sin ramificaciones (a), con ramificaciones cortas (b), con ramificaciones largas (c), y polímero entrecruzado (d).
Fuente: Beltran & Marcilla, 2012

- **Lineal:** Se repite siempre el mismo tipo de unión.



Figura 12: Polímero lineal, según la estructura de la cadena.
Fuente: (Gallo, 2015, pág. 17)

- **Ramificado:** Con cadenas laterales unidas a la principal.

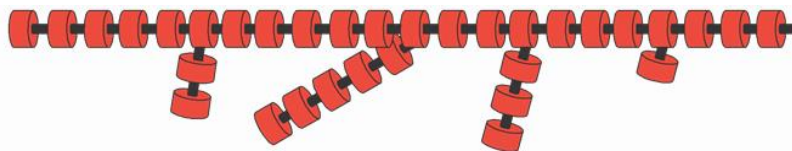


Figura 13: Polímero ramificado, según la estructura de la cadena.
Fuente: (Gallo, 2015, pág. 17)

- **Entrecruzado:** Si se forman enlaces entre cadenas vecinas.

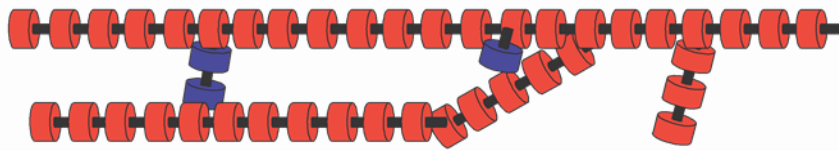


Figura 14: Polímero entrecruzado, según la estructura de la cadena.
Fuente: (Gallo, 2015, pág. 17)

2.2.3.3.3 Según su respuesta termo-mecánica:

2.2.3.3.3.1 Termoplásticos

Son polímeros termoplásticos generalmente lineales o poco ramificados, pudiendo así fluir a presión por encima de su punto de fusión, poseen la ventaja de ser moldeados así mismo pueden ser remodelados mediante la aplicación de calor, haciendo del reciclaje un proceso sencillo.

El 80% de los plásticos producidos actualmente y se encuentran en los siguientes productos:

- HDPE: tuberías, contenedores diversos, botellas, juguetes
- PET: básicamente botellas y envases de alimentación, moquetas.

2.2.3.3.3.2 Termo rígidos

Denominados como termoestables, son polímeros reticulados durante la reacción de polimerización o mediante la introducción de entrecruzamientos químicos, proceso que no permite que estos polímeros sean reprocesados después de que han sido conformados. debido a que pierden sus características, por lo que son catalogados como de difícil reciclado, para aprovecharlos se los tritura e incluye otros procesos.

Los más comunes a; *Elastómeros, Adhesivos, Recubrimientos de superficies, Fibras.*

2.2.3.4 Tipos de Polímeros

2.2.3.4.1 Polietileno de baja densidad (LDPE)

Citando a Sánchez Gallo (2015), quien define al polietileno de baja densidad como el principal polímero comercial de etileno, también denominado como polietileno ramificado, posee características de ser un material de baja densidad o de alta presión.

2.2.3.4.2 Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo es un producto de síntesis que forma parte del amplio grupo de los compuestos vinílicos mencionando que es una sustancia con una gran capacidad reactiva que conforman parte de polímeros (compuestos), propiedad que es empleada para la fabricación de los plásticos.

2.2.3.4.3 Polipropileno (PP)

Según lo que expresa (Sánchez Gallo, 2015) el Polipropileno es el más ligero de los plásticos importantes, el cual posee una densidad de 0.905, donde su alta cristalinidad le proporciona una mayor resistencia a la atracción, rigidez y dureza. El elevado punto de fusión permite que las piezas bien moldeadas sean esterilizables y el polímero conserva una alta resistencia a la tracción a temperaturas elevadas.

2.2.3.4.4 Polietileno de alta densidad (HDPE)- lineal

El polietileno lineal puede producirse de varias formas, dentro de las cuales se encuentra la polimerización radical del etileno y la polimerización del etileno con un catalizador de óxido metálico soportado. Como plantea (Sánchez Gallo, 2015) los polietilenos son altamente cristalinos en un porcentaje superior al 90%, y contienen menos de una cadena lateral por cada 200 átomos de carbono de la cadena principal.

2.2.3.4.5 Poliestireno (PS)

El poliestireno es un polímero de tipo lineal, termoplástico, considerado uno de los tres grandes termoplásticos más antiguos en ser concebidos, es decir, polietileno, policloruro de vinilo y poliestireno, el cual posee características de bajo coste de producción y facilidad para moldear.

2.2.3.4.6 Politereftalato de etilenglicol (PET)

El PET es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol, es de tipo lineal, y posee un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, características que lo hacen idóneo para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

Debido a sus propiedades físicas la capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas este material se ha empleado en el desarrollo y producción de fibras textiles y

una amplia gama de envases, principalmente en la fabricación de botellas, bandejas, flejes y láminas.

El tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato, politereftalato de etileno conocido por las siglas en inglés “PET”, conforma la familia de los poliésteres denominado como un polímero, termoplástico, el cual es producido por la polimerización del etilenglicol con ácido tereftálico, mismo que dependiente de la velocidad en que se enfríe luego de ser conformado puede ser considerado como amorfo o parcialmente cristalizado.

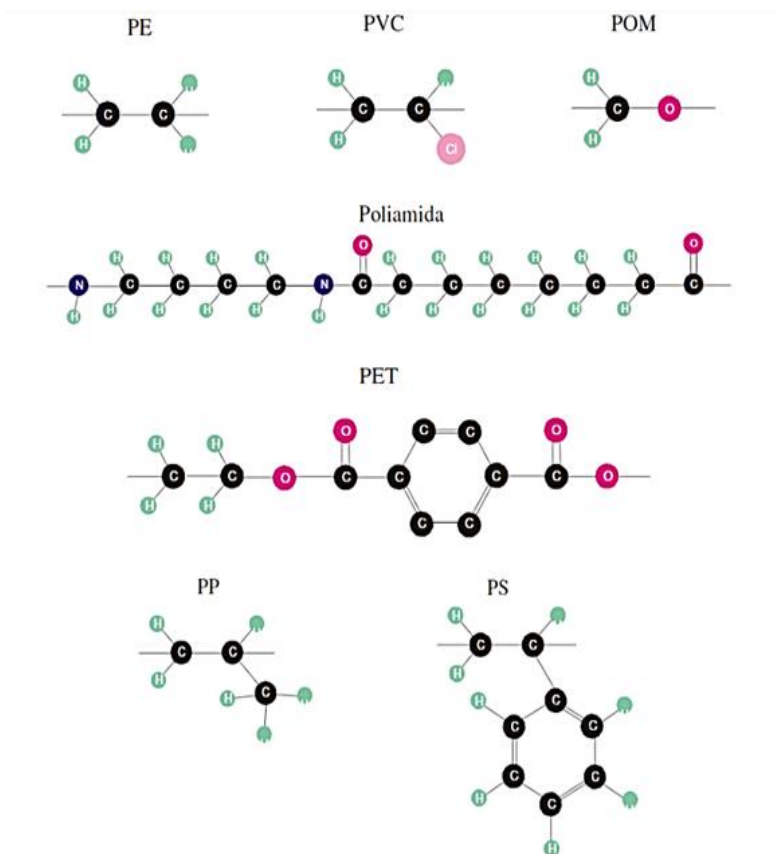


Figura 15: Estructura de los Polímeros
Fuente: Tecnología de Polímeros (Beltrán & Marcilla)

2.2.3.4.6.1 Descripción, características y propiedades del tereftalato de polietileno PET

Según la definición expuesta por Reyes Montoya (2018), el PET es polímero plástico, el cual se encuentra dentro de la categoría de los termoplásticos, los cuales están compuestos por cadenas de polímeros lineales, mismos que tienden a fundirse o ablandarse a un determinado rango de temperatura. Los cuales pueden presentar una estructura totalmente desordenada en sus cadenas y ser denominadas como amorfas, o

presentar áreas con determinada organización geométrica y ser catalogadas como semicristalinos.

Se define desde el punto de vista de la Química como un polímero producto de la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, mismo que corresponde al grupo de materiales sintéticos de los poliésteres, el cual es utilizado en gran escala en la producción de textiles plásticos para envases de bebidas.

El PET es un polímero termoplástico lineal, de alta cristalinidad. Así mismo establece los tipos de procesos mediante los cuales puede ser sometido tales como; Extrusión, inyección, inyección y soplado de preforma y termo conformado.

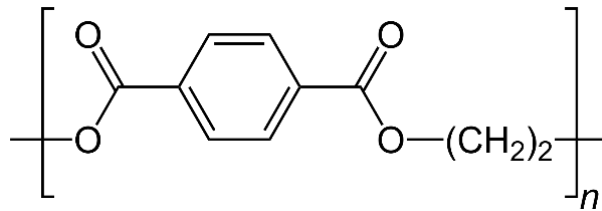


Figura 16: Composición Química del Polietileno de Tereftalato
Fuente: Van der Vegt, A.K. 1999

El PET, por sus siglas en inglés PET, << *polyethylene terephthalate, tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilenotereftalato o polietileno tereftalato*>> químicamente es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, el cual pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es el polímero más producido por la mano del hombre en la historia.

El Polietileno de Tereftalato (PET), fue producido en primera instancia en 1941 por los británicos Whinfield y Dickson, su descubrimiento surgió cuando investigaban poliésteres termoplásticos, con la finalidad de suplir las fibras naturales del algodón o el lino provenientes de Egipto. (Arniz Arniz , 2016, pág. 120).

Tabla 2
Ventajas y desventajas del PET

Ventajas	Desventajas:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bueno como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂ 2. Es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes 3. Irrompible 4. Liviana 5. Impermeable 6. No tóxica 7. Inerte (al contenido) 8. Resistencia esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza 9. Alta resistencia química y buenas propiedades térmicas 10. Totalmente reciclable 11. Superficie barnizable 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiene un número finito de reciclado 2. No se destruye de forma natural 3. Tiene desprendimiento de sustancias tóxicas cuando es sometido a temperaturas por arriba de los 230 °C

Fuente: (Montoya, 2018, pág. 2)

2.2.3.4.7 Clasificación del PET

El PET se clasifica en función de la viscosidad intrínseca, la cual es directamente proporcional a su peso molecular y de la modificación polimérica que reduce la velocidad de cristalización y el punto de fusión, siendo; Resina sintética termoplástica o Polímero termoplástico semicristalino.

2.2.3.4.8 Proceso de producción del PET

Existen dos métodos para obtener el PET; la primera es mediante el ácido tereftálico y el etilenglicol y la segunda mediante del dimetil tereftalato y etilenglicol, quienes describen que la forma más sencilla para la obtención del PET, es la primera opción mencionada, formando bis (2-hidroxietil) tereftalato "monómero" mismo que se somete a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga.

El segundo método tiene lugar por la separación del agua como subproducto, la fase de policondensación que se realiza en condiciones de alto vacío libera unas moléculas de etilenglicol, cada vez que la cadena se alarga por una unidad repetida, a medida que la cadena se alarga el acrecentamiento en el peso molecular se produce un aumento en la viscosidad, lo que produce una mayor resistencia química.

Cuando la longitud de la cadena requerida, el PET fundido tiende siempre a solidificarse, mediante la utilización de una extrusora con dado de orificios múltiples, que

da la forma y luego se procede a emplear el agua como refrigerante “La forma semisólida es cortada en un pelletizador y se obtiene el granulado”.

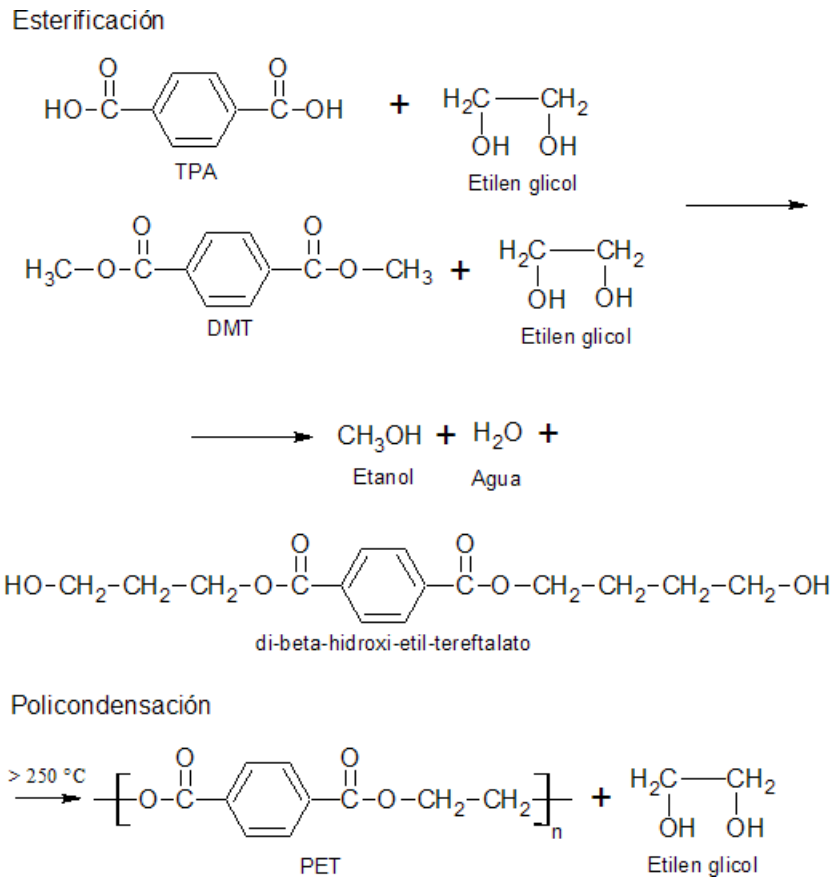


Figura 17: Proceso de producción del PET - Polimerización.
Fuente: (Proceso de producción del PET, 2005)

Se describe que para la fabricación de 1 kilogramo (Kg) de PET, es necesario 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. (Gonzales Barrera & Portela Triana, 2016, pág. 13).

El PET se clasifica en función de la viscosidad intrínseca, la cual es directamente proporcional a su peso molecular y de la modificación polimérica que reduce la velocidad de cristalización y el punto de fusión. Clarificándolo en; Resina sintética termoplástica o Polímero termoplástico semicristalino.

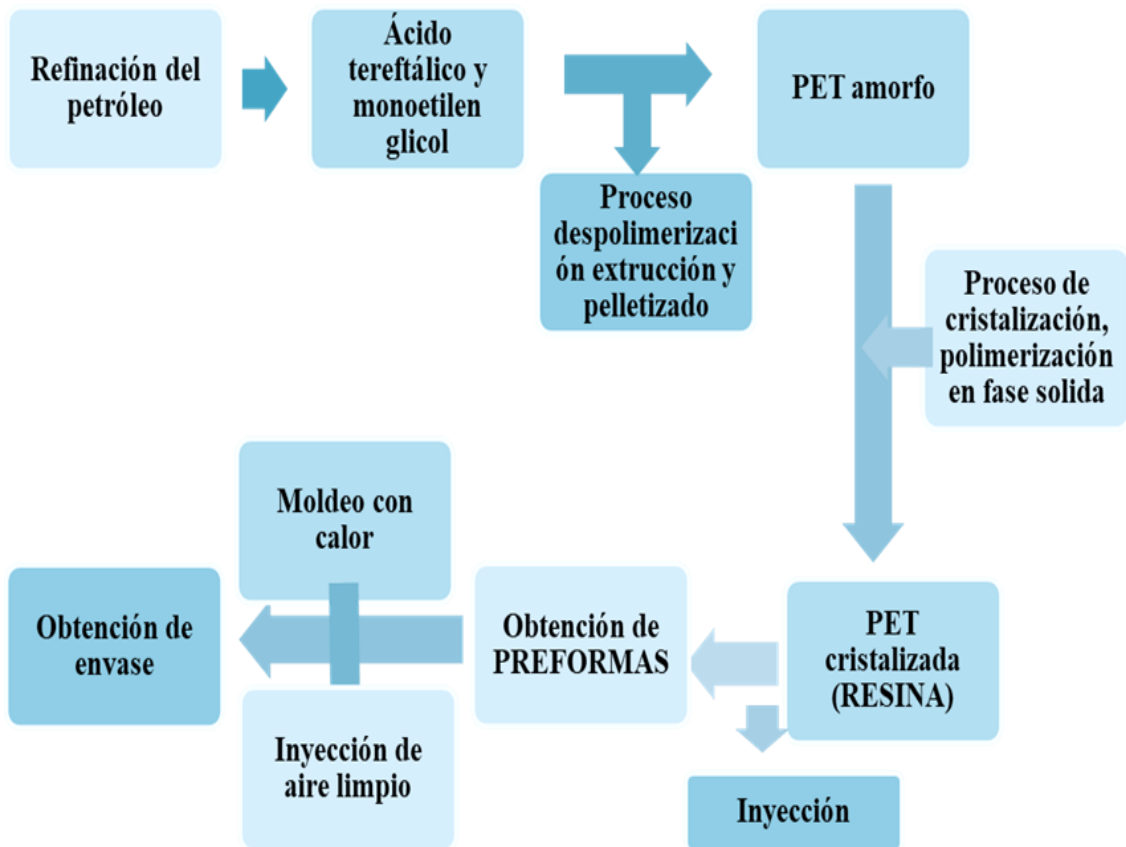


Figura 18: Diagrama de flujo de la producción de PET
Fuente: (Montoya, 2018)

Según lo expuesto por Reyes Montoya (2018) el PET es polímero plástico, el cual se encuentra dentro de la categoría de los termoplásticos, los cuales están compuestos por cadenas de polímeros lineales, mismos que tienden a fundirse o ablandarse a un determinado rango de temperatura. Los cuales pueden presentar una estructura totalmente desordenada en sus cadenas y ser denominadas como amorfos, o presentar áreas con determinada organización geométrica y ser catalogadas como semicristalinos.

Se define desde el punto de vista de la Química como un polímero producto de la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, mismo que corresponde al grupo de materiales sintéticos de los poliésteres, el cual es utilizado en gran escala en la producción de textiles plásticos para envases de bebidas.

2.2.3.4.9 Datos técnicos del PET

Tabla 3
Datos técnicos del PET Politereftalato de etileno

	Unidad	Valor
Densidad		1,34-1,39
Resistencia a la tensión	MPA	59-72
Resistencia a la compresión	MPA	76-128
Resistencia al impacto, izod	J/mm	0,01-0,04
Dureza	---	Rockwell M94-M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ /°C	15,2-24
Resistencia al calor	°C	80-120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780-15750
Constante dieléctrica (60Hz)	---	3,65
Absorción de agua	%	0,02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Efecto de luz sola	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	---	Excelente
Calidad óptica	---	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244-254

Fuente: Industria del Plástico. RPET. Richardson & Lokensgard

Para evadir el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, el PET debe ser enfriado de una manera eficaz en el menor tiempo posible, con el fin de conseguir una mayor transparencia, de realizarse de manera correcta los cristales no consiguen desarrollarse en su totalidad y su tamaño independiente con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, según la teoría cuántica

2.2.3.4.9.1 Estructura de la resina de PET.

El PET tiene tres estados estructurales respecto a la resina; cristalino, orientado y amorfo.

- **PET Cristalino:** Las moléculas dispuestas en un orden determinado parecido al arreglo que tiene el agua en un copo de nieve.
- **PET Orientado:** Posee un arreglo artificial en sus moléculas las cuales son enrolladas u orientadas en una dirección para aprovechar sus propiedades fibrosas,

es esta tipología la empleada para fabricar las botellas, destacando que la misma no se enrolla ni se teje, se estira axialmente y se sopla.

- **PET Amorfo:** Contiene moléculas dispuestas en forma aleatoria y desarreglada a nivel microscópico, es decir el plástico no está cristalizado ni orientado.

2.2.3.4.9.2 Propiedades de la resina de PET.

Las propiedades relativas de los tres estados son los siguientes:

Tabla 4

Propiedades de la resina de PET

Propiedad	Cristalino	Propiedad Cristalino	Orientado	Amorfo
Densidad		Alta (1,40gr/cm ³)	Moderada(1,37gr/cm ³)	Baja (1,33gr/cm ³)
Resistencia o tensión		Alta	Alta	Baja
Resistencia al impacto		Baja	Alta	Moderada
Plasticidad		Muy baja	Baja	Alta
Apariencia		Opaca	Clara	Clara
Volumen libre		Muy bajo	Baja	Alto
Permeabilidad a O ₂		Baja (3.40)	Baja (3.95)	Alta(8.47)
Permeabilidad a CO ₂		Baja(23.1)	Baja (26.7)	Alta(56.0)
Permeabilidad a H ₂ O		Baja (1.39)	Baja (1.83)	Alta(4.60)

Fuente: (Montoya, Tesina de Investigación, 2018)

2.2.3.4.10 Clasificación de los envases PET

2.2.3.4.10.1 No Reciclables

Destaca (Caballero Meza, 2016, pág. 34) que no es posible reciclar los envases que han sido elaborados con pigmentación de tonalidades fuertes o aquellos transparentes independientemente de la forma o tamaño y que su contenido durante el lapso desde la fabricación hasta la disposición final previa al reciclaje sea de cualquier tipo de combustibles; como diésel, gasolina, aceites, grasas, sustancias tóxicas o venenosas o sustancias agroquímicas.

2.2.3.4.10.2 Reciclables

Define (Reyes Montoya, 2018) al reciclaje de PET como la transformación de materiales usados, sin el cual son considerados como desechos, indica el inicio del proceso con la recopilación de botellas que se han descartado, envases y que cumplen con las condiciones óptimas para ser reutilizadas, seguido de ser transportadas o puesto de

acopio y almacenamiento, seguido de una serie de pasos generadores beneficios sociales, financieros y ambientales.

Destaca (Caballero Meza, 2016, pág. 33) para reciclar de manera correcta un envase o botella de PET, de inicia con reconocer su tipificación internacional, considerando el triángulo, el número 1 y la sigla PET citando que; *“son reciclables los envases que cumplan con las características de ser transparentes independientemente de la forma o tamaño que posean, y que su contenido durante el lapso desde la fabricación hasta la disposición final previa al reciclaje sea de: agua, agua mineral, gaseosas, jugos naturales o artificiales, licores, yogur, leche, vinagre, o jabón líquido”*

2.2.3.4.10.2.1 Métodos de reciclajes

Las técnicas de reciclaje de materia prima post consumo de plásticos son fundamentalmente tres: reciclado mecánico, reciclado químico y aprovechamiento energético” resultante de los métodos de reciclaje descritos se produce; “reciclaje primario, secundario, terciario y cuaternario

2.2.3.4.10.2.2 Reciclaje mecánico

Consiste en la molienda, separación y lavado de los envases donde las denominadas escamas producto de este proceso se destinan de forma directa, sin necesidad de requerir hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión.

El reciclado mecánico se subdivide en:

- Proceso de reciclados primarios.
- Procesos de reciclado secundario.

2.2.3.4.10.2.3 Reciclado químico

En este proceso, conducen a productos como monómeros, gas de síntesis y corrientes hidrocarbonados, utilizando procesos de polimerización, gasificación y otros tradicionales del refino, como térmico o catalítico.

2.2.3.4.10.2.4 Reciclaje con recuperación de energía o aprovechamiento energético.

Considerado como una alternativa de aprovechamiento energético tal cual se aplica en varios países extranjeros, debido a la composición química del PET, compuesto

únicamente por átomos de carbono e hidrogeno, por lo cual al ser quemado produce dióxido de carbono y agua con desprendimiento de energía.






2.2.3.4.10.3 Reciclaje primario.

El reciclaje primario radica en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas semejantes a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET, HDPE (polietileno de alta densidad), LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polietileno), (poliestireno) y PVC (cloruro de polivinilo). Las propiedades de los termoplásticos son idóneas debido a que pueden fundirse a bajas temperaturas sin sufrir cambios en su estructura.



2.2.3.4.10.3.1 Proceso de reciclaje primario

El proceso de reciclaje primario se basa en la separación, limpieza, paletizado, moldeado por inyección, moldeado por compresión y termo formación.

Tabla 5
Internacional de codificación para el reciclaje de polímeros

<i>Código</i>	<i>Significado</i>	<i>Aspecto</i>	<i>En qué productos se encuentra este plástico</i>	<i>Reciclable</i>
 PET	Polietilentereftalato (PET): botellas de gaseosas.	Plástico completamente transparente, sin color o verde.	Botellas de aguas minerales, de gaseosa, botellas de refrescos	Reciclable
 HDPE	Polietileno de alta densidad (HDPE): botellas de plástico más rígidas.	Plástico opaco, blando que se puede comprimir con la mano.	Botellas, baldes, tinas, fundas de suero, recipientes de alimento envases de yogurt.	Reciclable
 PVC	Policloruro de vinilo (PVC): tuberías.	Variable	Recipientes domésticos, envoltorios de carne, carpetas de oficina., mangueras, aislamiento de cables eléctricos	Muy poco reciclable
 LDPE	Polietileno de baja densidad (LDPE): bolsas plásticas.	Variable	Botellas, baldes, tinas, fundas de suero, recipientes de alimento envases de yogurt.	Ocasionalmente reciclable
 PP	Polipropileno (PP): plásticos resistentes al calor.	Plástico duro, no se puede comprimir con la mano,	Botellas, baldes, tinas, recipientes, envases de yogurt, grandes, recipientes de alimentos, platos	Ocasionalmente reciclable

desechables.

	Poliestireno (PS): materiales aislantes como el Tecnoport.	Espuma blanca coagulada gruesa o fina	Materiales de embalaje que sirven para amortiguar golpes platos Desechables, cajas de huevos.	Ocasionalmente reciclable
	Otros polímeros domésticos (como los discos, gafas de sol, etc) se agrupan bajo el nombre de “otros” y el número 7.	Variable	Otros plásticos, incluido acrílico, acrilonitrilo butadieno estireno, fibra de vidrio, nylon, policarbonato y	Muy poco reciclable

Fuente: (Proceso de producción del PET, 2005)

2.2.3.4.10.3.1.1 Separación

Los métodos de separación se realizan sobre el producto completo realizando la clasificación dependiente del color o la forma, la separación manual se incluye dentro de esta categoría, esta clasificación se ve complementada por un código de números. La micro separación puede hacerse por una propiedad física específica como el tamaño, peso, densidad entre otros.

2.2.3.4.10.3.1.2 Limpieza

Por lo general al reciclar plásticos suelen estar contaminados con bebidas, comida, papel, piedras, polvo, pegamentos, posterior se procede a ser limpiados al granularseles y luego lavar este granulo en un lavado de desinfectante, existe también la metódica de ser limpiado al granular los plásticos reiteradamente, e irlos separando sobre pantallas móviles. Los contaminantes encontrados durante este proceso caen al fondo y se descargan, después del proceso de limpieza.

2.2.3.4.10.3.1.3 Peletizado

Teniendo en consideración a lo expresado por (Montoya, Tesina de Investigación, 2018) *“El granulado limpio puede convertirse en pellet”*. El granulado debe fundirse y pasarse a través de un tubo para tomar la forma de un espagueti, se enfría en un lavado de agua y es cortado en pedacitos de pellet.

2.2.3.4.10.4 Reciclaje secundario.

Este proceso convierte el plástico en elementos con propiedades que son inferiores a las del polímero original, como en los termoestables y plásticos contaminados. El proceso mezclado de plásticos es específico, de este método obviando así la necesidad de separar y limpiar los plásticos.

La mezcla de plásticos incluye por lo general etiquetas de papel, polvo, entre otros, los cuales se muelen y posteriormente se funden juntos dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un conducto con una gran hendidura hacia un lavado de agua, y luego son cortados longitudes o dimensiones requeridas dependiendo de las especificaciones del fabricante.

2.2.3.4.10.5 Reciclaje terciario.

Este proceso degrada al polímero a compuestos químicos básicos y combustibles, sufriendo un cambio molecular además del cambio físico debido a que las largas cadenas del polímero se rompen en pequeños hidrocarburos denominados monómeros o monóxido de carbono e hidrogeno para hacer esto posible se basan en en reacciones de hidrólisis, alcoholisis, glicolisis, hidrogenación, pirolisis y gasificación.

2.2.3.4.10.6 Otros métodos de reciclaje.

Se destaca tres tipologías en cuanto a métodos alternativos de reciclado, entre los cuales menciona; orgánico, foto degradabilidad y biodegradabilidad, los cuales se caracterizan por la transformación de residuos plásticos por reciclaje orgánico como compostaje y biometanización.

La foto degradación de materiales plásticos se atribuye debido a la acción combinada de la luz, oxígeno atmosférico y calor, este fenómeno está presente cuando los polímeros están expuestos a la intemperie, mientras que a biodegradación consiste en la transformación y deterioro de los materiales plásticos por la acción de organismos vivos. Se puede considerar la foto degradación como un proceso previo a la biodegradación, en este se reduce el peso molecular de las cadenas macromoleculares que integran los polímeros, haciéndolos más fácilmente biodegradables.

2.2.3.4.11 Reciclaje del PET - Politereftalato de etileno

Los plásticos tienen un porcentaje relevante en los desechos, destacando a las botellas de PET como las que más prevalecen, así mismo desglosa como llegan para su

recuperación, como lo son; al granel, en pacas o fardos. Indicando su relevancia en la clasificación, manifestando que no se debe de contaminar con demás plásticos, tales como el PVC, debido a que prediría en parte su valor comercial llegando inclusive a ser inutilizable si se presenta un alto nivel de contaminación.

2.2.3.5 Selección del proceso de transformación – Extrusión.

En comparación con otros procesos, como la inyección, el método de extrusión requiere de infraestructura y equipo menos sofisticados, así mismo se destaca que el método de extruido no requiere de producción de glóbulos de PET (pelletización), es decir, las láminas obtenidas se pueden utilizar directamente en el proceso, en esta forma, se genera un ciclo de transformación más corto y de menor costo.

Tabla 6
Ventajas y Desventajas del proceso de Extrusión

Ventajas	Desventajas:
1. Presenta menor problemática en el manejo de materiales reciclados 2. No se limita por altura de un molde 3. El mantenimiento del equipo es menor 4. Las boquillas para el extrusor sufren menos 5. Obstrucciones que el de las inyectoras	1. No se recomienda para la manufactura de piezas detalladas 2. Puede retener material en el cañón, por exceso en la temperatura.

Fuente: (Montoya, 2018, pág. 2)

Se destaca el impacto ambiental que este método genera, el proceso de extrusión del PET, tiene ventajas ambientales que contrastan respecto a otros procesos como la pelletización, es así que los residuos que se generan durante la extrusión, son de un aproximado de 0.5% del material degradado, y otro 0.5% que se lo atribuye al corte del perfil, disminuyendo así la producción de residuos, haciendo del proceso un método eficiente y óptimo.

2.2.3.6 Proceso de extrusión.

Según lo expuesto por (Moya Verdú, 2016) quien destaca que; “*un 60 % de los plásticos se procesan por extrusión*”. El procedimiento de extrusión es la acción de forzar, a través de presión a pasar de forma continua un plástico o material fundido a través de una matriz o boquilla. A su salida el material conformado es recogido por un sistema de arrastre, con velocidad regulable, que le proporciona las dimensiones finales mientras se enfría y adquiere la necesaria consistencia.

La extrusión es un proceso para la producción de forma continua de productos de sección transversal constante, entre los principales productos típicos que se producen son: Tubos (los cuales están en un rango de 1 – 1500 mm de diámetro), así mismo como film, láminas, planchas, fibras, cintas, barras, varillas, perfiles. Los componentes esenciales de una línea de extrusión son:

- Extrusor
- Matriz o boquilla
- Conjunto de equipos que maneja el material extruido para asegurar que enfría adecuadamente y con la forma deseada.

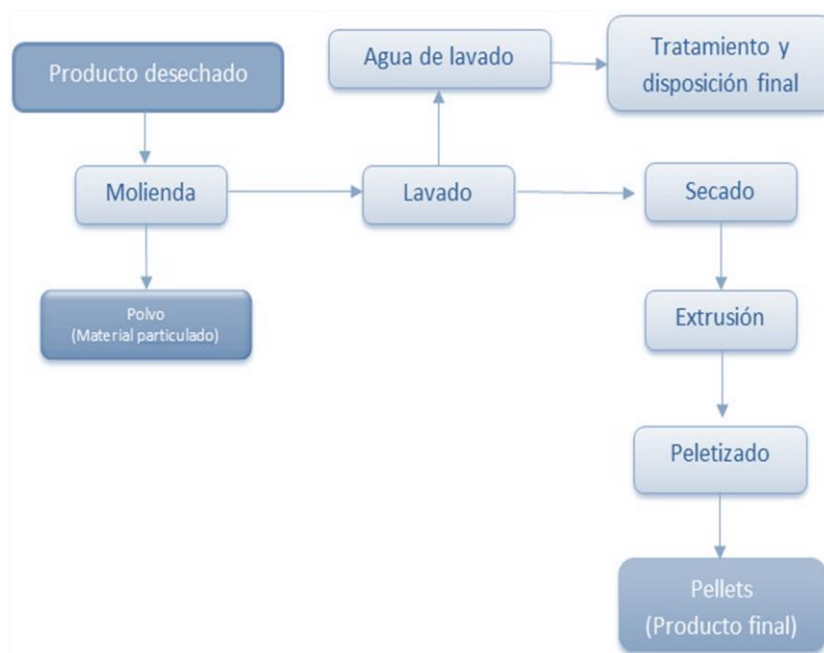


Figura 19: Esquema Procesos de Extrusión

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

El proceso de extrusión, hace referencia a una operación en la que el material una vez fundido es forzado a atravesar por una boquilla para producir un producto de sección constante y de longitud indefinida. Desde la perspectiva del procesamiento de plástico, el proceso de extrusión es uno de los más importantes para la transformación de los mismos.

Su funcionamiento inicia con la materia prima, por lo general se encuentra en gránulos, que han sido triturados con anterioridad, para que luego atraviesen el área del embudo, también denominada tolva, a cuál es la encargada de abastecer al cilindro el cual se encuentra a una temperatura alta, es la sección del husillo, el cual estimula el

material por un cilindro aplicando presión y aumentando la temperatura para permitiendo así el fundido y para posteriormente darle la forma denominado modelado.

El proceso fundamental se basa en que la materia prima que debe ser calentada y comprimida hasta que se convierta en una masa viscosa, hasta llegar a la boquilla donde está establecida la forma de la sección a extruir la cual se debe de realizar de una manera metódica en forma uniforme y manteniendo una presión constante.

2.2.3.7 Tipos de extrusoras

Una extrusora la máquina que se encargada de extruir, es decir moldear un material en este caso los polímeros como el PET mediante la acción del prensar, fusionar, y moldear, aplicando presión y empujé, la forma y el acabado final depende del diseño y construcción que se empleé en su fabricación, permitiendo obtener una forma continua, obteniendo así un máximo aprovechamiento del reciclaje, energía y materia prima.

2.2.3.7.1 Extrusoras de desplazamiento positivo

Las extrusoras de desplazamiento positivo son utilizadas cuando se realiza una extrusión directa o conocida como en avance, donde se procede a vaciar el material en un depósito, contenedor o cámara, seguido es impulsado por una abertura matriz a través un pistón mecánico o ariete de prensa.

2.2.3.7.2 Extrusoras de pistón

Por lo general están conformadas por un cilindro que tiene elementos que generan calefacción, el proceso inicia cuando la materia prima desciende desde la sección de la tolva que se encuentra internamente en un del cilindro donde posteriormente el material es plastificado empujándolo con un pistón para continuar su recorrido a través de una boquilla.

La máquina extrusora conformada por el husillo único, cumple con las siguientes funciones principalmente:

- Transporte del material sólido hacia la zona de fusión.
- Fusión o plastificación del material.
- Transporte de presurización del material fundido.
- Mezclado.

- Desgasificación.
- Conformado.

2.2.3.7.3 Extrusora de Peletizadora

Por lo general se compone de dos sistemas unificados; una parte una extrusora y una parte cortadora giratoria, donde ambos trabajan de forma conjunta y mediante ellas se obtienen los pellets.

En esta tipología de extrusora se debe aplicar presión al material derretido, para lograr que atraviese de forma uniforme y firme la matriz. Según los requisitos antes mencionados, las máquinas extrusoras se clasifican en:

- Extrusora de desplazamiento positivo
- Extrusoras de fricción.

2.2.3.7.4 Extrusoras de desplazamiento Positivo

Este tipo de extrusora obtiene la acción de transporte mediante el desplazamiento de un elemento de la máquina, en este proceso la reología del material es quien influye y destaca sobre el proceso de extrusión.

2.2.3.7.5 Extrusora de pistón (Inyectora)

Por lo general, en este tipo de maquinaria un pistón el cual se inicia su funcionamiento dos tipos de medios; ser hidráulico o mecánico, mediante el cual el material se ve forzado a pasar por una matriz.

2.2.3.7.6 Extrusoras de fricción

Se presenta en este tipo de máquina una transformación de energía mecánica a energía calórica, la cual sucede mediante la fusión del material, mediante el aprovechamiento de las particularidades físicas del material y la fricción presente en las partes de la máquina, tomando en consideración que propiedades del material son relevantes en cada etapa del proceso.

2.2.3.7.7 Extrusoras multitornillo

Cotidianamente están conformadas por más de un tornillo, siendo el segundo ejemplar el más común en el mercado, las mismas que pueden presentar unas variantes.

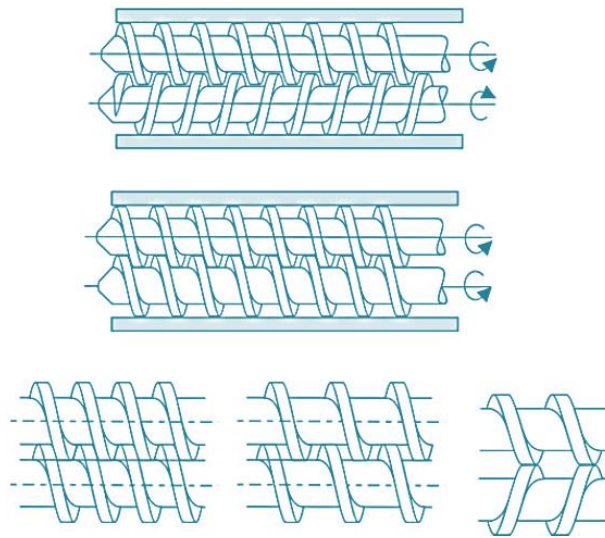


Figura 20: Disposición posible de los husillos en las extrusoras de doble husillo; giro contrario y giro en paralelo; diferentes grados de interpretación de los tornillos

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

Poseen ventajas relevantes destacando; Buena capacidad de mezclado y desgasificación, Buen control del tiempo de residencia y de su distribución. Algunas desventajas de estas extrusoras se basan en los altos costos que demanda su construcción, las cuales por lo general son superior a las del tornillo único debido a que sus prestaciones son difíciles de predecir.

2.2.3.8 Componentes de una extrusora

La extrusora de husillo, también denominadas extrusoras continuas, se encuentran compuestas por uno o múltiples tornillos, según los requerimientos propios del proceso.

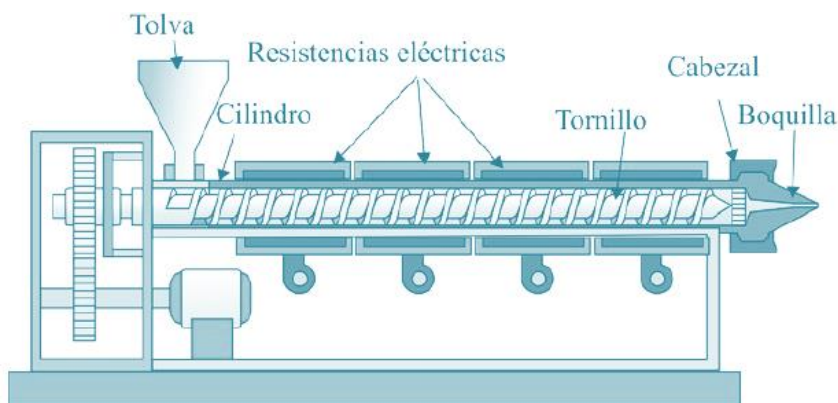


Figura 21: Representación esquemática de una extrusora de husillo

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.8.1 Tolva de alimentación

Este elemento que conforma las maquinas extrusoras cumple con la función de contenedor, el cual se emplea para introducir el material. En esta medida la tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas de manera correcta y su diseño debe cumplir con las características que proporcionen un flujo constante de material, siendo más optimas las de sección circular ya que ejercen una compresión gradual sobre el material

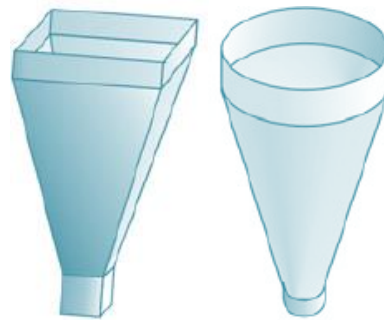


Figura 22: Tipos de tolvas

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.8.1.2 Tipos de tolvas

Por lo general el flujo en tolvas de máquinas extrusoras se presenta por gravedad en medida que las articulas se transportan a la parte inferior de la tolva siempre y cuando no exista estancamiento, siendo óptimo para el flujo en masa, teniendo en consideración que en materiales cuyo flujo no sea idóneo pueden quedar estancados en la garganta de entrada de la extrusora causando la problemática de formación de puente o arco.

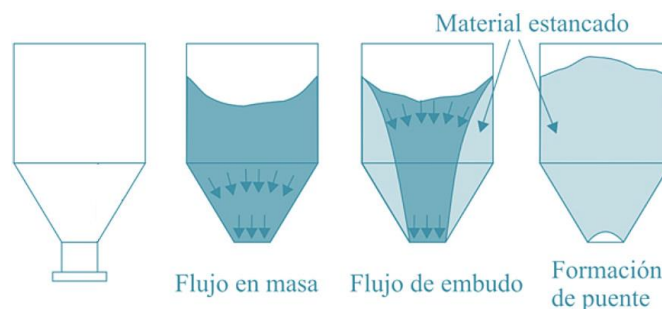


Figura 23: Flujo de material en una tolva de alimentación

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

Las características que influyen en la dosificación del material dentro de la tolva son: Coeficiente de fricción, Distribución del tamaño de partícula de la granza (DTP); Existen

cuatro formas básicas de sistemas de alimentación para extrusoras de tornillo único, las mismas son:

2.2.3.8.2 Flood feed

Es un sistema común utilizado en la alimentación del plástico, el material pre mezclado (*con masterbatch, tintes, protección UV, etc.*), se vierte en la tolva, alimentando el extrusor debido a la gravedad y el tornillo de alimentación. Cuando se presenta la inyección de tipo sánduche, la maquina extrusora por lo general cuenta con más de una tolva donde ira el material durante el proceso. Y donde velocidad de tornillo extrusor define la eficiencia de la máquina.

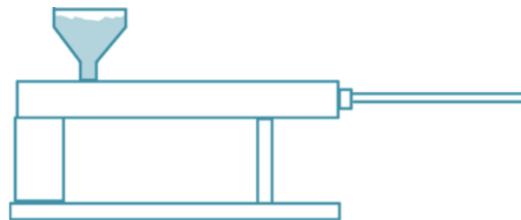


Figura 24: Sistema flood-feed

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.8.3 Starve feed

En este tipo de elementos se emplean tornillos gemelos, aunque en ciertas ocasiones son utilizados de tornillo simple. Su importancia se debe a que evita el proceso de pre mezcla de material debido a que cada alimentador dosifica la cantidad adecuada directamente sobre el tornillo extrusor, mismos que se durante el proceso se encargan de la mezcla.

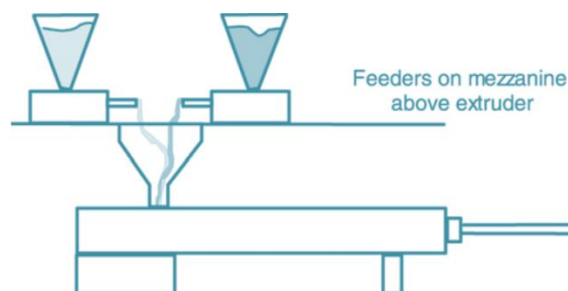


Figura 25: Sistema starve-feed

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.8.4 Crammer

Empleado de forma general para asegurar el flujo constante del material, utilizados en dispositivos de vibración, agitadores. Su importancia de uso es para la alimentación de plásticos de baja densidad y materiales rígidos de alimentar como lo son los polímeros de PET, PP, los cuales suelen obstruir la garganta de la extrusora, evitando que el flujo sea constante. La eficiencia se desarrolla utilizando el sistema Crammer, considerando que el flujo de alimentación debe ser igual o inferior al del tornillo de extrusión.

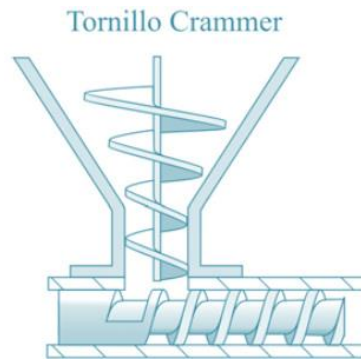


Figura 26: Sistema crammer

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.8.5 Melt feed

Es un sistema tipo bomba, el cual forma una mezcla de polímero a temperatura y presión uniforme, en este caso el material pre extruido debe ingresar a la extrusora para ser procesado de forma final, teniendo en consideración que una alimentación inapropiada puede ocasionar una disminución en la productividad de la línea, formadas por inestabilidades en el flujo. Por lo general el volumen de la tolva esta ajustado a la capacidad de producción de la extrusora.

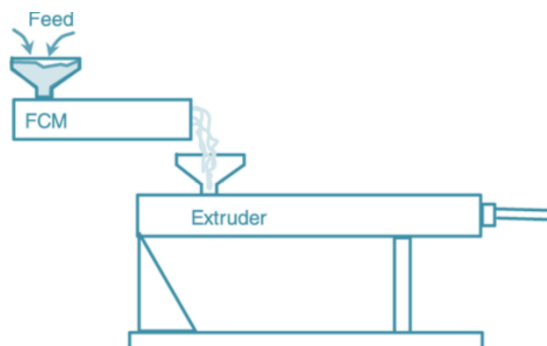


Figura 27: Sistema melt-feed

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.9 Garganta de Alimentación

Es un elemento de las maquinas extrusoras, el cual se encuentra dotada de un sistema de refrigeración con el fin de conservar la temperatura lo más baja posible, precautelando que el material no se adhiera en las paredes internas del cilindro. Donde la garganta de alimentación se encuentra entrelazada con la tolva a través de una entrada de alimentación. La longitud promedio es de 1.5 veces el diámetro del cilindro y un ancho de 0.7 veces del mismo, por lo general se encuentra desplazada con respecto al eje del tornillo para así garantizar la entrada del material.

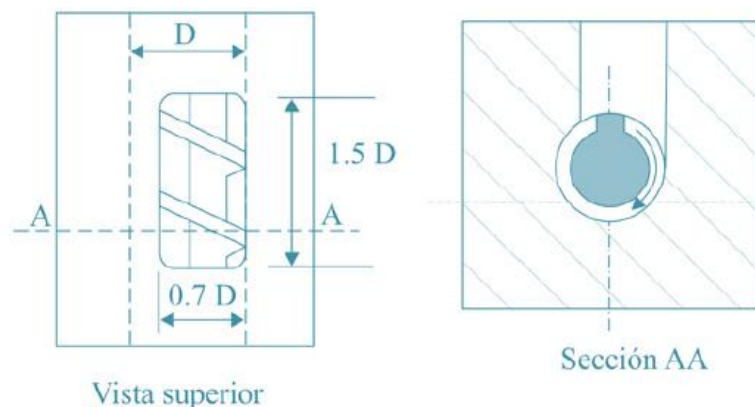


Figura 28: Garganta de alimentación

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.9 El Tornillo de extrusión

El tornillo o husillo está conformado por un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal. La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene en función del diseño del tornillo,

Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son; longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete (θ) y el paso de la rosca (w).

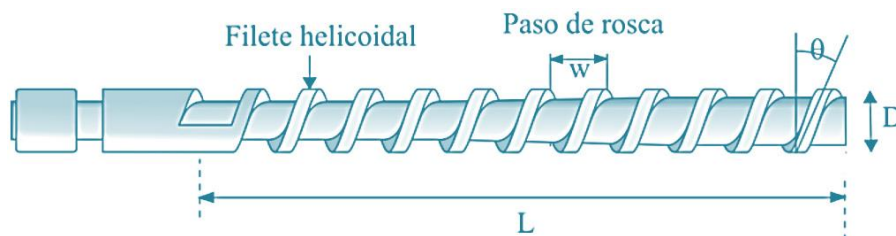


Figura 29: Garganta de alimentación

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

En cuanto se refiera de, transformación de plásticos se utilizan extrusoras cuyos husillos sean de una medida próxima de 9 a 580 mm y una relación; $L: D = (6 \div 40):1$, es más corriente sin embargo una relación $L: D = (20 \div 25):1$.

Los tornillos presentan una gran variedad de diseños, mismos que poseen características específicas en relación al material que se va a procesar o de otras condiciones como; tipo de operación es decir la preparación de materiales, mezclas, extrusión de perfiles. Se debe considerar en el diseño de un tornillo una serie de aspectos básicos:

- Zona de alimentación
- Zona de transición
- Zona de dosificación

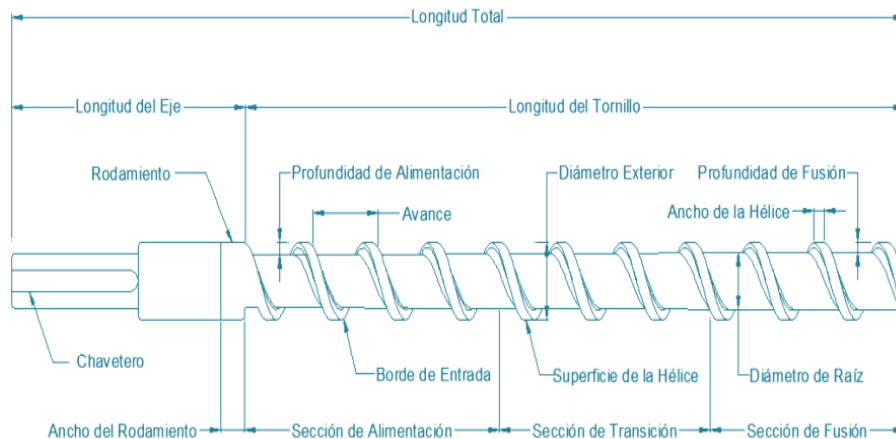


Figura 30: Partes básicas de un tornillo

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.10 Zona de alimentación

Su función principal es calentar del material hasta su temperatura de fusión y el envío o transporte a la siguiente sección, logrando maximizar la alimentación del material a la extrusora y con ello la productividad, el diseño de los husillos de extrusión muestra en la zona de transporte la mayor profundidad del canal.

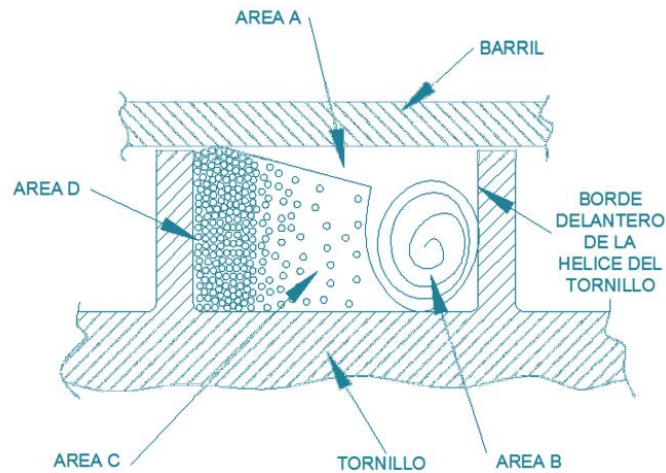


Figura 31: Esquema del proceso de fusión del plástico en el tornillo

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

En medida que el material avanza en la zona de alimentación, procede a ser compactado y calentado. Los mecanismos que se encargan del proceso de calentamiento son:

- La fricción del material con la superficie de la máquina.
- La conducción de calor desde las bandas de calentamiento del cilindro

Los factores más influyentes que afectan el transporte de los gránulos en la zona de alimentación son:

- a) Profundidad del canal.
- b) Grado de fricción entre gránulos-tornillo y entre gránulos-cilindro.
- c) Angulo de la hélice.

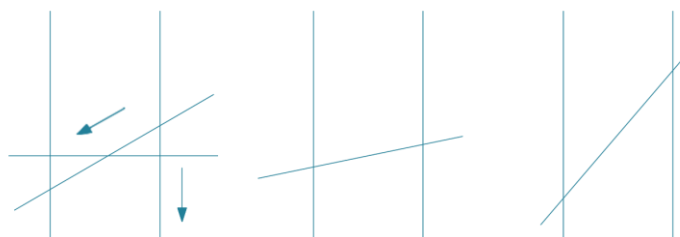


Figura 32: Angulo de hélice escarpado contra el de poca profundidad: el ángulo escarpado resiste al flujo inverso; el ángulo de poca profundidad proporciona una ruta menos tortuosa al flujo directo.

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.11 Zona de transición o compensación o zona de fusión

En esta fase o etapa se sirve del cambio de la sección del canal para provocar la compresión del material en proporción de 2 a 4 veces de acrecentamiento que la zona de alimentación, mientras impide que el material que no ha sido fundido continúe a la zona

de dosificación. En el proceso de fusión del material se origina un incremento de su densidad aparente, en el area de fusión el husillo muestra una gradual reducción del canal.

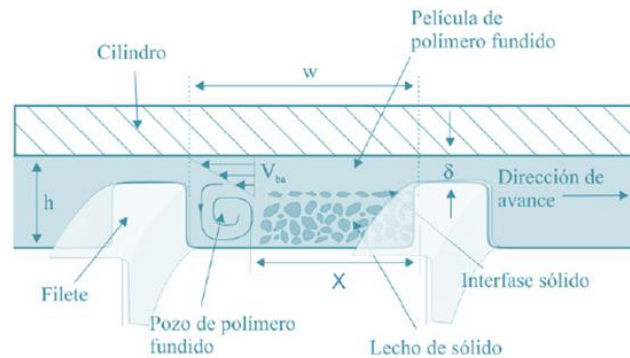


Figura 33: Corte transversal de la extrusora en la zona de transición.

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

La longitud de fusión que es la longitud de tornillo desde que comienza la fusión hasta que esta termina, tomando en consideración las características en la eficiencia de la fusión del material, en el área:

- Un canal que tiene mayor profundidad transporta más material, aumentando el tiempo en completar la fusión.
- Una operación rápida acrecienta la producción, pero, los sólidos persisten a lo largo del tornillo al terminar la operación.
- Un canal con menor profundidad puede ayudar a una operación rápida para acrecentar la producción debido a una fusión más efectiva, pero puede producir sobrecalentamiento.
- La mezcla mejora la fusión por la simple agitación del material.

2.2.3.12 La zona de dosificación

Por lo general se inicia en el punto en el que finaliza la fusión, descrito de otra forma es el punto en que todo el material se funde, o donde el aire se eliminaría con mucha dificultad y podría quedar atrapado en el material, la profundidad del canal es uniforme en esta zona. La zona de dosificado actúa como una bomba donde el movimiento del polímero fundido hacia la salida de la extrusora se produce como resultado del giro del tornillo y de la configuración helicoidal del mismo.



Figura 34: Tipos de tornillos plastificadores

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

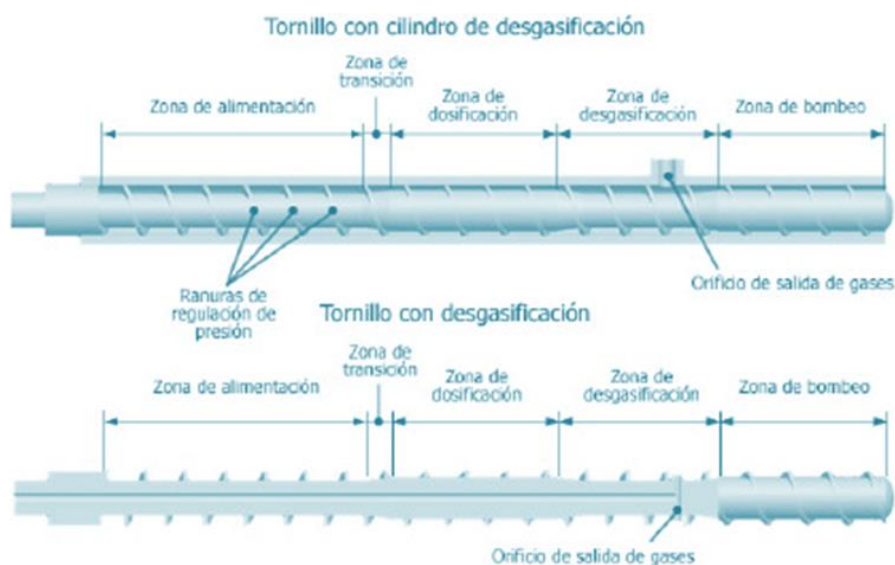


Figura 35: Sistemas de desgasificación

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.13 Mezcladores

Las secciones de mezclado deben cumplir los siguientes requisitos: Caída de Presión, Flujo aerodinámico, Barrido, Factibles, Taza de mecanizado, Deformación de Corte, División/reorientación.

2.2.3.13.1 Mezclador de aguja

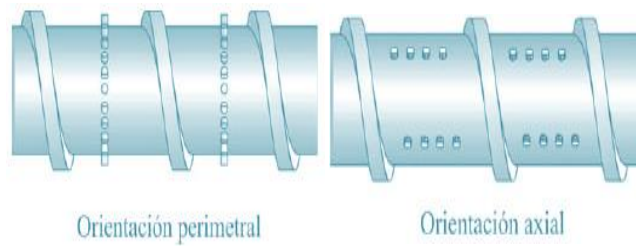


Figura 36: Mezcladores de tipo aguja con orientación de las agujas perimetral
Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.13.2 Mezclador de anillo



Figura 37: Mezclador de anillo
Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.13.3 Mezclador con filetes desiguales

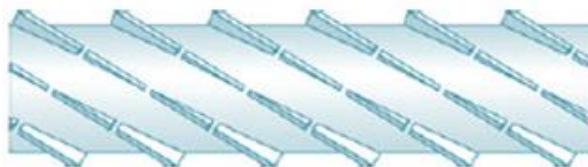


Figura 38: Zona de mezclado con filetes desiguales tipo “saxton”
Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.13.4 Mezcladores tipo Dulmage

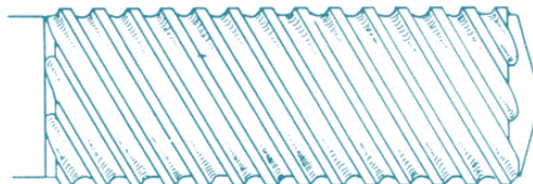


Figura 39: Mezclador tipo dulmage
Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.13.5 Mezclador tipo Maddock

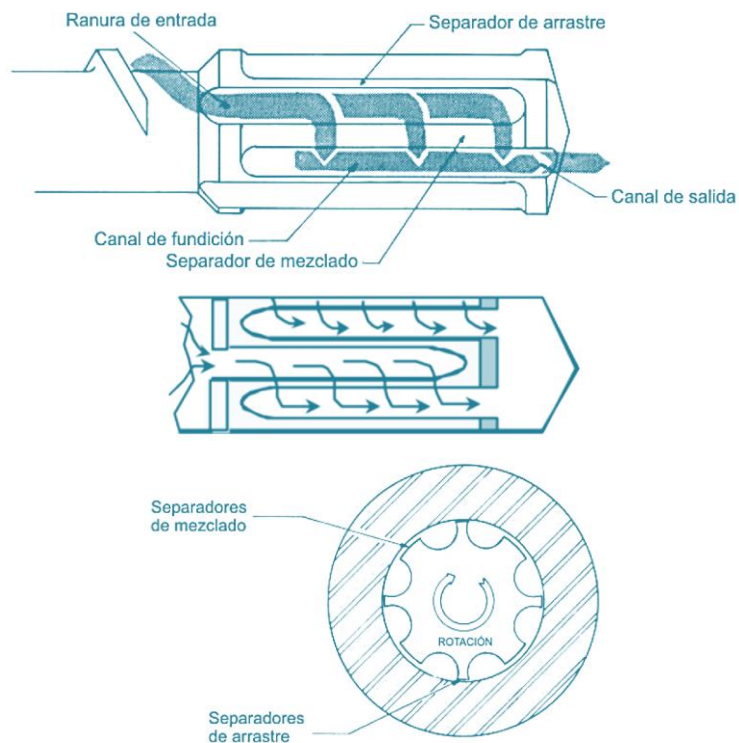


Figura 40: Mezclador tipo maddock

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.13.6 Mezclador tipo Pulsante

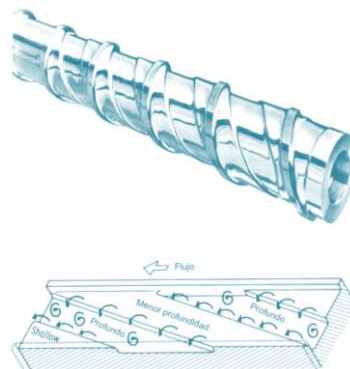


Figura 41: Mezclador tipo pulsante

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.14 Barril o Cilindro

La superficie del cilindro posee la característica de ser rugosa aumentando así las fuerzas de cizalla que soportara el material y admitir que este fluya en la extrusora. el cilindro se construye con materiales de alta resistencia, por lo general se emplea el acero, evitando así el desgaste mecánico, en ocasiones es trabajado de manera bimetálica para

asi aumentar la resistencia, la cual es mayor a la del tornillo, ya que este es mucho más fácil de reemplazar.

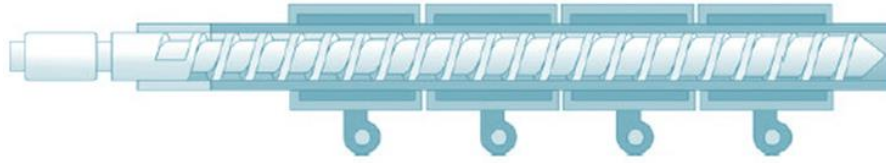


Figura 42: Sistema cilindro de calefacción – tornillo

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusion-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

En el diseño de los cilindros deben poseer: máxima durabilidad, alta transferencia de calor, mínimo cambio dimensional con la temperatura.

2.2.3.14.1 Sistema de calefacción y enfriamiento del cilindro

El cilindro de una extrusora posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento del cilindro se realiza por el empleo por resistencias eléctricas, otro método que emplea, aunque en menor medida es mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores. El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, con control independiente de cada una de ellas, lo que permite conseguir una gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla.

2.2.3.15 Motor

El motor de una extrusora es el componente responsable de proporcionar la energía necesaria para producir; la alimentación del material, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte, mezclado y bombeo a través del cabezal hacia la boquilla. Los motores son eléctricos, estos operan con voltajes de 220 y 440V. El movimiento como la potencia del motor se transporta al husillo por correas (bandas o fajas), o engranes las cuales transmiten el movimiento a un reductor.

2.2.3.16 Cabezal de extrusión

Los principales mecanismos de un cabezal para una maquina de extrusión son: plato rompedor y filtro, cabezal o boquilla.

2.2.3.16.1 Plato rompedor y filtro

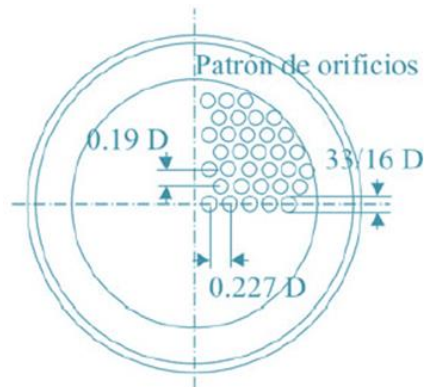


Figura 43: Plato rompedor

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

Constituye junto con el filtro el punto de transición entre la extrusora y el dado. Son los responsables de la calidad del material extruido. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo de forma en espiral que el husillo imparte, además asiste en aumentar la presión del material fundido.

2.2.3.16.2 Cabezal y Boquilla

El cabezal se encuentra ubicado al final del cilindro, sujetando la boquilla y es el encargado de mantener al plato rompedor. Este elemento va atornillado al cilindro. El perfil interno facilita el flujo del material hacia la boquilla, la sección transversal de los soportes del torpedo se diseña para proporcionar el flujo de material a velocidad constante.

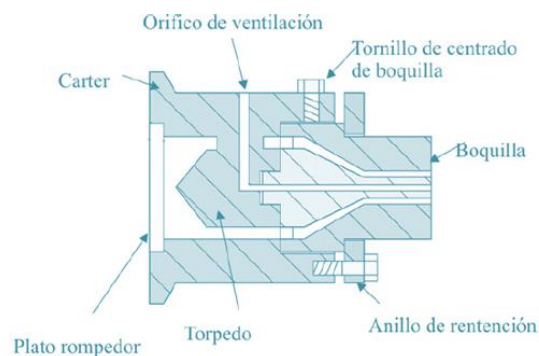


Figura 44: Cabezal

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

La función de la boquilla es de darle la forma final al plástico. Las boquillas se clasifican por la forma, por ejemplo, boquilla anular para la fabricación de tuberías o recubrimientos de material cilíndricos.



Figura 45: Boquilla anular

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

Se debe tomar en consideración las dimensiones de la boquilla no son exactamente las mismas que del producto producido, debido a; la recogida del material, el enfriamiento y el fenómeno de relajación contribuyen a que el material extruido cambie de tamaño e incluso de forma.

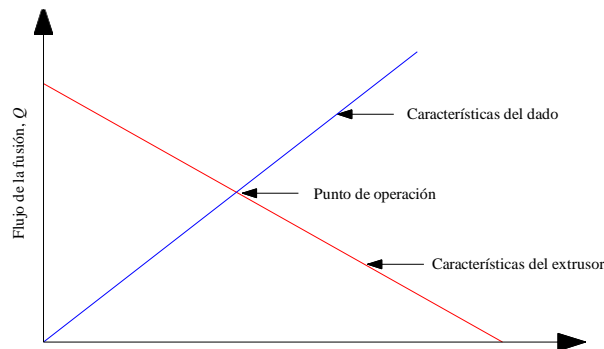


Figura 46: Características del extrusor y características del dado

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

“La relación entre Q y p se llama característica del dado. En la figura, ésta se dibuja como una línea recta, añadida a las características previas del extrusor. Los dos trazos se intersecan; los valores correspondientes de Q y p se conocen como punto de operación para el proceso de extrusión”

2.2.3.17 Peletizadora

Una vez que salen los hilos hacia el cortador (Peletizadora), los hilos que entran son mantenidos por guías laterales, al ingresar en la zona de alimentación, no pueden evadir el proceso de corte. El rodillo paralelo de alimentación superior y los rieles laterales de

maquinados con gran precisión, aseguran que los hilos que entren a la zona de corte, tengan las especificaciones requeridas.

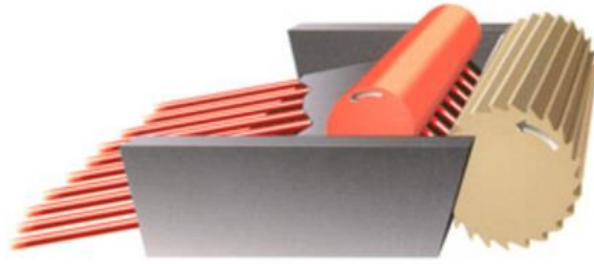


Figura 47: Peletizadora

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

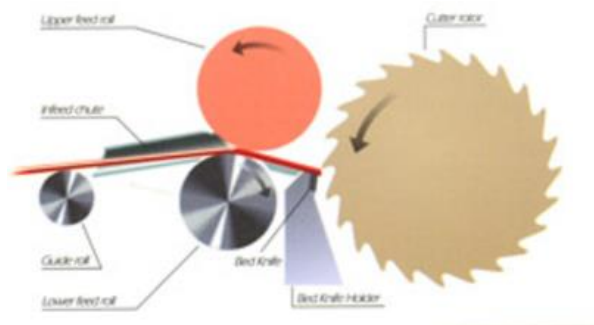


Figura 48: Sistema Pelitizador

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.18 Principio de funcionamiento

Para el funcionamiento de una extrusora le dividimos en funciones que realiza una extrusora: Transporte de sólido, fusión, transporte de fundido, mezclado, desgasificado, conformado.

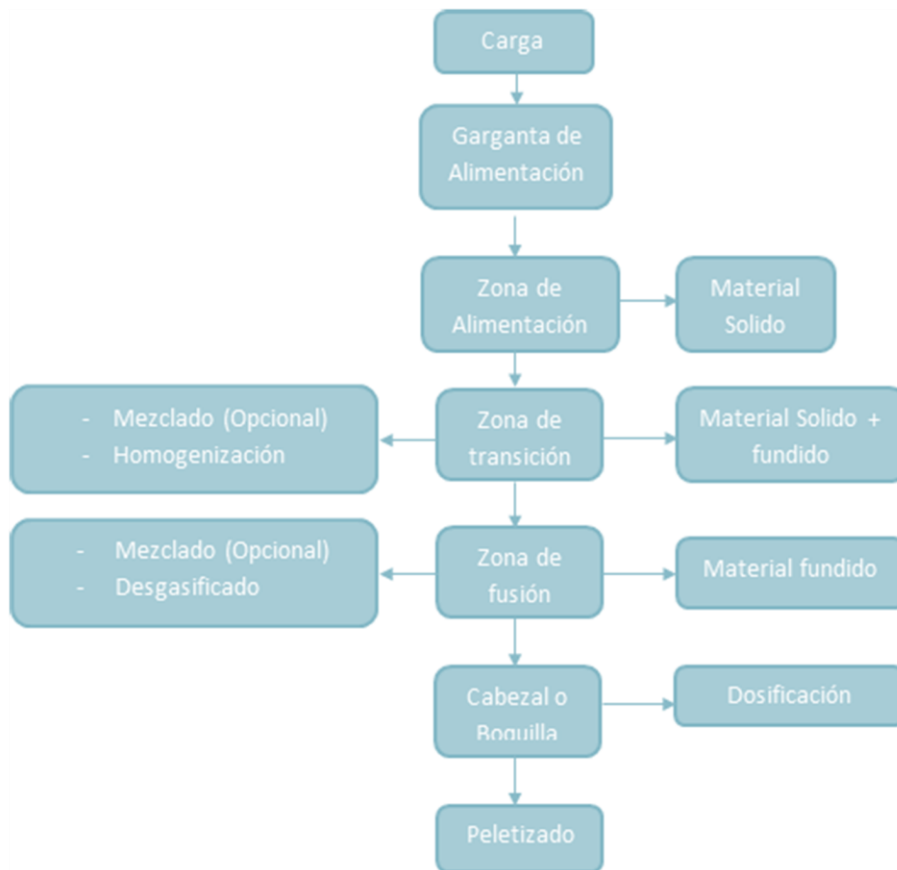


Figura 49: principio de funcionamiento de una extrusora

Fuente: (Moya Verdú, 2016) Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC

2.2.3.19 Comportamiento del fundido.

Es importante tener en cuenta para analizar el comportamiento del flujo del fundido, que la extrusora y la matriz operan como una unidad combinada. La interacción entre el tornillo y la matriz se representa generalmente por que muestra la dependencia de la salida de la presión de masa fundida entre el husillo y el cabezal.

El tornillo requiere que la viscosidad del material termoplástico no cambie ya sea en la zona de dosificación o en la matriz. Los cambios en la temperatura y la presión y otras influencias sobre la viscosidad tienen que ser evitados en lo posible. La caída de presión a través de una matriz varía directamente con la longitud de esta e inversamente con el cubo de la abertura del espacio.

El fundido también se ve afectado por la forma del orificio de salida. El efecto del orificio está relacionado con las condiciones del fundido y el diseño de la matriz extrusora, que, con una tasa de enfriamiento en productos de espesor, como el PET.

En cuanto a la variable varilla, para las bases teóricas resultó difícil el acceso a libros con menos de 5 años de publicación, que hagan referencia a los conceptos básicos de las varillas corrugadas, por lo que se tomó como referencia la información contenida en los siguientes artículos científicos, Pérez y Trujillo, (2016) “Diseño de una máquina para cortar y doblar estribos en serie para columnas de hormigón armado”. Ingenius. Revista de ciencia y tecnología, núm. 16, 2016; Arenas et al. (2019) “Optimización de la rugosidad y la dureza del acero 12L-14 empleando la metodología de superficie de respuesta”. Ingeniería Industrial, núm. 37, 2019.

2.2.4 Varilla

También conocida como acero de refuerzo o acero corrugado, es una barra común de acero al carbón laminado que comúnmente se utiliza como mecanismo de tensión en las estructuras de concreto reforzado y mampostería reforzada conservando el concreto en compresión.

Una varilla corrugada es una aleación de acero y otros componentes químicos que le otorgan características especiales, compuesta por corrugas necesarios para su unión con el hormigón, no poseen protección contra la oxidación y corrosión, gracias a que el concreto la reviste y protege otorgándole un largo tiempo de vida útil.

Poseen características especiales, como buena ductilidad, gran límite de fluencia y alto grado de resistencia sísmica.

El acero, compuesto básicamente por hierro y carbono, es de los materiales más utilizados para el diseño de herramientas industriales. El más usado en la industria automotriz es el acero 12L-14, empleado para la fabricación de piezas como tornillos, pernos y tuercas.

La elevada maquinabilidad de este material, que se debe gracias a su alto contenido en plomo y sulfuro de manganeso, los cuales se distribuyen de manera equitativa, confiere al material la característica de ser de fácil mecanizado.

2.2.4.1 Varilla con resaltes

Es una varilla de acero especialmente fabricada para utilizarse en hormigón armado, de núcleo central circular en cuya superficie existen salientes denominados resaltes.

2.2.4.2 Varilla Recta

Es una varilla de acero de sección circular, con resaltes transversales que asegura una alta adherencia con el concreto; laminadas en caliente y termotratadas que garantizan mayor flexibilidad y seguridad que el acero común. Puede ser soldable en caso de que la estructura así la requiera.

2.2.4.3 Dimensiones nominales

2.2.4.3.1 Perfil Redondo

La barra redonda es un producto laminado caliente, elaborado de acero al carbón calidad comercial.

2.2.4.4 Clasificación.

De acuerdo al proceso de fabricación, estas se pueden clasificar en:

- Varillas laminadas en caliente termo tratadas, y
- Varillas laminadas en caliente micro aleadas.

2.2.4.4.1 Varilla termo tratada.

Es la varilla que ha recibido un proceso de termo tratamiento

2.2.4.4.2 Varilla laminada en caliente micro aleada o de baja aleación.

Esta varilla alcanza las propiedades mecánicas requeridas en esta norma mediante su composición química en la cual existen elementos de aleación entre los cuales pueden estar cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, niobio, titanio y zirconio en pequeñas cantidades. Estas varillas son fabricadas mediante un proceso de laminación en caliente y un enfriamiento al aire no forzado.

2.2.4.5 Dimensiones

Las dimensiones y tamaños nominales en los que se fabrican las varillas según los números de designación detallados a continuación.

Tabla 7
Dimensiones de las varillas de acero

Diámetro nominal (mm)	Dimensiones de los resaltes (mm)				Masa (kg/m)	
	e Máximo (a)	H promedio mínimo (b)	A Máximo (c)	Nominal (d)	Máximo (e)	Mínimo (e)
8	5,60	0,32	3,10	0,395	0,418	0,371
10	7,00	0,40	3,90	0,617	0,654	0,580
12	8,40	0,48	4,70	0,888	0,941	0,835
14	9,80	0,67	5,50	1,208	1,281	1,136
16	11,20	0,72	6,20	1,578	1,673	1,484
18	12,60	0,88	7,00	1,998	2,117	1,878
20	14,00	1,01	7,80	2,466	2,614	2,318
22	15,40	1,11	8,60	2,984	3,163	2,805
25	17,50	1,26	9,60	3,653	4,085	3,622
28	19,60	1,39	11,00	4,834	5,124	4,544
32	22,40	1,64	12,00	6,313	6,692	5,935
36	25,20	1,84	14,00	7,990	8,470	7,511
40	28,00	1,96	15,70	9,865	10,456	9,273

a) Espaciamiento promedio de los resaltes transversales

b) Altura promedio mínima de los resaltes transversales

c) Ancho en la base de los resaltes longitudinales o ancho de la ranura

d) Valor calculado a partir del diámetro nominal, considerando una densidad del acero de 7 850 kg/m³

e) Límites en la masa por metro para cada una de las unidades de muestreo (= 6% según el numeral 5.1.3.1 literal b)

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2003

2.2.4.6 Longitud

Las longitudes normales de las varillas serán 6, 9 y 12 metros. Las varillas también podrán expendirse por acuerdo entre comprador y productor, en longitudes especiales.

- La tolerancia para las longitudes normales será de ± 50 mm.
- La tolerancia para las longitudes especiales será de ± 10 mm.

2.2.4.7 Propiedades mecánicas

Propiedades de tracción controladas, mediante el empleo de los límites de las propiedades mecánicas del material suministra las propiedades de fluencia/tracciones necesarias en las aplicaciones que exigen propiedades de tracción controladas.

La resistencia a la tracción real debe ser igual o mayor a 1,25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta.

Tabla 8
Resistencia a la tracción de las varillas

Límite de fluencia, mínimo, MPa (kgf/cm ²)	420 (4 200)
Límite de fluencia, máximo, MPa (kgf/cm ²)	540 (5 400)
Resistencia a la tracción, mínima, MPa (kgf/cm ²)	550 (5 500)
Alargamiento (%) mínimo con probeta Lo = 200 mm	
Diámetro nominal (mm)	%
8 - 20	14
22 - 36	12
40	10

NOTA: La resistencia a la tracción real debe ser igual o mayor a 1,25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta.

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2003

2.2.4.8 Masa

El valor nominal para la masa por metro de cada una de las varillas, los valores de la masa por metro, permitidos para varillas individuales, son los especificados en la tabla anterior, que corresponden a $\pm 6\%$.

2.2.4.9 Composición Química

Un análisis de cuchara de cada colada debe realizar el fabricante con muestras de ensayo tomadas preferiblemente durante el vertido de las coladas.

El contenido de carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio en el acero de que estarán constituidas las varillas, se determinará de acuerdo a las NTE INEN correspondientes o mediante análisis espectro métrico en equipo calibrado.

Tabla 9
Composición química

Elemento	Análisis de cuchara Máximo	Análisis de comprobación Máximo	Ensayo
Carbono	0,30%	0,33%	NTE INEN 120
Manganeso	1,50%	1,56%	NTE INEN 118
Fósforo	0,035%	0,043%	NTE INEN 107
Azufre	0,045%	0,053%	NTE INEN 108
Silicio	0,50%	0,55%	NTE INEN 119

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2003

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Conceptos Generales

Reología: es la ciencia de la deformación y el flujo de materiales. En realidad, todos los materiales hacen flujo, con el tiempo suficiente. Lo que hace que los materiales poliméricos sean interesantes en este contexto es el hecho de que sus constantes de tiempo para el flujo son del mismo orden de magnitud que sus tiempos para la extrusión, moldeo por inyección y moldeo por soplado de procesamiento.

Cohesión: resistencia de las moléculas a separarse. Depende de las fuerzas intermoleculares que las mantienen unidas.

Viscosidad: es la propiedad que determina que un fluido fluya, se define como la razón del esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla durante el flujo, donde el esfuerzo cortante es la fuerza por fricción que el fluido ejerce por unidad de área, y la velocidad de cizalla es el gradiente de velocidad perpendicular a la dirección del flujo.

Densidad: dependiendo del tipo de polímero que se desea emplear los gránulos de estos varían tanto en tamaño como en densidad como en su punto de fusión, teniendo también diferentes temperaturas de servicio, lo cual es importante a la hora de analizar su comportamiento durante su procesado.

Agrietamiento de la superficie: Este fenómeno se ve relegado mediante la aparición de grietas en la superficie del producto extruido, el cual es producido debido a la alta temperaturas de extrusión por encima de los grados óptimos para llevar a cabo este proceso, también se puede producir debido a la fricción o a una velocidad de extrusión acelerada, También puede darse a bajas temperaturas, si la pieza extruida se pega temporalmente a la matriz durante el proceso.

Conductividad térmica: funciona para dispersar el calor en los procesos de elaboración de productos, que algunas veces resulta beneficioso y otras no. En los procesos mecánicos en los que se utilizan golpes, calor y presión (forjado) y la remoción de excesos (maquinado el material), la mayor parte de la potencia que se necesita para operar el proceso, se transforma en calor.

Contaminación: presencia o acumulación de sustancias en el medio ambiente que afectan el medio ambiente y las condiciones de vida, así como la salud o la higiene de los seres vivos.

Desecho: representa todos los objetos, sustancias o materiales que quedan o se restan de algo que ha sido procesado, procesado o consumido y que no tiene uso, es decir, es inútil y, por lo tanto, debe eliminarse.

Ductilidad: capacidad de deformarse plásticamente frente a esfuerzos de tracción. es la capacidad de un material que es capaz de estirarse en hilos (cobre, oro)

Elasticidad: capacidad de recobrar la forma cuando cesa la causa que lo deforma.

Extrusión: es el proceso de conformación utilizado para fabricar elementos con una sección transversal definida y fija. Al material que ingresa, ordinariamente una preforma tubular, se le fuerza a pasar a través del conducto y a salir atravesando una perforación con una geometría determinada, y mediante la cual se obtiene la sección transversal deseada, en toda la longitud del producto extruido.

Experimento: en una investigación es un procedimiento hipotético-deductivo donde se manipulan, intencionalmente, variables independientes para observar sus efectos sobre variables dependientes en una situación controlada

Flexión: es el esfuerzo que resulta de aplicar fuerzas perpendiculares al eje mayor del elemento lo que tiende a doblarlo. La difracción crea una compresión en la parte cóncava del elemento y una tracción en la parte convexa opuesta.

Grados de temperatura: los termómetros son utilizados para medir la temperatura de acuerdo a escalas de medida bien definidas. Las tres escalas de temperatura más comunes son: Celsius, Fahrenheit y Kelvin. Una escala de temperatura puede ser creada identificando dos temperaturas fácilmente reproducibles.

Moldear plástico: en ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta, la pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

Molde: los moldes son contruidos de aceros especiales de alta resistencia para que resistan altas presiones de cierre y de inyección para producción limitada. Los aspectos de construcción son similares a los moldes de compresión y de transferencia.

Plasticidad: capacidad de adquirir deformaciones permanentes sin sufrir rotura.

Resaltes: Las características físicas de los resaltes existentes en las varillas.

Velocidad de extrusión: es un parámetro fundamental en el proceso de extrusión en caliente, su relevancia se debe a que una velocidad muy alta puede ocasionar un sobrecalentamiento de la palanquilla, roturas u otros defectos superficiales, mientras que una velocidad baja reduce la producción y aumenta la presión de extrusión requerida para el enfriamiento adecuado de la preforma.

Temperatura: es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

Propiedades o Cualidades Térmicas: las propiedades térmicas cumplen una función muy importante en la elaboración de un producto, debido a que durante su procesamiento es común que se genere calor excesivo. En algunos procesos, el calor es la fuerza que ejecuta el proceso; en otros, el calor se origina como consecuencia del tratamiento que sufre el material.

Perfil redondo: la barra redonda es un producto laminado caliente, elaborado de acero al carbón calidad comercial.

Plástico: se denominan plásticos a los materiales contruidos por una variedad de compuestos orgánicos, sintéticos o semisintéticos, que tienen la propiedad de ser maleables y por tanto pueden ser moldeados en objetos sólidos de diversas formas. Esta propiedad confiere a los plásticos una gran variedad de aplicaciones.¹ Su nombre deriva de plasticidad, una propiedad de los materiales, que se refiere a la capacidad de deformarse sin llegar a romperse.

Ranura: es el espacio existente a lo largo de toda la varilla con resaltes y que es limitado por los extremos de los resaltes transversales.

Resaltes: son protuberancias o salientes, transversales, longitudinales o inclinadas, que se presentan en la varilla con la finalidad de aumentar la adherencia e impedir el desplazamiento longitudinal de ésta en relación del hormigón que la cubre.

Resistencia mecánica del material: se evalúa mediante el límite de cedencia para metales y polímeros; mediante la resistencia a tracción para cerámicas sometidas a tracción; y mediante la tensión de fallo para materiales compuestos. Todos estos parámetros se utilizan para la selección de materiales y para el diseño y dimensionado de componentes y estructuras.

Rigidez intrínseca del material: Expresada por la medida del módulo de Young - E -. Este parámetro es, igualmente, parámetro de selección y de diseño.

Maquinabilidad: Facilidad que tiene un cuerpo al dejarse cortar por arranque de virutas

Acritud: aumento de la dureza, fragilidad y resistencia en algunos materiales por el frío.

Plasticidad: es la capacidad de conservar la nueva forma. Es lo opuesto a la elasticidad

Colabilidad: aptitud que posee un material fundido para llenar un molde.

Módulo de resiliencia: es definida como la máxima energía elástica acumulada por el material hasta alcanzar su límite de cedencia, se utiliza para selección de materiales y en diseño para la fabricación de muelles y resortes.

Ductilidad del material: considerada como alargamiento porcentual a fractura A% o como estricción Z%. Ambos parámetros solamente se utilizan para la selección de materiales.

Maleabilidad: capacidad de deformarse plásticamente. Aptitud que tiene un material para extenderse en laminas (aluminio, oro)

Tenacidad: capacidad de absorber energía frente a esfuerzos bruscos exteriores antes de romperse o deformarse. Debe ser elástico y plástico a la vez. Resistencia que opone un cuerpo a romperse.

Partida: es un conjunto de varillas del mismo grado o calidad de acero y diámetro nominal, que satisface totalmente un pedido.

Lote: es un conjunto de varillas del mismo grado o calidad de acero y diámetro nominal, procedente de una misma campaña de producción en serie.

Lote de muestreo: es un conjunto de varillas formado a partir de un lote o de una partida, con el fin de extraer las unidades de muestreo.

Unidad de muestreo: es una de las varillas extraída del lote de muestreo, la cual está destinada a la inspección y/o ensayo.

Probeta: es una porción de la unidad de muestreo, debidamente preparada para un ensayo mecánico.

Análisis de comprobación: es el representativo de la composición química del acero proveniente de productos semiterminados o terminados.

Análisis de cuchara: es el representativo de la composición química de la colada.

Colada: es el acero obtenido de una vaciada del horno de producción.

Termo tratamiento: es el proceso mediante el cual el acero de bajo contenido de carbono alcanza las propiedades mecánicas requeridas en esta norma, mediante un proceso de temple y revenido.

2.3. Marco Legal

Esta investigación está enmarcada en lo que establece la CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008, Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008. El cual, en su sección quinta sobre Educación, Art. 26 al 29, manifiesta el derecho de las personas a la educación, así como las responsabilidades que tienen frente a ella.

Además, la LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR, Ley 0 Registro Oficial Suplemento 298 de 12-oct.-2010, en su Art. 87. Referente a los Requisitos previos a la obtención del grado académico, menciona que los estudiantes deben aportar con servicios a la comunidad, por medio de proyectos de vinculación, pasantías o prácticas preprofesionales.

También cabe destacar, que el presente trabajo de investigación está sujeto al REGLAMENTO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, en su apartado VI, DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN, en sus Art. 383 al Art. 425 menciona los reglamentos que rigen los trabajos de titulación. En su Art. 404, menciona las características que debe poseer el trabajo de titulación de grado, como incluir una propuesta innovadora, con una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta. Recalcando la importancia de ser un trabajo que guarde relación con los aprendizajes adquiridos en la carrera.

2.3.1 Constitución de la República Del Ecuador.

La Constitución de la República Del Ecuador, con Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.

En la Sección segunda, Ambiente sano Se destacan los **Art. 14.;** **Art. 15.-** Donde se mencionan las garantías y derechos que el estado debe otorgar a las y los ecuatorianos, del *sumak kawsay*, decir vivir en un ambiente sano, así mismo se establece que se debe hacer uso tecnologías limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto que no generen afectaciones al medio ambiente.

En la Sección quinta en el ámbito de Educación se destacan los **Art. 26.-, Art. 27.-** donde se garantiza el acceso a la educación, el cual el estado debe proveer, siendo una política pública muy relevante, así mismo debe estar desarrollada en conjunto con una concientización hacia el medio ambiente sustentable y los demás, y debe garantizar las capacidades necesarias para crear y trabajar, estableciéndose como un eje estratégico para el desarrollo nacional.

En la Sección sexta de Hábitat y vivienda se mencionan los **Art. 30.- y Art. 31.-** destacando que los ecuatorianos y ecuatorianas tenemos derechos a vivir de una manera digna en viviendas adecuadas y en un ambiente sano.

En el Capítulo noveno de Responsabilidades se menciona el **Art. 83.-** donde se destaca que las y los ecuatorianos tenemos la responsabilidad de conservar nuestros, así mismo como *utilizar* los recursos naturales de modo racional garantizando su disposición para las actuales y futuras generaciones.

Se destaca la Sección sexta, Ahorro e inversión el **Art. 339.-** donde se establece que el estado promoverá la inversión teniendo como prioridad a la inversión nacional. Haciendo un enfoque en, innovación tecnológica.

En la Sección octava de Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales se destaca el Art. 385.- se menciona en el literal 1 que las y los ecuatoriano debemos Generar, y transmitir conocimientos científicos y tecnológicos...y en el literal 3 que; debemos desarrollar tecnologías e innovaciones para mejorar así la producción y crecimiento nacional.

2.3.1.1 Convenios y Tratados Internacionales

2.3.1.1.1 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

La Asamblea General (Organización de las Naciones Unidas, ONU ;, 2015) adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde los estados miembros de la Naciones Unidas a la cual Ecuador está suscrita, aprobaron la resolución para cumplir con los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) La Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación

La industrialización inclusiva y sostenible, en conjunto con la innovación y la infraestructura, son fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos. Las cuales presentan un rol fundamental a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos. Se busca en países estratégicos aumentar la inversión en investigación e innovación científicas.

Metas del objetivo 9. De la agenda 2030 se contemplan.

9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles.

9.5 Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países.

Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles

El mundo cada vez está más urbanizado. Desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, y se espera que dicha cantidad aumente hasta el 60 % para 2030. (ONU, 2015)

11.1 De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales

11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países

11.4 Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo

Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

El consumo y la producción mundiales dependen del uso del medio ambiente natural y de los recursos de una manera que continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta. El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro (y ciertamente, nuestra supervivencia). (Organización de las Naciones Unidas, ONU ;, 2015)

12.1 Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados.

12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales...

Este proyecto se sustenta en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) NTE INEN 1 855-2:2002 la cual establece las especificaciones para la producción de varillas de acero corrugadas y lisas de baja aleación para refuerzo de hormigón.

2.3.2 Normas técnicas

NTE INEN 2167 (ecuatoriana): Varillas de acero corrugadas y lisas de baja aleación para refuerzo de hormigón.

ASTM A706 (Americana) Low-alloy steel deformed bars for concrete reinforcement.

2.3.2.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC

El 19 de agosto de 2014, el Sr. Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, el Econ. Diego Esteban Aulestia Valencia, suscribió el Acuerdo Ministerial 0028 por el cual se oficializan los primeros capítulos contemplados para la NEC, relacionados con la seguridad estructural de las Edificaciones.

NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)

Contempla los factores de cargas no sísmicas que deben considerarse para el cálculo estructural de las edificaciones: cargas permanentes, cargas variables, cargas accidentales y combinaciones de cargas.

2.3.2.2 Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-CG de las NECs

Las normas referentes de la NEC-SE-CG son:

- ASCE7-10: Minimum Design Loads for Buildings and other Structures (Standard ASCE/SEI7-10). Estas normas describen el análisis y diseño sísmico que deberán poseer las estructuras de un edificio, para que sea capaz de brindar resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía ante los movimientos del suelo, para ello debe incluir sistemas que proporcionen resistencia a la fuerza lateral y vertical.
- NSR-10: Título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Estas normas describen el diseño que debe seguir una edificación para ser capaz de resistir las fuerzas que le imponen su uso, temblores de poca a mediana intensidad sin daño en su estructura, y temblores fuertes con daños en la estructura sin colapso.

2.3.2.3 Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)

Seguridad estructural de las edificaciones:

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)
- NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente parte 1,2,3,4
- NEC-SE-RE: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras
- NEC-SE-GC: Geotécnia y Cimentaciones
- NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado
- NEC-SE-AC: Estructuras de Acero
- NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m 1,2,3,4

NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas: Diseño Sismo Resistente

Contiene los requerimientos técnicos y las metodologías que deben ser aplicadas para el diseño sismo resistente de las edificaciones, estableciéndose como un conjunto de especificaciones básicas y mínimas, adecuadas para el cálculo y el dimensionamiento de las estructuras que se encuentran sujetas a los efectos de sismos en algún momento de su vida útil.

NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones

Contempla criterios básicos a utilizarse en los estudios geotécnicos para edificaciones, basándose en la investigación del subsuelo, la geomorfología del sitio y las características estructurales de la edificación, proveyendo de recomendaciones geotécnicas de diseño para cimentaciones futuras, rehabilitación o reforzamiento de estructuras existentes.

NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado

Contempla el análisis y el dimensionamiento de los elementos estructurales de hormigón armado para edificaciones, en cumplimiento con las especificaciones técnicas de normativa nacional e internacional.

2.3.3 Métodos de ensayo

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167 correspondiente a **Varillas de acero con resaltes, laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado**, los ensayos a los cuales están sometidas incluyen los ensayos de Resistencia a la tracción y Resistencia a la flexión (doblado).

Ensayo de resistencia a la tracción

Los valores de resistencia a la tracción, límite de fluencia y alargamiento porcentual que deben cumplir las varillas de acuerdo a esta norma, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 10

Especificaciones mecánicas

Límite de fluencia, mínimo, MPa (kgf/cm ²)	420 (4 200)
Límite de fluencia, máximo, MPa (kgf/cm ²)	540 (5 400)
Resistencia a la tracción, mínimo, MPa (kgf/cm ²)	550 (5 500)
Alargamiento (%) mínimo con probeta Lo=	200mm
Diámetro nominal (mm) %	
8-20	14
22-36	12
40	10
NOTA: La resistencia a la tracción real debe ser igual o mayor a 1,25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta.	

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167 Varillas de acero con resaltes, laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado.

El punto de fluencia y resistencia se determinará por cualquiera de los métodos convencionales establecidos en la NTE INEN 109 Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente, que detalla lo siguiente:

Límite de fluencia y esfuerzo de prueba

- **Límite de fluencia superior (R_{eH}).** Dentro del campo elástico y hasta el límite de fluencia superior, la relación de separación de los cabezales de la máquina debe mantenerse constante hasta lo posible, dentro de los límites correspondientes a la relación de esfuerzos indicados en el siguiente cuadro.

Tabla 11

Relación de aplicación de esfuerzos

Módulo de elasticidad del material (E) MPa	Relación de aplicación de esfuerzos MPa/s	
	min	máx
< 150000	2	20
≥ 150000	6	60

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 109 Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente.

- **Límite de fluencia inferior (R_{eL}).** La relación de aplicación del esfuerzo durante la fluencia de la longitud paralela de la probeta de ensayo debe estar entre 0,00025/s y 0,0025/s. la relación de esfuerzos, hasta donde sea posible, debe mantenerse constante. En ningún caso, la relación de aplicación de esfuerzos en

el campo elástico debe exceder las relaciones de esfuerzos dadas en el cuadro anterior.

Ensayo de resistencia a la flexión (doblado)

Las varillas deben ser sometidas al ensayo de doblado a 180°, a temperatura ambiente. Las probetas, luego del ensayo, no deben presentar agrietamiento en el lado exterior del doblez. El diámetro de los mandriles para el ensayo de doblado se establece en la siguiente tabla.

Tabla 12
Doblado a 180°

Diámetro nominal (d)	Diámetro del mandril (D)
$d \leq 18$	3 d
$18 < d \leq 25$	4 d
$25 < d \leq 36$	6 d
3 d	8 d

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167 Varillas de acero con resaltes, laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotrataadas, para hormigón armado.

El ensayo de doblado debe hacerse con probetas de suficiente longitud y sobre el resalte longitudinal para asegurar un doblado libre y con equipo que proporcione aplicación continua y uniforme de la fuerza durante todo el ensayo. Las varillas de diámetro 36mm y mayores no están sujetas a los requisitos del ensayo de doblado.

La Norma Técnica Ecuatoriana **INEN-ISO 527-1 PLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN TRACCIÓN**, nos describe el objetivo del ensayo de tracción, el cual es determinar las principales propiedades mecánicas de materiales de moldeo.

Entre los valores característicos, tenemos:

- Tensión a tracción
- Deformación
- Módulo de tracción
- Punto de fluencia
- Punto de rotura
- Coeficiente de Poisson

La norma ISO 527-1/-2 la ASTM D 638 definen métodos para el ensayo de tracción.

El ensayo de tracción suministra una buena base para representar la variación de los valores mecánicos de un polímero según el envejecimiento, el envejecimiento por calor o medios o la exposición a la intemperie. Así, se determinan los valores característicos del ensayo de tracción en un estado reciente a la inyección.

Definición de la geometría y dimensiones de las probetas a ensayar según la norma ISO

Las probetas se fabrican habitualmente por inyección. Se pueden utilizar los siguientes tipos de probetas definidas por la norma ISO:

- Tipo IA, norma ISO 527-2: fabricada por inyección, grosor establecido de 4 mm. Longitud de medición 75 mm a 50 mm.
- Tipo 1B, norma ISO 3167: mecanizada por fresado a partir de placas fabricadas por compresión o inyección. Longitud de medida 50 mm, por su radio mayor y a su rango paralelo más corto.

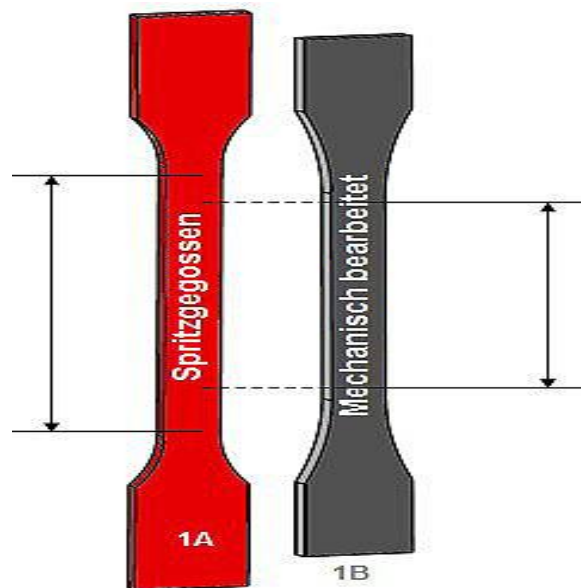


Figura 50: Formas de muestras para ensayos en materiales de moldeo.
Fuente: ZwickRoell Ecuador

Requisitos de acondicionamiento y condiciones ambientales definidos

Las condiciones ambientales en relación con la temperatura y la humedad del aire son importantes para la comparabilidad de los resultados del ensayo.

En el marco del ensayo de materiales de moldeo, deberán almacenarse las probetas al menos durante 16 horas en clima normalizado.

Si se realizan en clima normalizado, se envía a un clima establecido en las normas ISO 291 o ASTM D 1349, que son los siguientes:

Clima templado: 23 ± 2 °C, 50 ± 10 %r.F.

Clima subtropical: 27 ± 2 °C, 65 ± 10 %r.F.

A temperatura ambiente se muestra un rango de temperatura algo más amplio que puede ir de 18 °C a 28 °C.

Requisitos para la máquina de ensayos.

Las variables de medición más importantes de una máquina de ensayos son la fuerza y el alargamiento. Se ha probado que estas variables consiguen el nivel de precisión establecido en las normas de ensayo en unos rangos definidos.

Medición de fuerza (ISO 7500-1, ASTM E4)

Los estándares de ensayo demandan una precisión de 1% del valor medido. En el entorno ISO, esto se denomina "Clase 1". Actualmente, todas las máquinas de ensayo modernas alcanzan la clase 1 o incluso la clase 0,5, cuyas tolerancias se reducen a la mitad. Varias máquinas de ensayos de ZwickRoell alcanzan la clase 1 a partir de 1/1000 de su rango de medición.

Medición de la extensión (ISO 9513, ASTM E83)

Las especificaciones de clase para la medición de la extensión incluyen, un error (porcentual) relativo definido, una especificación para un error absoluto (producido durante la medición de variaciones de extensión más pequeñas). Por lo que, ISO y ASTM varían notablemente.

En la norma ISO las tolerancias hace referencia a la medición de la extensión, los requisitos en deformaciones de menor rango son notoriamente más restrictivos que en las clases correspondientes de ASTM.

La ASTM se refiere a deformación a la tensión.

Características en la medición de un módulo de tracción

Los requisitos de precisión del rango de medición del módulo de tracción en la clase 1 ISO se encuentran en $\pm 3 \mu\text{m}$, lo que significa que puede producirse una desviación de hasta $6 \mu\text{m}$ entre las mediciones en el inicio y rango final de medición, lo que provocaría un error de medición de las mismas dimensiones.

Como solución a este problema, se ha añadido un requisito adicional a la ISO 527-1 para la medición del módulo de tracción, que establece que la longitud de medición entre el inicio y el fin de la determinación del módulo deberá medirse con una precisión de 1%.

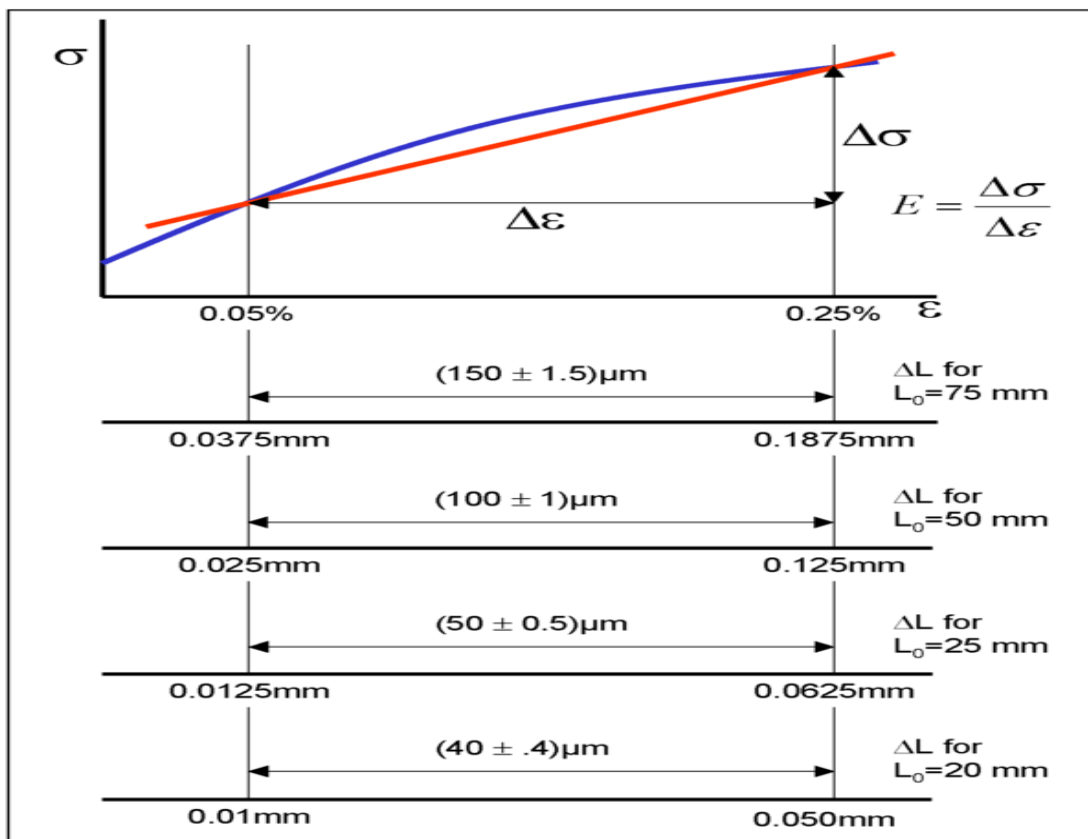


Figura 51: Medición del módulo de tracción

Fuente: ZwickRoell Ecuador

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.8 Metodología

La investigación se nutre del conocimiento a través de dos enfoques: el enfoque inductivo y el enfoque deductivo. En el artículo “El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales”, elaborado por Dávila Newman, Gladys (2006), se refieren al método deductivo como aquel que permite establecer un vínculo de unión entre la teoría y la observación, acumula conocimientos e informaciones aisladas, permitiendo deducir a partir de la teoría los fenómenos objeto de observación. En cuanto al método inductivo, establece sus conclusiones generales basándose en hechos recopilados mediante la observación directa. El método inductivo se conoce como experimental y sus pasos son: 1) Observación, 2) Formulación de hipótesis, 3) Verificación, 4) Tesis, 5) Ley y 6) Teoría.

3.9 Tipo de investigación

Hernández et al., en su libro “Metodología de la investigación”, describe los tipos de diseño en se encuentran en la investigación cuantitativa, como la investigación experimental e investigación no experimental.

La investigación experimental, es en la que realizamos una acción y después observamos las consecuencias, se refiere a la manipulación intencional de una acción para después analizar sus resultados.

En la investigación no experimental, no se manipula intencionalmente las variables independientes para observar su efecto sobre las otras variables. En esta investigación se observa los fenómenos tal cual se dan en su entorno natural, para posteriormente analizarlos.

Según lo antes descrito, podemos decir que el tipo de investigación del presente trabajo de titulación, es una Investigación Experimental con diseño de campo, debido a que este trabajo de tesis va a realizar pruebas con las varillas PET en ambiente controlado de laboratorio.

3.10 Enfoque

Tomando de referencia el libro “Metodología de la Investigación” de Hernández, Fernández y Baptista, el cual describe a la investigación como un grupo de procesos críticos, sistemáticos y empíricos que se utilizan en el estudio de un problema. Además, refiere que la metodología de la investigación, abarca el enfoque cuantitativo, cualitativo y el enfoque mixto.

En el texto se describe al enfoque cuantitativo como un conjunto de procesos secuenciales y probatorios. Cada etapa va una tras la otra, y no se puede evitar etapas. En este enfoque se establecerán hipótesis y determinarán variables, que luego se probarán, utilizando métodos estadísticos de los cuales se obtendrán las conclusiones.

Por lo que podemos acotar, que el presente trabajo de tesis tiene un enfoque positivista cuantitativo, se basa en medir el comportamiento mecánico de las varillas PET, como la resistencia a la tracción, y estos resultados están expresados en números.

3.11 Técnica e instrumentos

En el libro “Metodología de la Investigación” de Hernández, Fernández y Baptista, se describe que las técnicas de recolección de los datos pueden ser múltiples. Así tenemos, en la investigación cuantitativa: cuestionarios cerrados, registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones fisiológicas, aparatos de precisión, etc. En cambio en los estudios cualitativos, podemos utilizar entrevistas exhaustivas, pruebas proyectivas, cuestionarios abiertos, sesiones de grupos, biografías, revisión de archivos, observación, entre otros.

Las técnicas que se utilizaron en esta investigación de carácter cuantitativo fueron ensayos mecánicos para la resistencia a la tracción, flexión y ensayo de comportamiento térmico (ensayo experimental) de las varillas PET.

- Ensayo de resistencia a la tracción
- Ensayo de resistencia a la flexión
- Ensayo de experimental (Ensayo de comportamiento térmico)

En el mismo libro citado anteriormente, define a instrumento, como un recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables utilizadas en la investigación.

Los instrumentos utilizados en este trabajo fueron:

- Laboratorio de pruebas mecánicas
- Máquina extrusora de plástico
- Laptop
- Pistola Paramétrica
- Balanza

3.5 Población

La población o universo, se refiere al conjunto de todos los casos que tienen determinadas características que serán estudiados y sobre la que se pretende trascender los resultados (Hernández et al., Metodología de la Investigación, 6ta edición, 2014).

El universo de esta investigación está conformado por varillas de diámetro en pulgadas de $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{4}$, 1.

3.6 Muestra

La muestra es, un subconjunto de la población, se refiere a un grupo de elementos con características definidas que forman parte del universo (Hernández et al., Metodología de la Investigación, 6ta edición, 2014).

Las muestras, se las puede categorizar en dos grupos: muestra probabilística, que son aquellas en las que todos los elementos de la población poseen igual posibilidad de ser seleccionados para la muestra y se seleccionan de manera aleatoria. Y muestra no probabilística, que es aquellas en la que la selección de los elementos no se da de forma aleatoria, sino que están relacionadas con las características o propósitos de la investigación.

La muestra de este estudio es una muestra de tipo no probabilística, porque se seleccionó por las características de la investigación y criterio de los investigadores, tomando como referencia para la muestra el diámetro de varilla más utilizada y comercial. Así, tenemos que la muestra corresponderá a 10 especímenes de probetas representativos para varilla de $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{4}$, 1 utilizadas para el estudio de comportamiento térmico, y 10 probetas norma ISO 527-2 Tipo 1A para los ensayos de propiedades mecánicas. Teniendo un total de la muestra de 20 especímenes.

3.7 Análisis de resultados

A continuación, describimos los pasos para la fabricación de la máquina extrusora de plástico (Ver Anexos).

Como primer paso, se procedió a la fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción, cuya función es alojar el tornillo sin fin o husillo para la máquina de extrusión de PET. Por lo general el cilindro de calefacción debe construirse en aceros muy resistentes al calor.

Se realizó el maquinado del tornillo extrusor o husillo que va hacer por donde va a pasar el material PET, el material utilizado para su fabricación debe ser resistente a tratamientos térmicos sin perder sus características aun después de haber sido sometido a altas temperaturas.

Se realizó el maquinado del muñón que es la parte trasera del husillo, que servirá para unir el motor que a su vez dará movimiento y plastificará el material.

Luego se procedió a seccionar y acoplar el cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo el cual portara las boquillas de calentamiento.

Posteriormente, se realizó el procedimiento de modelación de la tolva de la maquina extrusora de PET. Dado que la maquina cumplirá funciones a nivel de un prototipo, el diseño de la tolva no requerirá grandes dimensiones. Se definió las medidas de la tolva en función al diámetro del cilindro de calefacción, se secciono las partes, para luego moldear las láminas de acero, y soldar las costuras de la tolva y pulir.

Se perforaron las platinas de refuerzo donde se ajusta la tolva hacia el tubo de calentamiento y se pulió todas las partes. Se procedió a soldar las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y después a la tolva.

Se realizó el centrado y colocación de la tolva hacia el tubo de calentamiento, con el debido ajuste de pernos, centrado y posicionamiento de las piezas donde pasara el material PET triturado.

Se realizó el maquinado de los diferentes tipos de boquilla de extrusión tanto de $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada que serán el medio por donde el PET triturado se calentara hasta

conseguir un estado altamente plástico, que se hará fluir mediante alta presión dentro de la moldura en donde luego se solidificara tomando la forma deseada. Además, se realizó el diseño y pulido de la estructura de soporte tanto del eje extrusor, tubo de calentamiento y tolva.

Además, se realizó el maquinado de la brida entre el motor y el reductor de velocidad del eje extrusor. Luego se procedió hacer el montaje del motor y reductor de velocidad que harán girar el tornillo extrusor. Se realizó el soldado de los tubos de refuerzo hacia el eje extrusor y nivelación del eje extrusor con respecto a la tolva.

Una vez realizado el Ensamblaje total del cuerpo de la maquina Extrusora, se procedió a soldar las patas de la mesa donde se apoyará la maquina extrusora y los tubos horizontales del refuerzo de la mesa, realizando el ensamble total de la mesa con su plancha de refuerzo.

Se verifica las medidas entre la base del motor y el reductor de velocidad y la concentricidad entre el reductor de velocidad y el eje extrusor, además se realiza la comprobación entre la altura del motor y la base de soporte.

Se realiza el diseño de los puntos de calentamiento de la maquina extrusora. Se procede a realizar el corte con plasma de la base del motor y de la base del reductor de velocidad. Luego se procedió a soldar la base del motor y el reductor de velocidad.

Luego se procedió a armar el tablero de control de la maquina extrusora, el cual va a calibrar los sensores de temperatura. Se realiza el montaje de los breakeres del panel de control, el cual sirve para evitar cualquier corto eléctrico al momento de hacer la calibración de los sensores de temperatura.

Se elabora las resistencias tipo boquilla 250W/240V las cuales son de acero inoxidable y se fabrica los termopares tipo K, rosca de 1/4" las cuales sirven para censar las temperaturas en los diferentes puntos de calentamiento. Posterior, se realizó el montaje de los sensores termopares tipo K- rosca de 1/4", en las 2 zonas de calentamiento alta y baja.

Se procede a la instalación del motor con respecto al reductor de velocidad y se conecta todos componentes mecánicos de la maquina extrusora. Además, se realiza el pintado general del soporte de la maquina extrusora.

Se realiza las conexiones eléctricas y electrónicas del motor. Luego se procede a instalar las conexiones electrónicas del variador de frecuencias y el cableado de los sensores de temperatura y de las resistencias tipo boquilla en el tablero de automatismo.

Recolección, Selección, triturado y deshumidificación del material PET.

Para la obtención del material PET, se recolectaron botellas de Bidón, botellas de color café, botellas transparentes, y botellas de color verde, que luego fueron clasificadas.

Se procedió a cortar las botellas en partes por medio de una cortadora eléctrica. Una vez cortado el material se lleva a la trituradora de plástico, para obtener hojuelas de plástico PET triturado.

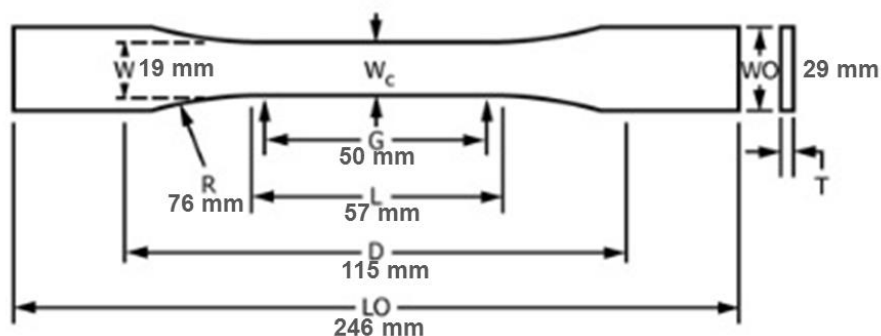
Se procede a tamizar el material para eliminar impurezas que pudieron incorporarse en el triturado. Se almacena el material para posteriormente llevarlo a un proceso de deshumidificación por focos infrarrojos.

Se obtuvieron hojuelas del triturado de plástico PET de alta viscosidad y baja viscosidad intrínseca, para realizar probetas de diferentes tipos de PET y así deducir el comportamiento mecánico y térmico en función a las temperaturas de calibración de la máquina extrusora, así mismo se utilizó cámara de deshumidificación por focos infrarrojos, con sus respectivos separadores de material de alta viscosidad intrínseca y baja viscosidad intrínseca

Elaboración del molde para extruir las probetas

Se moldea las piezas en cartón, basándose en las dimensiones de la norma ISO 527-2 para materiales plásticos.

DIMENSIONES: 7 A 14 (0.28 a 0.55)



W- Ancho de sección estrecha
L- Longitud de la sección estrecha
WO- Ancho total
LO-Longitud total
G-Longitud de la puerta
D-Distancia entre puños
R- Radio

Figura 52: Dimensiones de la probeta para ensayo
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Después del modelado de las piezas de cartón, se procede a cortar las secciones de acero de alta temperatura con plasma. Seguido por la soldadura de cada una de las partes cortadas para obtener las probetas requeridas según la norma ISO 527-2 o ASTM D638.

Proceso de realización de las probetas para los diferentes tipos de PET reciclado.

1. Trituradas las hojuelas de PET se procede a tamizarlas.
2. Se calientan las hojuelas en la cámara de deshumidificación las cual esta seccionadas en cubetos de los diferentes tipos de PET a estudiar.
3. Controlar la temperatura en la cámara de deshumidificación hasta llegar a una temperatura entre 70°C-90°C, este proceso durara entre 4 y 6 horas aproximadamente, para lograr eliminar al máximo la humedad de las hojuelas y así obtener una mejor extrusión, y evitando porosidades en las muestras.
4. Se procede a pesar las hojuelas en una balanza, determinando que el llenado de la tolva tiene una capacidad de 14 onz.
5. Previo a la colocación del material, se calibra la maquina extrusora a las temperaturas obtenidas en los ensayos térmicos, no obstante, las temperaturas varían en función al tipo de material.
6. Se coloca el producto en la tolva previamente calentado.
7. Se calienta el molde de las probetas a una temperatura de entre 100°C-120°C, para este punto realizamos el calentamiento con equipos de oxicorte.

8. Se coloca el molde de las probetas previamente calentados en la boquilla de salida del material.
9. Se calibra el regulador de frecuencia en función al material plástico que se va a realizar la probeta, luego de esto se enciende el motor.
10. Se realiza el llenado del molde secuencialmente, evitando que se formen burbujas de aire, ya sea por falta de material o por mala calibración del regulador de frecuencia.
11. Una vez llenado el molde se coloca la tapa superior con una pequeña compresión, con el objetivo de obtener unas probetas libres de porosidad y de los espesores deseados.
12. Se esperar el tiempo de enfriamiento de las probetas que varían en función a el tipo de material, para posterior a retirar la probeta del molde.
13. Se llevan las probetas a la cámara de deshumidificación con la finalidad de obtener un proceso de enfriamiento progresivo, y así obtener unas probetas que cumplan con los estándares de calidad acorde a la norma ISO 527.
14. El tiempo de enfriamiento de las probetas para este estudio fue de aproximadamente 24 horas y posterior a eso se las retira.
15. Se observa la contracción longitudinal de los diferentes tipos de probetas obtenidas.
16. Se pulen las probetas obtenidas. Finalizado esto, ya están listas para ser utilizadas en los ensayos.

Procedimiento para el ensayo a tracción y compresión de las probetas obtenidas

1. Ajustar la probeta en la Máquina universal de ensayo Shimadzu 10kn
2. Ajustar la velocidad de tracción y compresión de la máquina, cabe recalcar que la velocidad de ajuste de la maquina deben ser menores, ya que cuando se empleaban velocidades más grandes los resultados no eran fiables.
3. Obtención de resultados
4. Análisis de resultados



Figura 53: Cámara de deshumidificación
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 54: Controlar la temperatura en la cámara de deshumidificación
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 55: Calibración la maquina extrusora
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 56: Colocación de material PET triturado en la tolva
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 57: Llenado del molde
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

CAPÍTULO IV

INFORME FINAL

- Referente al primer objetivo específico **Construir una máquina extrusora de plástico**, se logró su construcción y funcionamiento. Se adjunta en anexos manual de funcionamiento y recomendaciones para su uso.



Figura 58: Fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 59: Acoplamiento del cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

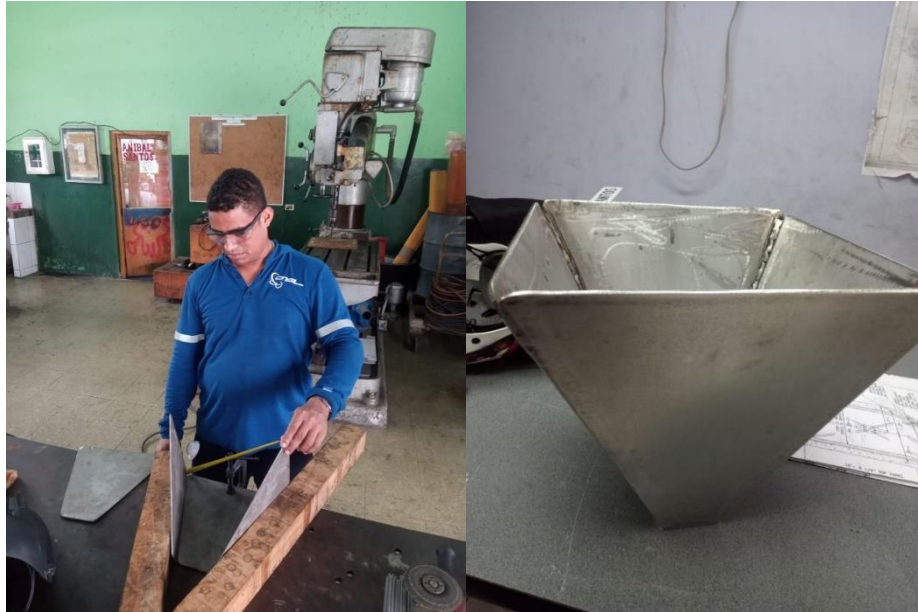


Figura 60: Modelación de la tolva de la maquina extrusora de PET.
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 61: Suelda de las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y tolva.
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 62: Maquinado de boquilla de extrusión de $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada.
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

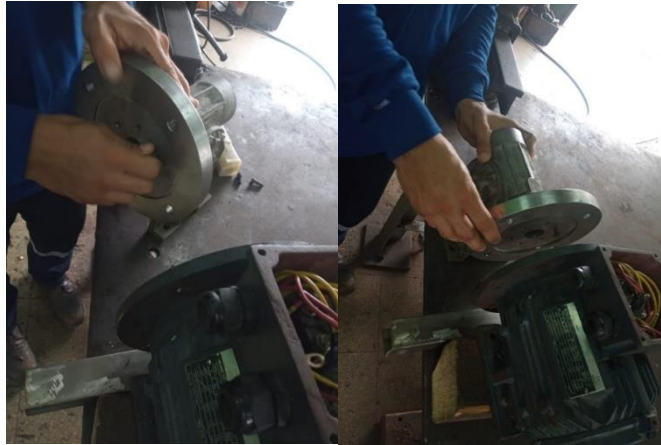


Figura 63: Montaje del motor y reductor de velocidad
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 64: Montaje del eje extrusor hacia la camisa de calentamiento.
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 65: Ensamblaje total del cuerpo de la maquina Extrusora
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 66: Instalación del motor con reductor de velocidad.
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 67: Conexión de los componentes mecánicos de la maquina extrusora
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 68: Instalación de conexiones electrónicas del variador de frecuencias.
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

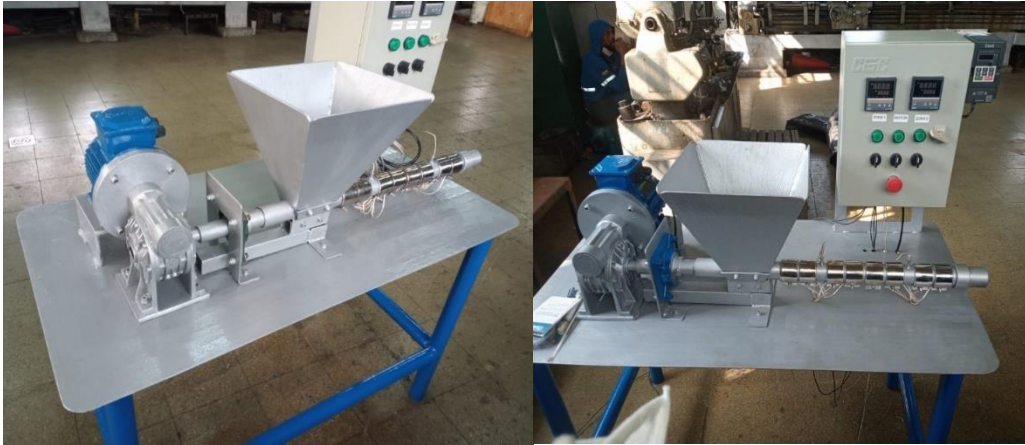


Figura 69: Maquina extrusora
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)



Figura 70: Maquina extrusora y sus partes
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

- Con respecto al segundo objetivo específico **Identificar las características físicas y mecánicas del plástico extruido**, se realizaron ensayos de tensión, compresión y térmicos, teniendo como resultado lo siguiente:

COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL PLASTICO PET

Tabla 13
Comportamiento físico de PET obtenido de botella de color café

Material	Peso (onz)	Tiempo deshumidificación (min)	Temperatura del material deshumidificado	T. de alta (zona 1) (°C)		T. de baja (zona 2) (C°)	
				T. Resistencia	T. Sensores	T. Resistencia	T. Sensores
PET (botella de pony malta)	14	120	50°C	310	300	250	247
	14	150	60°C	290	282	251	253
	14	180	65°C	284	282	253	235
	14	240	70°C	282	282	270	281
	14	240	72°C	286	282	234	235

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 14
Características físicas de PET obtenido de la botella de color café

Regulador de frecuencia (herz)	Características físicas probetas				
	Tonalidad del material	Homogeneidad de la pasta	Tiempo de enfriamiento(s)	longitud(mm)	Contracción longitudinal(mm)
50	Café oscuro	100%	30	246	6
38,71	Café oscuro	100%	28	246	5,5
38,71	Café oscuro	100%	25	246	5
40	Café oscuro	100%	24	246	5
40	Café claro	75%	20	246	4,5

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 15
Rigidez del material

Rigidez del material			
Baja	Media	Alta (Optima)	Muy alta
25%			
25%			
	50%		
	50%		
		75%	

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 16
Valores de rigidez del material

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 17
Comportamiento físico de PET obtenido de botella de bidón

Material	Peso (onz)	Tiempo deshumidificación (min)	Temperatura del material deshumidificado	T. de alta (zona 1) (°C)		T. de baja (zona 2) (°C)	
				T. Resistencia	T. Sensores	T. Resistencia	T. Sensores
PET (botella de bidón)	14	120	50°C	300	280	250	247
	14	150	58°C	280	270	251	253
	14	180	65°C	278	269	253	235
	14	245	73°C	273	256	265	255
	14	270	90°C	270	270	245	235

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 18
Características físicas de PET obtenido de botella de bidón

Regulador de frecuencia (herz)	Características físicas probetas				
	Tonalidad del material	homogeneidad de la pasta	Tiempo de enfriamiento(s)	longitud(mm)	Contracción longitudinal(mm)
50	Celeste oscuro	Muy alta	25	246	6,5
48,5	Celeste oscuro	Muy alta	23	246	5,2
45,7	Celeste oscuro	Muy alta	17	246	5
42	celeste claro	Muy alta	15	246	4,8
45	celeste claro	alta	13	246	4,5

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 19
Rigidez del material

Rigidez del material			
Baja	Media	Alta (optima)	Muy alta
25%			
25%			
25%			
	50%		
		75%	

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 20
Valores de rigidez del material

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 21
Comportamiento físico de PET obtenido de botella transparente

Material	Peso (onz)	Tiempo deshumidificación (min)	Temperatura del material deshumidificado	T. de alta (zona 1) (°C)		T. de baja (zona 2) (C°)	
				T. Resistencia	T. Sensores	T. Resistencia	T. Sensores
PET (botella transparente)	14	120	50°C	240	230	220	210
	14	150	60°C	228	220	210	200
	14	180	65°C	225	217	200	190
	14	240	70°C	225	220	190	180
	14	240	72°C	265	260	245	245

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 22
Características físicas de PET obtenido de botella transparente

Regulador de frecuencia(herz)	Características físicas probetas				
	Tonalidad del material	homogeneidad de la pasta	Tiempo de enfriamiento(s)	longitud(mm)	Contracción longitudinal(mm)
50	transparente	Medio	15	246	5
48,5	transparente	Medio	14	246	4,8
45,7	transparente	Medio	14	246	4,2
42	transparente	Medio	14	246	3,5
45	transparente	alta	13	246	3

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 23
Rigidez del material

Rigidez del material			
baja	media	alta(optima)	Muy alta
	50%		
	50%		
	50%		
	50%		
		75%	

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 24
Valores de rigidez del material

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 25
Comportamiento físico de PET obtenido de botella mezclada

Material	Peso (onz)	Tiempo deshumidificación (min)	Temperatura del material deshumidificado	T. de alta (zona 1) (°C)		T. de baja (zona 2) (C°)	
				T. Resistencia	T. Sensores	T. Resistencia	T. Sensores
PET (botella mezclada)	14	130	55°C	310	300	280	270
	14	140	58°C	284	280	270	265
	14	160	65°C	274	278	268	260
	14	310	90°C	280	277	263	258
	14	360	110°C	288	280	265	255

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 26
Características físicas de PET obtenido de botella mezclada

Regulador de frecuencia(herz)	Características físicas probetas				
	Tonalidad del material	homogeneidad de la pasta	Tiempo de enfriamiento(s)	longitud(mm)	Contraccion longitudinal(mm)
50	Cafe oscuro	Muy alta	20	246	4,5
48,5	Cafe oscuro	Muy alta	17	246	4
45,7	Cafe oscuro	Muy alta	15	246	3,8
42	cafe claro	alta	12	246	3,2
45	cafe claro	alta	8	246	2,8

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 27
Rigidez del material

Rigidez del material			
baja	media	alta(optima)	Muy alta
25%			
25%			
25%			
25%			
25%			

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 28

Valores de rigidez del material

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

ENSAYOS MECÁNICOS DEL PLASTICO PET

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Norma de ensayo: ISO 527-2

Equipo: Máquina Universal de Ensayos 10 kN (EM-010)

Separación inicial entre mordazas: 100 mm

Velocidad del ensayo: 5 mm/min

Temperatura Máx./Mín.: 22.7 °C / 22.1 °C

Humedad Relativa Máx./Mín.: 58.1 % / 56.3 %

Tabla 29

Resultados de ensayos de tensión

Código de muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
21-6336	13.98	17.85	111	0.45	0.11
	12.95	17.70	409	1.78	0.54
	12.95	17.70	409	1.78	0.54
	12.95	17.70	1095	4.78	0.64
	12.95	17.70	779	3.40	0.44
21-6338	1.10	6.00	379	57.36	24.12

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Norma de ensayo: ASTM D 642:15

Equipo: Máquina Universal de Ensayos 10 kN (EM-010)

Velocidad del ensayo: 5 mm/min

Temperatura Máx./Mín.: 22.7 °C / 22.1 °C

Humedad Relativa Máx./Mín.: 58.6 % / 56.1 %

Tabla 30
Resultado de ensayo de compresión

Código de muestra	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
21-6337	48.00	29.23	12.2	6.76	3.96
	47.90	29.29	16.4	9.11	2.76

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

ENSAYOS TÉRMICOS

Tabla 31
Comportamiento térmico

MATERIAL	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	PESO (ONZ)	TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	TEMPERATURA DE FUSIÓN(C°)					HOMOGENEIDAD DE LA PASTA				
				MUY CALIENTE	CALIENTE (OPTIMO)	CALIDO	LIGERAMENTE FRESCO	FRESCO	BAJA	MEDIA	ALTA (OPTIMA)	MUY ALTA	
PET	5-may-21	2	60°										
	5-may-21	2	72°										
	5-may-21	2	116°										
	5-may-21	2	170°										
	5-may-21	2	180°										

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 32
Homogeneidad de la pasta

TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	HOMOGENEIDAD DE LA PASTA			
	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
60°	25%			
72°	25%			
116°		50%		
170°		50%		
180°		50%		

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 33
Valores de homogeneidad

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

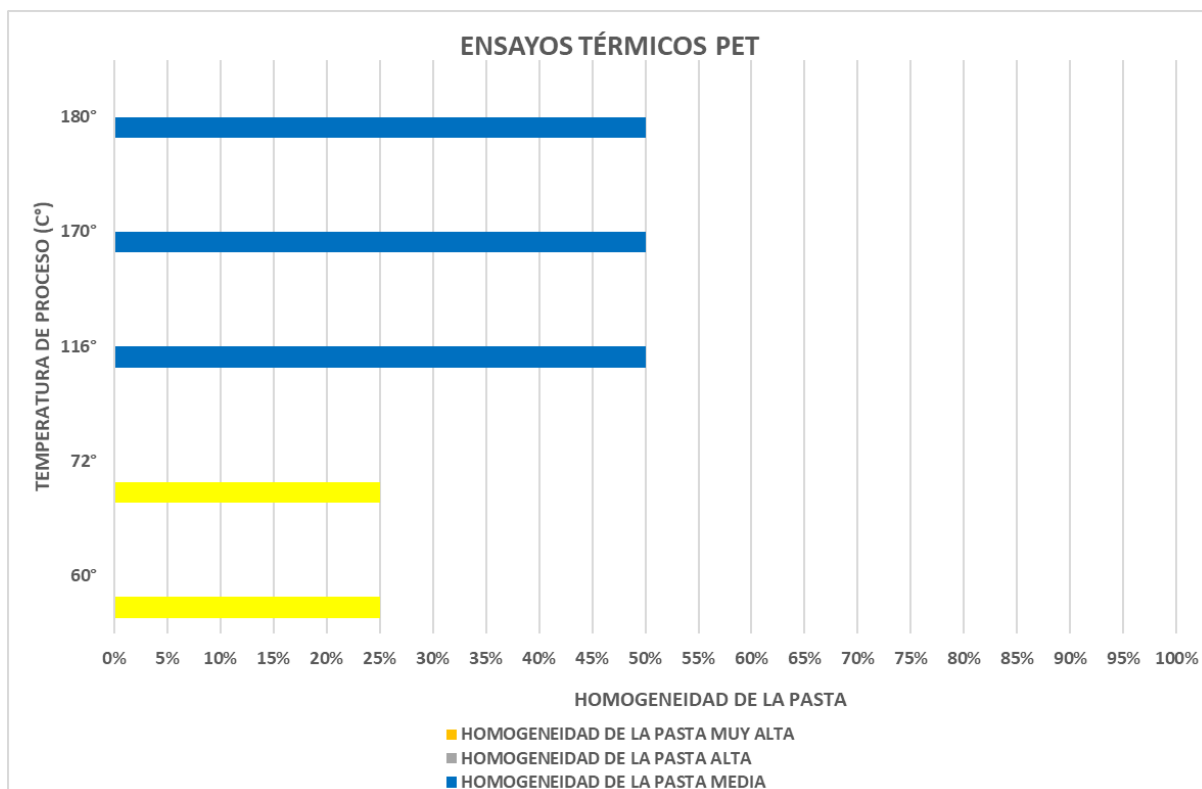


Figura 71: Homogeneidad de la pasta del material PET (fecha de muestra 5/05/21)

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 34

Temperatura de fusión

TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	TEMPERATURA DE FUSIÓN(C°)				
	MUY CALIENTE	CALIENTE (OPTIMO)	CALIDO	LIGERAMENTE FRESCO	FRESCO
60°					15%
72°				25%	
116°			50%		
170°			50%		
180°			50%		

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 35

Valores de temperatura

MUY CALIENTE	100%
CALIENTE	75%
CALIDO	50%
LIGERAMENTE FRESCO	25%
FRESCO	15%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

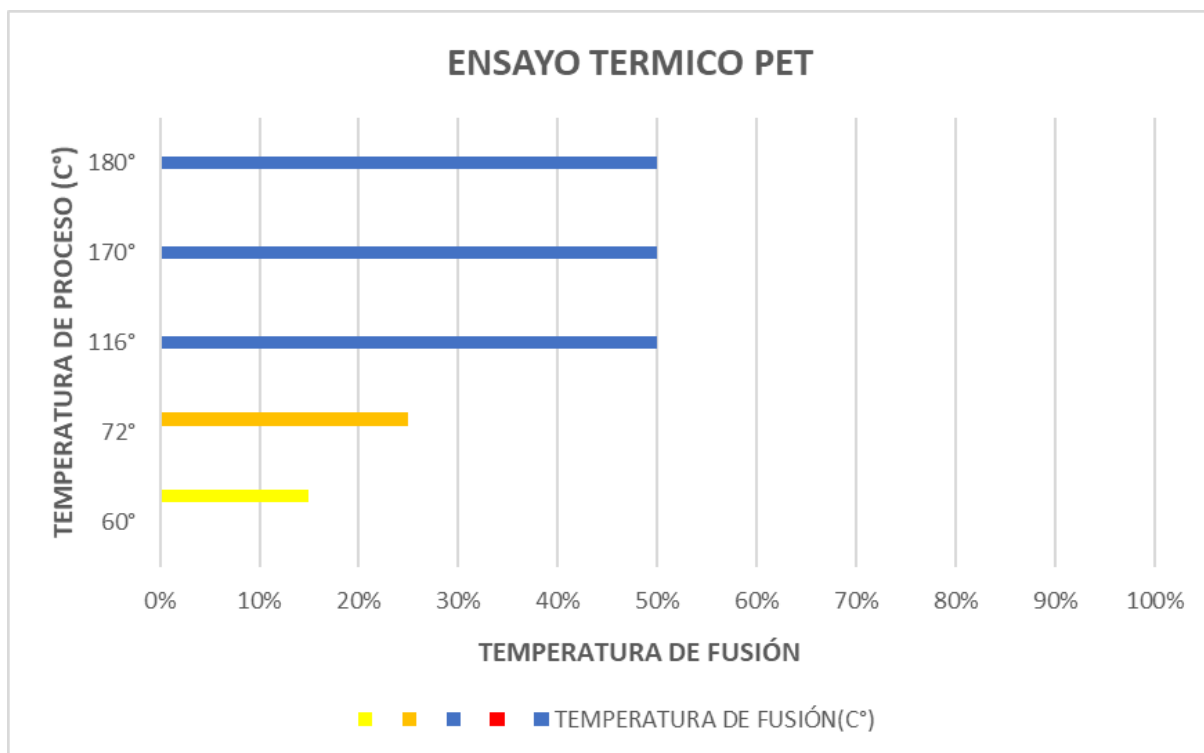


Figura 72: Temperatura de fusión del material PET (fecha de muestra 5/05/21)

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 36
Ensayo térmico

MATERIAL	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	PESO (ONZ)	TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	TEMPERATURA DE FUSIÓN(C°)					HOMOGENEIDAD DE LA PASTA				
				MUY CALIENTE	CALIENTE (OPTIMA)	CALIDO	LIGERAMENTE FRESCO	FRESCO	BAJA	MEDIA	ALTA (OPTIMA)	MUY ALTA	
PET	6-may-21	2	185°										
	6-may-21	2	203°										
	6-may-21	2	230°										
	6-may-21	2	242°										
	6-may-21	2	244°										

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 37
Homogeneidad de la pasta

TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	HOMOGENEIDAD DE LA PASTA			
	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
185°	25%			
203°	25%			
230°	25%			
242°		50%		
244°		50%		

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 38
Valores de homogeneidad

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

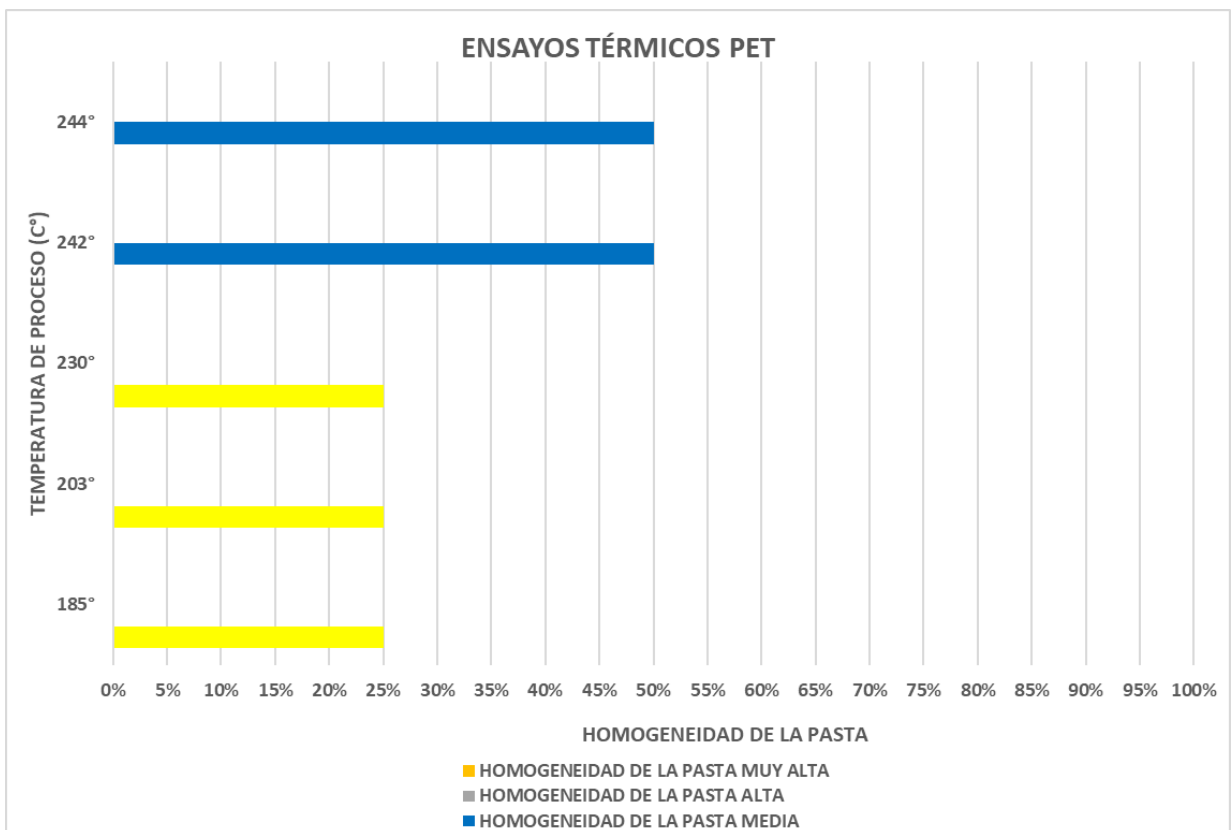


Figura 73: Homogeneidad de la pasta del material PET (fecha de muestra 06/05/21)

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 39
Temperatura de fusión

TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	TEMPERATURA DE FUSIÓN (C°)				
	MUY CALIENTE	CALIENTE (OPTIMA)	CÁLIDO	LIGERAMENTE FRESCO	FRESCO
185°			50%		
203°			50%		
230°			50%		
242°		75%			
244°		75%			

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 40
Valores de temperatura

MUY CALIENTE	100%
CALIENTE	75%
CALIDO	50%
LIGERAMENTE FRESCO	25%
FRESCO	15%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

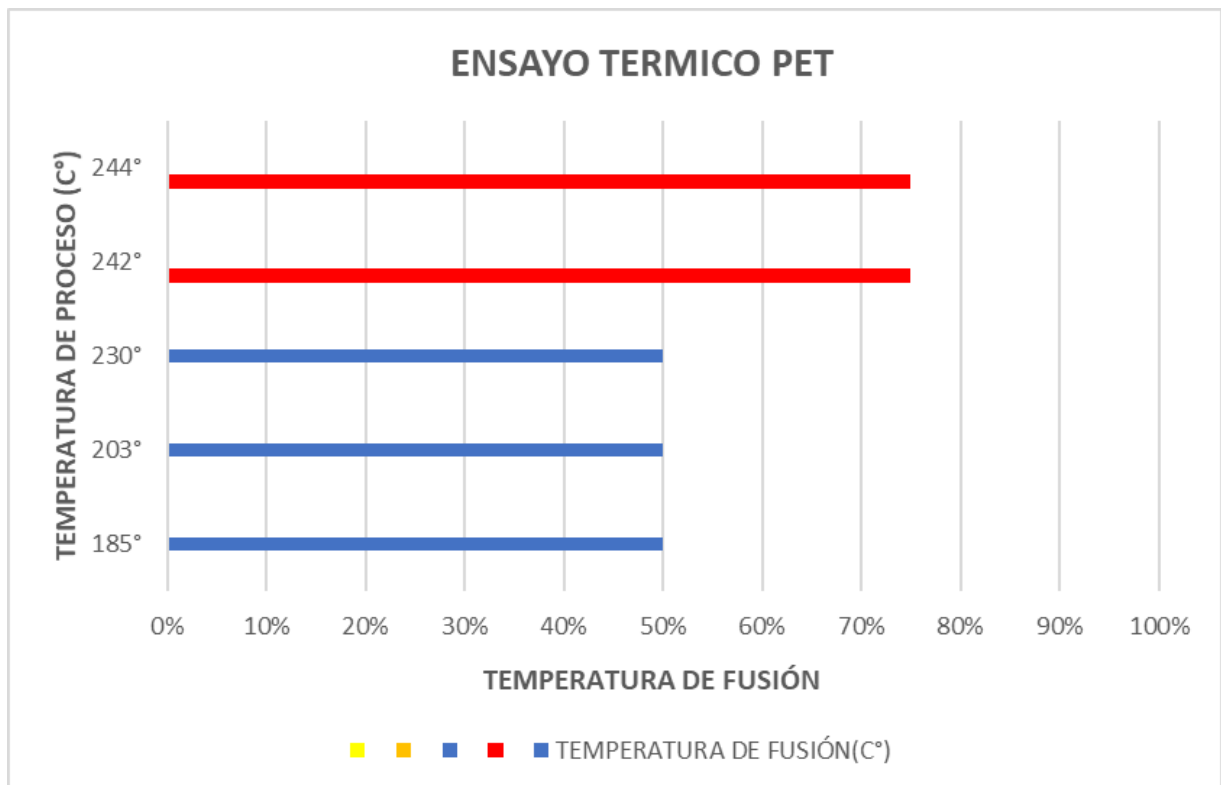


Figura 74: Temperatura de fusión del material PET (fecha de muestra 06/05/21)

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 41
Ensayo térmico

MATERIAL	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	PESO (ONZ)	TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	TEMPERATURA DE FUSIÓN(C°)					HOMOGENEIDAD DE LA PASTA			
				MUY CALIENTE	CALIENTE (OPTIMA)	CALIDO	LIGERAMENTE FRESCO	FRESCO	BAJA	MEDIA	ALTA (OPTIMA)	MUY ALTA
PET	7-may-21	2	246°									
	7-may-21	2	253°									
	7-may-21	2	258°									
	7-may-21	2	281°									
	7-may-21	2	320°									

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 42
Homogeneidad de la pasta

TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	HOMOGENEIDAD DE LA PASTA			
	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
246°			75%	
253°			75%	
258°				100%
281°				100%
320°				100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 43
Valores de homogeneidad

Bajo	25%
Medio	50%
Alta	75%
Muy alta	100%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

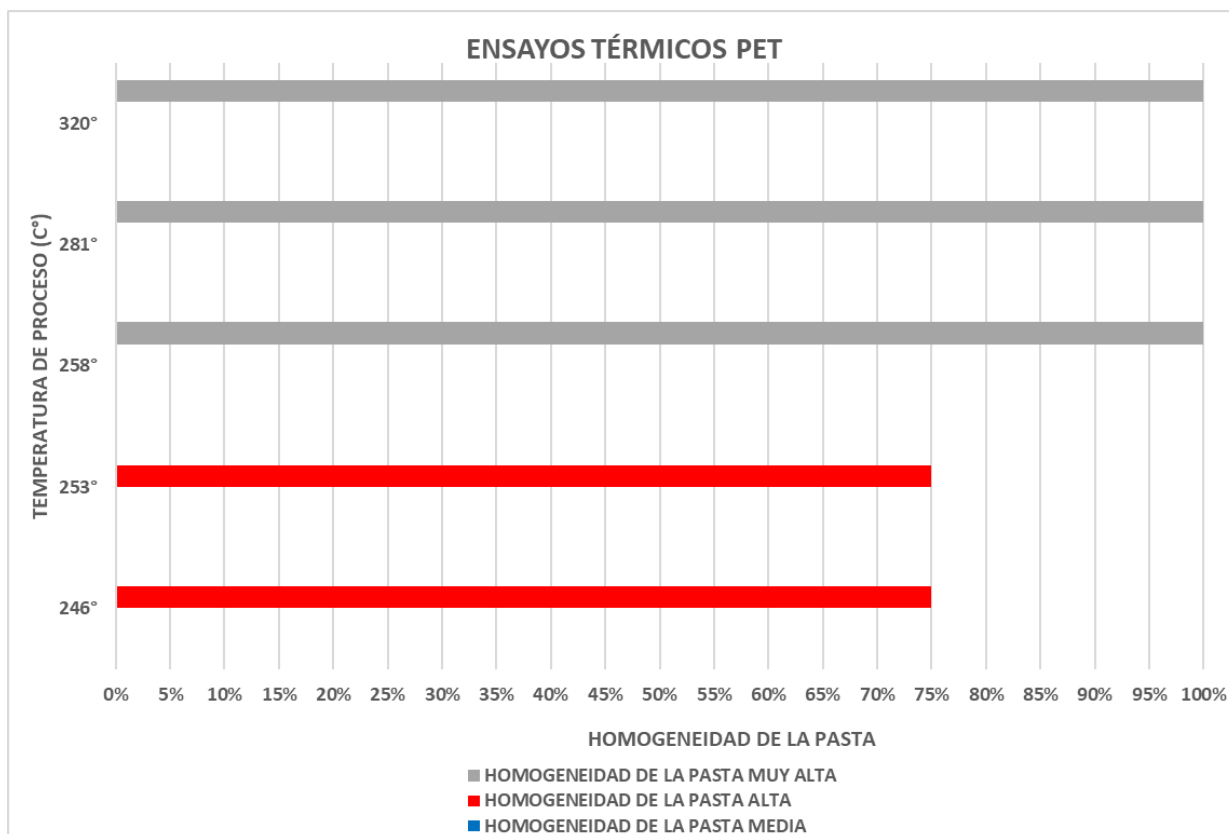


Figura 75: Homogeneidad de la pasta del material PET (fecha de muestra 07/05/21)
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 44
Temperatura de fusión

TEMPERATURA DE PROCESO (C°)	TEMPERATURA DE FUSIÓN (C°)				
	MUY CALIENTE	CALIENTE (OPTIMA)	CALIDO	LIGERAMENTE FRESCO	FRESCO
246°		75%			
253°		75%			
258°		75%			
281°	100%				
320°	100%				

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

Tabla 45
Valores de temperatura

MUY CALIENTE	100%
CALIENTE	75%
CALIDO	50%
LIGERAMENTE FRESCO	25%
FRESCO	15%

Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

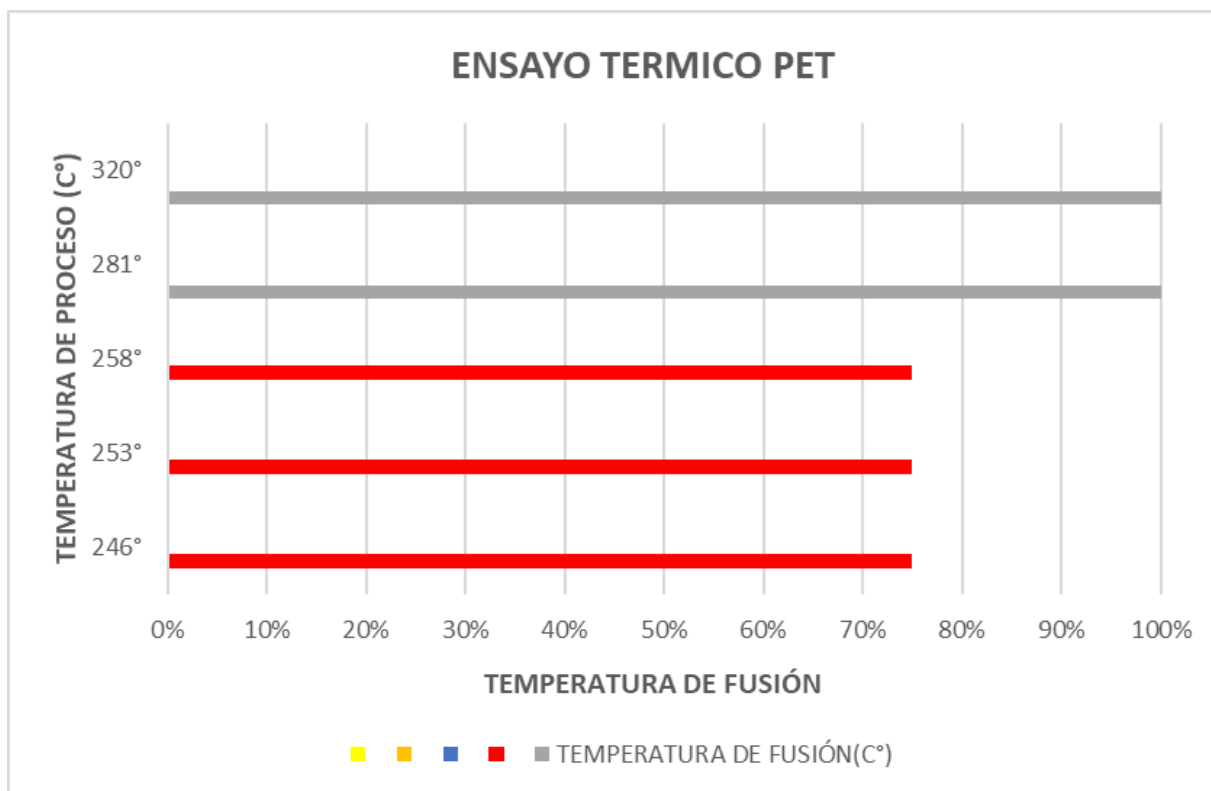


Figura 76: Temperatura de fusión del material PET (fecha de muestra 06/05/21)
Fuente: Chalaco & Muñoz (2021)

- Para el tercer objetivo específico **describir el comportamiento de las características mecánicas de una varilla de plástico (PET)** se obtuvo lo siguiente:

En el comportamiento físico del material PET obtenido de las BOTELLAS DE COLOR CAFE (Tabla 13), se determina que se requiere deshumidificar las hojuelas por 240 MIN para que alcance una temperatura de 72°C, y se elimine al máximo el porcentaje de humedad, cabe recalcar que se requiere calibrar los sensores de la etapa de alta a 282°C y la de baja a 235°C, para obtener una pasta altamente homogénea y rigidez optima.

Se determina que para el plástico PET DE BOTELLA DE BIDON (Tabla 17) se requiere deshumidificar las hojuelas por 270 MIN para que alcance una temperatura de 90°C, y se elimine al máximo el porcentaje de humedad, cabe recalcar que se requiere calibrar los sensores de la etapa de alta a 270°C y la de baja a 235°C, para obtener una pasta altamente homogénea y rigidez optima.

En la tabla 21, se observa que para el plástico PET DE BOTELLA TRANSPARENTE, se requiere deshumidificar las hojuelas por 240 MIN para que alcance una temperatura

de 90°C, y se elimine al máximo el porcentaje de humedad, cabe recalcar que se requiere calibrar los sensores de la etapa de alta a 260°C y la de baja a 245°C, para obtener una pasta altamente homogénea y rigidez optima. Dado que este material a pesar de ser reciclado, es libre de colorantes y con porcentajes mínimos de impurezas, es por eso que alcanza una excelente rigidez.

Para el plástico PET DE BOTELLA MEZCLADA (Tabla 25), se requiere deshumidificar las hojuelas por 360 MIN para que alcance una temperatura de 110°C, y se elimine al máximo el porcentaje de humedad, cabe recalcar que se requiere calibrar los sensores de la etapa de alta a 280°C y la de baja a 255°C, para obtener una pasta altamente homogénea, cabe mencionar que para este material su comportamiento es altamente explosivo debido a su mezcla de material de alta viscosidad intrínseca y baja viscosidad intrínseca, como consecuencia de esta mezcla de materiales su rigidez se ve afectada, lo cual es altamente baja, por tanto no se recomienda mezclar el plástico PET. Cabe recalcar que por consecuencia de esta investigación este material fue sometido a un mayor proceso de deshumidificación debido a que fue una mezcla de PET (pony malta, seven, agua, Coca-Cola, etc.), con la finalidad de quitar al máximo la humedad del núcleo ya que todos estos materiales se comportan de una manera diferente.

En cuanto al comportamiento térmico del plástico PET, se observa en la tabla 31, que el plástico PET sometido a temperaturas entre (60°-180°) no alcanzan una temperatura de fusión óptima para obtener una pasta homogénea.

En la tabla 36, se observa que el comportamiento térmico de nuestro plástico PET, sometido a temperatura entre (242°-244°) alcanzan una temperatura de fusión optima, pero se obtiene una pasta homogénea media.

En la tabla 41, se observa que el comportamiento térmico del plástico PET, sometido a temperaturas entre (246°-253°) alcanzan una temperatura de fusión y una pasta homogénea optima.

En referencia al ensayo a la tracción de la varilla del plástico PET se obtuvo que:

En cuanto al comportamiento mecánico, se realizó ensayos de tracción a 10 probetas, de 4 tipos de PET, tanto de alta viscosidad intrínseca y baja viscosidad intrínseca (BOTELLA DE COLOR CAFE, BIDON, TRANSPARENTE Y MEZCLADO), dando como resultado que la botella transparente alcanza los mejores resultados al ensayo a la

tracción, todo esto fue acogiéndonos a la norma ISO 527 para plásticos y obteniendo los siguientes resultados:

- Varilla de 13mm con un esfuerzo máximo de 57.36 (MPa), área nominal de 132.73 (mm²) y una fuerza máxima de 7.61Kn
- Varilla de 16mm con un esfuerzo máximo de 57.36 (MPa), área nominal de 201.06 (mm²) y una fuerza máxima de 11.53Kn
- Varilla de 19mm con un esfuerzo máximo de 57.36 (MPa), área nominal de 283.53 (mm²) y una fuerza máxima de 16.26Kn
- Varilla de 25mm con un esfuerzo máximo de 57.36 (MPa), área nominal de 490.88 (mm²) y una fuerza máxima de 28.16Kn

Llegando a efectuar una comparación con las varillas de acero y a la vez llegando a la conclusión de que los valores referentes al Esfuerzo máximo son mucho más altos en la varilla de acero:

- 13mm con un esfuerzo máximo de 556.6 (MPa)
- 16mm con un esfuerzo máximo de 619.9 (MPa)
- 19mm con un esfuerzo máximo de 648.4 (MPa)
- 25mm con un esfuerzo máximo de 621.1 (Ma)

Con respecto a la hipótesis planteada en esta investigación **“Las varillas de plástico reciclado (PET) extruido, con un diámetro optimo tendrá las características mecánicas para servir como refuerzo en elementos de hormigón armado”**, basándonos en la tabla 46 y en los resultados de esta investigación dio como resultado no serían óptimos como refuerzos.

Tabla 46

Datos de Laboratorio obtenidos por ensayo de tracción en varillas corrugadas de acero

Diámetro		Masa nominal (kg/m)	Densidad del acero nominal (kg/m ³)	Área transversal nominal (mm ²)	Fuerza de fluencia (kN)	Fuerza máxima (kN)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)
in.	mm							
½	13	0.994	7850	0.1266	56.71	70.48	447.9	556.6
5/8	16	1.552		0.1977	88.42	122.55	447.2	619.9
¾	19	2.235		0.2847	122.63	184.61	430.7	648.4
1	25	3.973		0.5061	220.64	314.36	435.9	621.1

Fuente: Laboratorio de evaluación de materiales ESPOL, 2021

Tabla 47

Análisis teórico de comportamiento de varilla fabricada en PET.

Diámetro (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Área nominal (mm) ²	Fuerza máxima (Kn)
13	57.36	132.73	7.61
16		201.06	11.53
19		283.53	16.26
25		490.88	28.16

Fuente: Laboratorio de evaluación de materiales ESPOL, 2021

CONCLUSIONES

- Con respecto al primer objetivo específico **Construir una máquina extrusora de plástico**, se logró su construcción y buen funcionamiento. En anexos se adjunta el presupuesto de elaboración, manual de funcionamiento y recomendaciones para su uso.
- Con respecto al segundo objetivo específico **Identificar las características físicas y mecánicas del plástico extruido**, se concluye que la botella de PET de Coca-Cola al ser un material reciclado transparente obtiene los esfuerzos máximos aceptables en los plásticos, debido a que los PET tratados con colorantes pierden propiedades físicas y mecánicas en comparación al PET transparente, dando como resultado una homogeneidad y rigidez del 75%, que para nuestro análisis fue el óptimo y cumple con todas las propiedades físicas y mecánicas, en comparación a los otros PET estudiados.
- Para el tercer objetivo específico **describir el comportamiento de las características mecánicas de una varilla de plástico (PET)** se concluye que su comportamiento mecánico ante fuerzas de tracción y compresión es similar, e inferior a las varillas de acero.
- Con respecto a la hipótesis planteada en esta investigación **“Las varillas de plástico reciclado (PET) extruido, con un diámetro óptimo tendrá las características mecánicas para servir como refuerzo en elementos de hormigón armado”**

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Facultad De Ingeniería, Industria y Construcción De La Universidad Laica Vicente Rocafuerte De Guayaquil, que los estudiantes investigadores continúen en el proceso de investigación del plástico PET reciclado, ya que su reutilización ayuda al medio ambiente, cabe recalcar que el prototipo de la máquina, fue diseñado por los autores de esta investigación, el cual será donado a la facultad para proyectos posteriores, este prototipo está diseñado para poder trabajar con todo tipo de plásticos.

Se recomienda a los próximos investigadores que como mejora de la maquina se instale unas resistencias a las probetas con la finalidad de obtener unas mejores muestras, antes de realizar cualquier tipo de probeta, realizar el debido ensayo térmico para evitar forzar a la maquina extrusora.

Se recomienda a los próximos investigadores antes de realizar la extrusión del material a investigar se efectuó un proceso de deshumidificación a más de 70-90°C para alcanzar muestras libres de porosidad.

Se recomienda a los próximos investigadores hacer pruebas con perfilarias.

Se recomienda a la Facultad De Ingeniería, Industria y Construcción De La Universidad Laica Vicente Rocafuerte De Guayaquil. realizar estudios investigativos con polietileno de baja con polietileno de alta reciclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lugo Mejía, J., & Torres Pérez, Y. (2019). *CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS PET*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Sánchez Herrera, C., Peña Ruiz, J., & Rico Leguizamón, L. (2018). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) Reciclado en la Ingeniería Civil. *Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería civil*.
- Arniz Arniz, N. (2016). Reciclaje de polímeros mediante la producción de materiales de alto valor añadido. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=62604>
- Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador. (2008). *Constitución de Ecuador de 2008*. Montecristi, Ciudad Alfaro, Montecristi, Ecuador.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (s.f.). *Tecnología de Polímeros*. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/16369100>
- Betancourt Rodríguez, S. (2017). *Materiales para la construcción*. (M. A. Castro, Ed.) Santa Clara, Cuba: Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830. Recuperado el 02 de Enero de 2021, de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/12418/Libro-MC.-S.-Betancourt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caballero Meza, F. L. (2016). *Elaboración de bloques de cemento reutilizando el plástico polietileno-tereftalato como alternativa sostenible para la construcción*.
- Casas Hernández, J. I. (2018). *Estudio comparativo del comportamiento mecánico y características físicas en el concreto adicionado con Grano de Caucho Reciclado (GCR) Y Polietileno Tereftalato (PET) como reemplazo del agregado fino para la fabricación de unidades de mampostería para p*. Universidad de la Salle Ciencia Unisalle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/339
- García, J. (16 de Agosto de 2017). *Fondo para la comunicación y la educación ambiental*. Recuperado el 15 de Julio de 2019, de Panamá América: <https://agua.org.mx/agua-contabilizada-problema-primario-resolver/>
- Gonzales Barrera, J., & Portela Triana, C. (2016). *Elaboración de paneles a partir de fibra y micropartículas de botellas (pet) en Villavicencio*.
- González Lisorge, A. (2015). Del Empirismo a la Invención. *Cálculo y proyecto en la arquitectura moderna*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid, España. Obtenido de http://oa.upm.es/39900/1/AUSIAS_GONZALEZ_LISORGE_01.pdf
- Guanoliquín Anasi, E. (2018). *Estudio experimental de la influencia de la oxidación en la capacidad de adherencia de las varillas corrugadas utilizadas como acero de refuerzo*

en el hormigón, mediante el ensayo PULL OUT. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Guio Perez, M. (2019). *Comportamiento mecánico de bloques comprimidos de suelo cemento al 6% con fibras sintéticas de PET*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado el Noviembre de 2020, de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32749/GuioPerezMarcoHel_y.2019_Formato.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Hernández, Fernández y Baptista (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. Editorial McGraw-Hill. Mexico.

Historia de los materiales. Obtenido de Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica:
https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6197/mod_resource/content/1/Generalidades_02._Historia.pdf

INEN NTE. (s.f.). Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.1373.2010/page/n11>

Lalvay Llivigañay, B. H. (2017). *Análisis, Comportamiento y Comparación de Varillas Corrugadas en Fibra de Vidrio, con Relación a las Varillas Convencionales; Conjuntamente en Elementos Estructurales de Hormigón*. Universidad de Azuay, Azuay, Cuenca , Ecuador.

Luna Pizza, J. D., & Bejarano Hernandez, B. S. (2020). Análisis del comportamiento físico y mecánico de la adición de microfibras PET en el mejoramiento de un Suelo arcilloso. *Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Civil Girardot*. Universidad Piloto De Colombia Seccional Del Alto Magdalena , Colombia .

Monterrosa Ruiz, E. (2016). *Análisis de las propiedades mecánicas y metalográfica de las varillas de acero corrugadas comercializadas por las diferentes ferreterías bajo la norma ASTM (A706/706M, A615/A615M) en el Municipio de Ocaña Norte de Santander*. Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña Facultad de Ingenierías, Santander.

Morocho, T. (2015). GESTION DE LA CALIDAD EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS, SITUACION ACTUAL DE LA MANO DE OBRA CIVIL ECUATORIANA. *Revista CIENCIA, 17,1 125-136*.

Moulton, F. R., & Schifferes, J. J. (s.f.). *Autobiografía de la ciencia*. (F. A. Delpiane, Trad.) México.

Moya Verdú, G. (2016). *Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico*. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI, Valencia.

Navarrete Nagua, J. N. (16 de Marzo de 2018). Propuesta metodológica para la adaptación de métodos internacionales de estimación de pérdidas reales de agua en sistemas urbanos de abastecimiento de agua potable de Ecuador. *FACULTAD DE INGENIERÍA*. Guayaquil, Ecuador.

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1373. (Septiembre de 2017). *Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN*. Recuperado el 20 de Agosto de 2019, de Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN: https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1373.pdf
- ONU. (25 de Septiembre de 2015). Agenda 30.
- Organizacion de las Naciones Unidas, ONU ;. (25 de Septiembre de 2015). Agenda 30. *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
- Reyes Montoya, I. M. (2018). Diseño de un concreto con fibras de Polietileno Tereftalato(pet) reciclado para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta - Ate - Lima Este (2018). (*Tesis optar el título profesional de Ingeniero Civil*). UNIVERSIDAD RICARDO PALMA , Lima, Perú. Recuperado el 2020
- Sánchez Gallo, E. G. (2015). *Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de PETTES a partir de plástico reciclado*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Guayas, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2450/20/UPS-GT000106.pdf>
- Suasnavas Flores, D. F. (2017). Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión. *Monografía previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Químicas con Mención en Química Analítica*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito, Ecuador. Obtenido de <file:///C:/Users/user/Desktop/TESIS%20MU%C3%91OZ/Degradaci%C3%B3n%20Qu%C3%ADmica%20del%20PET.pdf>
- Triviño Restrepo, M., & Gil Lancheros, E. (2015). *Utilización de los residuos de extracción de carbón y del proceso de coquización junto con desechos plásticos, como alternativa de obtención de materiales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Velasco, M., Chamizo, J., Guacán, A., Urrea, D., Ordoñez, J., & Mutis, R. (2020). *Lineamientos de sostenibilidad para el mejoramiento y diseño de vivienda rural*. Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca , Popayán, Cauca.
- Yepes Piqueras, V. (29 de Julio de 2016). *Evolución histórica de los materiales*. Obtenido de Universitat Politècnica de València: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/07/29/evolucion-historica-de-los-materiales/>

ANEXOS

Anexo 1: Fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción



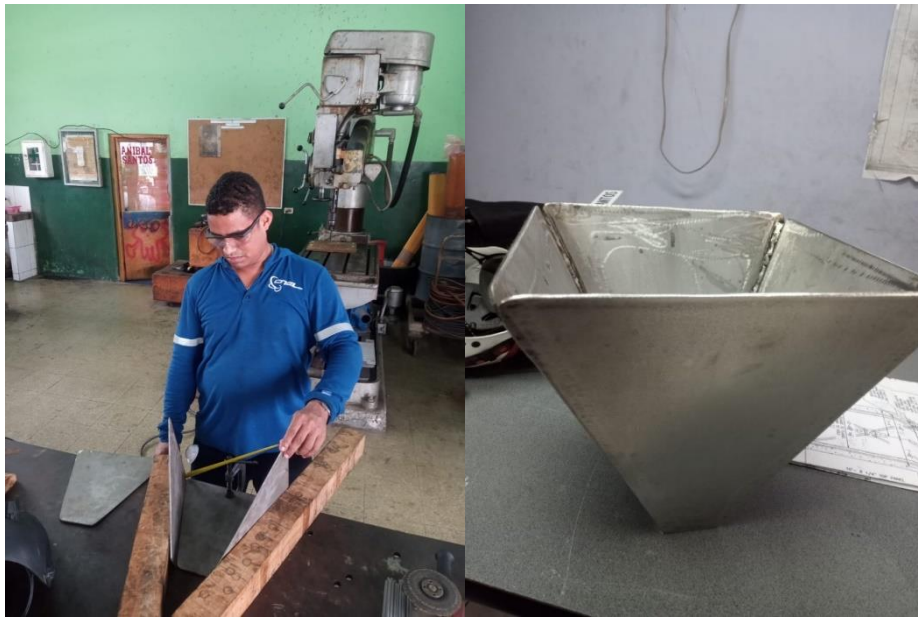
Anexo 2: Maquinado del tornillo extrusor o husillo



Anexo 3: Acoplamiento del cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo



Anexo 4: Modelación de la tolva de la maquina extrusora de PET.



Anexo 5: Perforación de las platinas de refuerzo



Anexo 6: Suelda de las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y tolva.



Anexo 7: Centrado y colocación de la tolva hacia el tubo de calentamiento



Anexo 8: Ajuste de pernos, centrado y posicionamiento de las piezas donde pasara el material PET triturado.



Anexo 9: Maquinado de boquilla de extrusión de 1/2, 5/8, 3/4 y 1 pulgada.



Anexo 10: Boquillas de extrusión



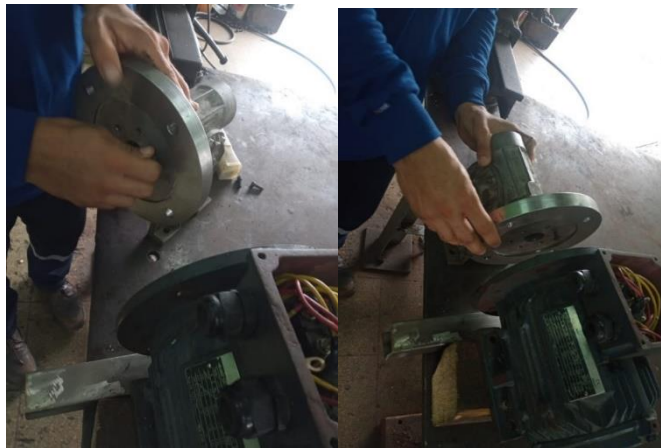
Anexo 11: Diseño y pulido de la estructura de soporte del eje extrusor, tubo de calentamiento y tolva.



Anexo 12: Maquinado de la brida entre el motor y el reductor de velocidad del eje extrusor



Anexo 13: Montaje del motor y reductor de velocidad



Anexo 14: Soldado de los tubos de refuerzo hacia el eje extrusor.



Anexo 15: Nivelación del eje extrusor con respecto a la tolva.



Anexo 16: Montaje del eje extrusor hacia la camisa de calentamiento.



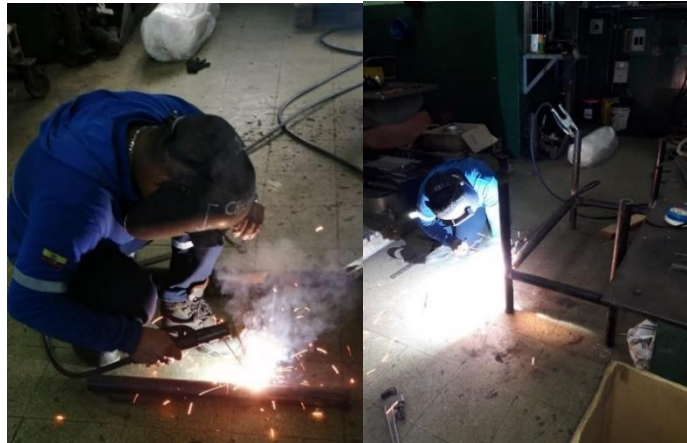
Anexo 17: Ensamblaje total del cuerpo de la maquina Extrusora



Anexo 18: Soldadura de las patas de la mesa donde se apoyará la maquina extrusora



Anexo 19: Soldadura de los tubos horizontales del refuerzo de la mesa.



Anexo 20: Ensamble total de la mesa con su plancha de refuerzo.



Anexo 21: Verificación de las medidas entre la base del motor y el reductor de velocidad



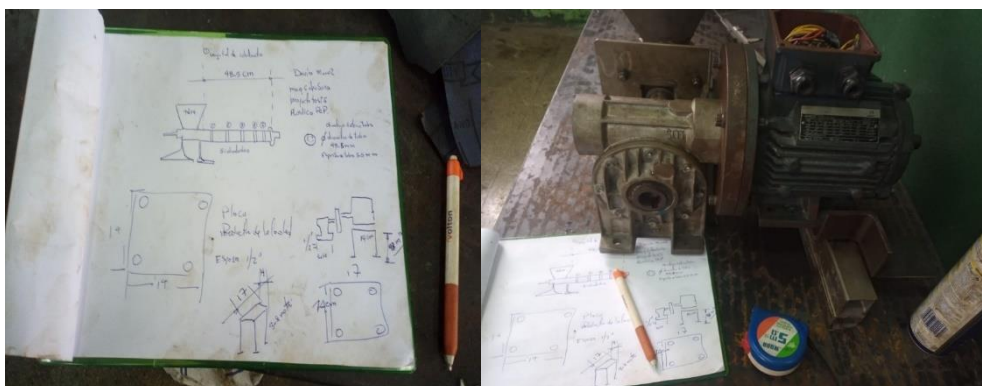
Anexo 22: Verificación de concentricidad entre el reductor de velocidad y el eje extrusor.



Anexo 23: Comprobación entre la altura del motor y la base de soporte.



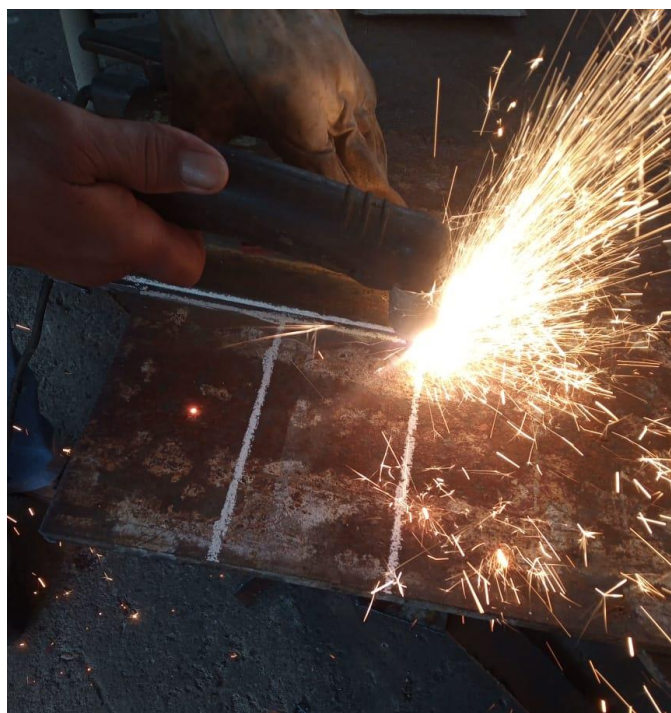
Anexo 24: Diseño de los puntos de calentamiento de la maquina extrusora.



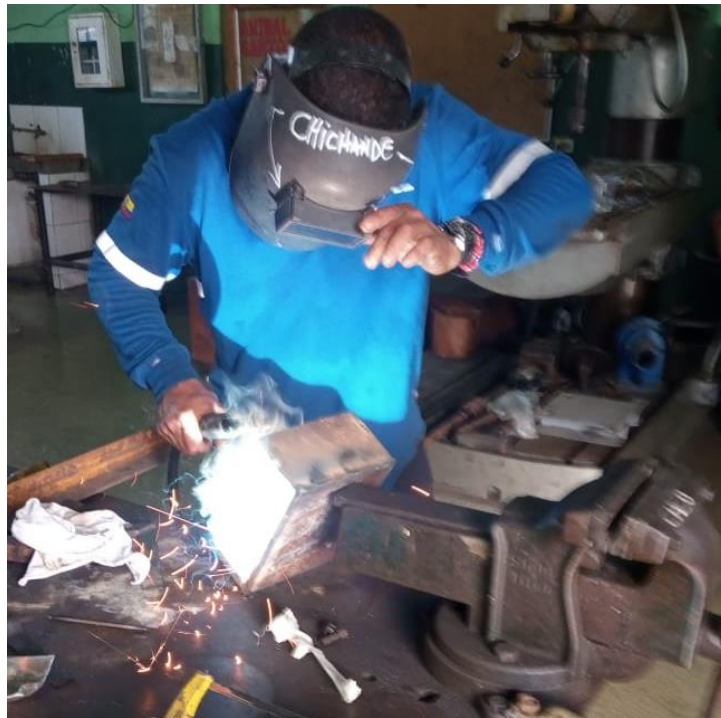
Anexo 25: Corte con plasma de la base del motor



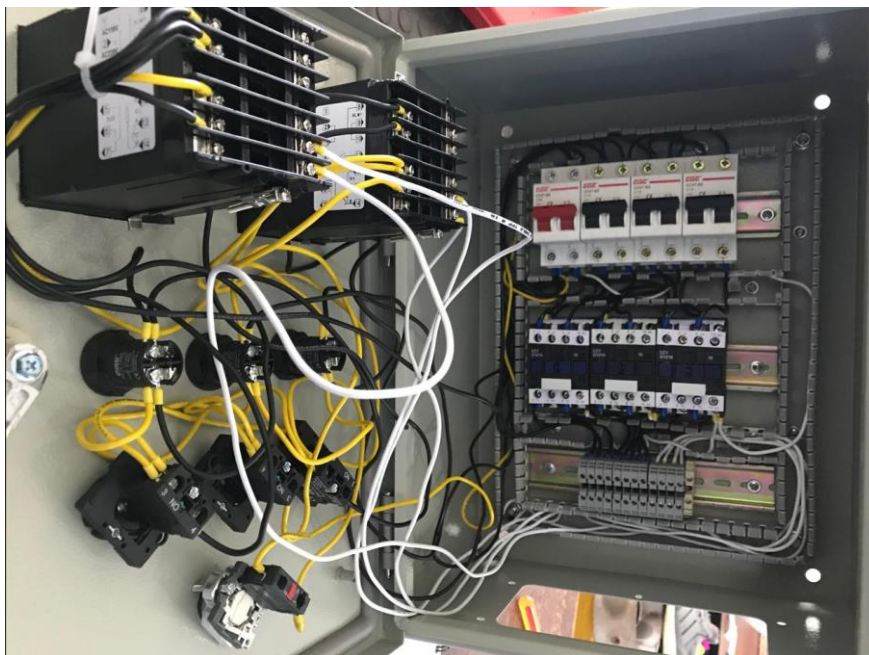
Anexo 26: Corte con plasma de la base del reductor de velocidad



Anexo 27: Soldadura de la base del motor y el reductor de velocidad.



Anexo 28: Tablero de control de la maquina extrusora



Anexo 29: Montaje de los breakeres del panel de control



Anexo 30: Elaboración de las resistencias tipo boquilla 250W/240V de acero inoxidable.



Anexo 31: Termopares tipo K, rosca de 1/4"



Anexo 32: Montaje de los sensores termopares tipo K- rosca de 1/4"



Anexo 33: Instalación del motor con reductor de velocidad.



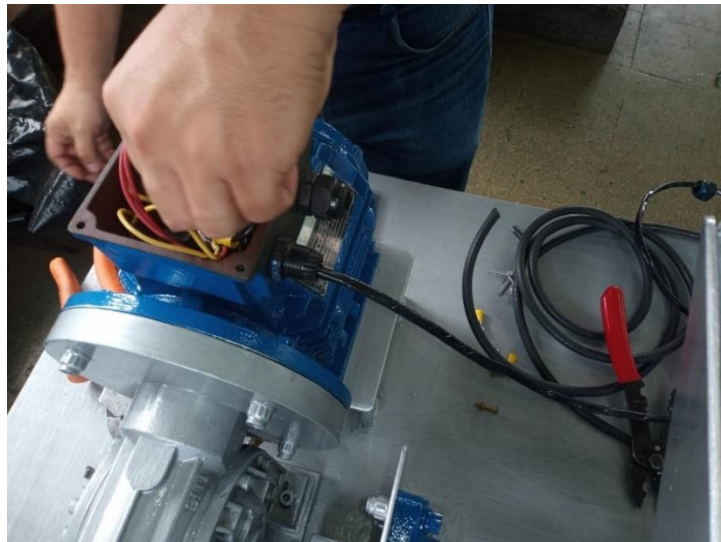
Anexo 34: Conexión de los componentes mecánicos de la maquina extrusora



Anexo 35: Pintado general de la maquina extrusora.



Anexo 36: Conexiones eléctricas y electrónicas del motor.



Anexo 37: Instalación de conexiones electrónicas del variador de frecuencias.



Anexo 38: Cableado de los sensores de temperatura y de las resistencias tipo boquilla en el tablero de automatismo.



Anexo 39: Maquina extrusora



Anexo 40: Corte de las secciones de acero de alta temperatura con plasma.



Anexo 41: Calibración de la temperatura requerida para plástico PET.



Anexo 42: Llenado del molde con plástico PET.



Anexo 43: Recolección del material PET



Anexo 44: Corte de botellas en partes por medio de una cortadora eléctrica.



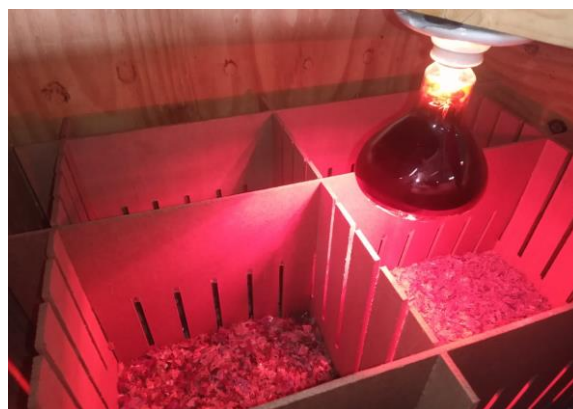
Anexo 45: Trituración de plástico, para obtener hojuelas de plástico PET triturado



Anexo 46: Obtención de hojuelas de plástico PET



Anexo 47: cámara de deshumidificación



Anexo 48: Presupuesto de equipo mecánico de extrusora

RUBRO 1. EQUIPOS MECÁNICOS DE EXTRUSORA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA		RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A * B$	R	$D = C * R$
Taladro Radial	1,00	\$ 20,00	\$ 20,00	1,0000	20,0000
Sierra Eléctrica	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00	0,4400	2,2000
Plasma	1,00	\$ 20,00	\$ 20,00	2,0000	40,0000
Soldadora industrial	1,00	\$ 40,00	\$ 40,00	1,0000	40,0000
Torno grande	1,00	\$ 100,00	\$ 100,00	2,0000	200,0000
Esmeriles	1,00	\$ 10,00	\$ 10,00	3,0000	30,0000
Herramientas menores	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00	0.6	3,0000
SUBTOTAL					\$ 335,20
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A * B$	R	$D = C * R$
Ayudante de armador	1,00	\$ 6,00	\$ 6,00	7,0000	42,0000
Tornero	1,00	\$ 10,00	\$ 10,00	18,0000	180,0000
Soldador armador	1,00	\$ 10,00	\$ 10,00	11,0000	110,0000
Pintor	1,00	\$ 4,00	\$ 4,00	5,0000	20,0000
					\$ 352,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	$C = A * B$	
Eje de alta presión térmica 705	U	1	\$ 150,00	\$ 150,00	
Pernos de acero de 3/8	u	10	\$ 1,00	\$ 10,00	
Disco de pulir	u	10	\$ 2,00	\$ 20,00	
Reductor de velocidad	u	1,00	\$ 220,00	\$ 220,00	
Bridas entre motor y reductor de velocidad	u	1,00	\$ 50,00	\$ 50,0000	
Pernos de acero de 1/2	u	4,00	\$ 0,75	\$ 3,00	
Chumacera eje extrusor	ml	1,00	\$ 20,00	\$ 20,0000	
Láminas de alineación	u	10,00	\$ 5,00	\$ 50,00	

Planchas de acero de 3mm	u	5,00	\$ 5,00	\$ 25,0000
Electrodo 7018	kg	5,00	\$ 6,00	\$ 30,00
Pintura alta temperatura	u	2,00	\$ 45,00	\$ 90,00
Plancha inox 304 #1-1/4" para tolva	unidad	1,00	\$ 70,00	\$ 70,00
Planchas de acero de 3mm	u	1,00	\$ 45,00	\$ 116,00
Tubos 2" * 1/8 espesor para la mesa de soporte	u	1,00	\$ 50,00	\$ 50,00
SUBTOTAL				\$ 904,00
TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C = A * B
Trasporte de materiales	U	2,00	\$ 20,00	\$ 40,00
SUBTOTAL				\$ 40,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				\$ 1.631,20
INDIRECTOS Y UTILIDADES 15,00%				\$ 244,68
COSTO TOTAL DEL RUBRO				\$ 1.875,88
VALOR OFERTADO				\$ 1.875,88

Anexo 49: Presupuesto del equipo de moldes para probetas

RUBRO 2. EQUIPOS DE MOLDES PROBETAS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramientas menores	1,00	\$ 0,50	\$ 0,50	0.44	0.22
Taladro de mano	1,00	\$ 1,00	\$ 1,00	0.44	0.44
Esmeriles	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00	0.44	2.22
Torno pequeño	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00	0.44	2.22
Soldadora industrial Plasma	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00	0.44	2.22
Plasma	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00	0.44	2.22
SUBTOTAL					9.54
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Tornero	1,00	\$ 7,00	\$ 8,00	14,0000	112,0000
SUBTOTAL					\$ 112,00

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = A * B
Discos circonios	u	1,00	\$ 7,00	\$ 7,00000
Electrodos de acero	kg	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00000
Pernos de acero de ¼	u	3,00	\$ 1,00	\$ 3,00000
Platina ac inox 304 #1-2 ½"x1/4" (60x6) x 6m	u	1,00	\$ 50,00	\$ 50,00000
Pernos de acero de ½	u	8,00	\$ 1,00	\$ 8,00000
Discos de pulir	u	1,00	\$ 2,00	\$ 2,00000
Lijas de agua 240	U	4,00	\$ 0,25	\$ 1,00000
SUBTOTAL				\$ 76,00
TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C = A * B
Transporte de materiales	U	1,00	\$ 8,00	\$ 8,00
SUBTOTAL				\$ 8,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				\$ 212,54
INDIRECTOS Y UTILIDADES 15,00%				\$ 31,88
OTROS COSTOS INDIRECTOS				
COSTO TOTAL DEL RUBRO				\$ 244,42
VALOR OFERTADO				\$ 244,42

Anexo 50: Presupuesto de equipo eléctrico y electrónico de extrusora

RUBRO 3. EQUIPOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS DE EXTRUSORA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Taladro de mano	1,00	\$ 1,00	\$ 1,00	5,0000	5,0000
Sierra	1,00	\$ 1,00	\$ 1,00	2,0000	2,0000
Herramientas menores	1,00	\$ 1,00	\$ 1,00	5,0000	5,0000
SUBTOTAL M					\$ 12,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Electrónico en automatismo	1,00	\$ 12,00	\$ 12,00	15,0000	180,0000

Electricista	1,00	\$ 12,00	\$ 12,00	10,0000	120,0000
SUBTOTAL N					\$ 300,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A * B	
Termopares tipo K DE roscas ¼"	u	2,00	\$ 30,00	\$ 60,00000	
Resistencias tipo boquilla 250W/240V	u	8,00	\$ 40,00	\$ 320,00000	
Disco de pulir	u	1,00	\$ 2,00	\$ 2,00000	
Contactores de 12A /220V	u	3,00	\$ 40,00	\$ 120,00000	
Electrodos de acero	kg	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00000	
Motor de 1hp de 220V trifasico	u	1,00	\$ 250,00	\$ 250,00000	
Cable numero 10 revestido	u	1,00	\$ 40,00	\$ 40,00000	
Variador de frecuencia de 1hp	u	1,00	\$ 200,00	\$ 200,00000	
Juego de breaker CGC MODELO DZ 47-63 410V	u	4,00	\$ 30,00	\$ 120,00000	
Controlador de temperatura CGC 72x72mm 110/240V	u	2,00	\$ 180,00	\$ 360,00000	
Tablero para panel de control	u	1,00	\$ 40,00	\$ 40,00000	
SUBTOTAL					\$ 1.477,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A * B	
Transporte de materiales	U	1,00	\$ 20,00	\$ 20,00	
SUBTOTAL P					\$ 20,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				\$ 1.809,00	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 15,00%				\$ 271,35	
OTROS COSTOS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO				\$ 2.080,35	
VALOR OFERTADO				\$ 2.080,35	

Anexo 51: Presupuesto total de fabricación de maquina extrusora, elaboración de probetas y equipo eléctrico y electrónico de extrusora.

RUBROS	DETALLE	COSTO TOTAL RUBRO
1	MECANISMO DE LA MAQUINA EXTRUSORA-MESA DE FIJACION	\$ 1.875,88
2	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MOLDE PARA PROBETA	\$ 244,42
3	DISEÑO Y FABRICACION TABLERO DE CONTROL Y AUTOMATISMO	\$ 2.080,35
COSTO TOTAL		\$4.200,65

Anexo 52: Procedimiento de puesta en marcha de la extrusora

Procedimiento de puesta en marcha de la extrusora

1. Conectar la línea de energía de la maquina a una toma de 220v.
2. Encender el botón rojo de puesta en marcha del sistema de energía eléctrica
3. Encender la perilla de accionamiento de la zona 1 de calentamiento
4. Programar el regulador de temperatura de la zona 1 de calentamiento
5. Calibrar la temperatura de la zona 1 de calentamiento a 50°
6. Subir la temperatura de la zona de calentamiento secuencialmente de 50° en 50° hasta llegar a la temperatura optima.
7. Programar el regulador de temperatura de la zona 2 de calentamiento
8. Calibrar la temperatura de la zona 2 de calentamiento a 50°
9. Subir la temperatura de la zona de calentamiento secuencialmente de 50° en 50° hasta llegar a la temperatura optima.
10. Calibrar la zona 1 de la zona 2 con una diferencia de temperatura de 50°, para tener u proceso de precalentamiento uniforme en proceso de extrusión.
11. Deshumificacion de material PET triturado para eliminar el porcentaje interno y externo de humedad mediante resistencias y cabinas de calentamiento infrarrojo.
12. Alcanzado los procesos de precalentamiento de la zona 1 y la zona 2, procedemos a colocar el plástico PET reciclado (triturado) en la tolva.
13. Encender el botón de arranque del motor
14. Encender el regulador de frecuencia
15. Calibrar la velocidad de salida del material en función a los Hertz del regulador de frecuencia
16. Someter a un proceso de precalentamiento mediante resistencias las probetas para realizar las muestras.
17. Colocar la boquilla para la extrusión de las probetas.
18. Colocar los moldes de las probetas, para el proceso de llenado.
19. Someter a un proceso de enfriamiento del molde de la probeta
20. Desmontaje de las placas del molde para extraer las probetas.
21. Extracción de las probetas.

Anexo 53: Recomendación para el buen funcionamiento del equipo

Recomendación para el buen funcionamiento del equipo.

1. No encender el motor sino has alcanzado las temperaturas máximas en el proceso de precalentamiento de la extrusora, cabe recalcar que para optimizar la temperatura se debe realizar ensayos térmicos del material de estudio de análisis.
2. No encender el regulador de frecuencia sino has alcanzado las temperaturas máximas en el proceso de precalentamiento de la extrusora, cabe recalcar que para optimizar la temperatura se debe realizar ensayos térmicos del material de estudio de análisis.
3. Una vez realizadas las probetas deberá limpiarse la entrada de la boquilla para poder obtener muestras libres de contaminación.
4. No colocar el dedo ni objetos extraños cerca de la zona de succión (tolva), podría ocasionar accidentes a la hora de realizar el proceso de llenado de la tolva.

Anexo 54: Hojuelas de PET trituradas



Anexo 55: Cámara de deshumidificación



Anexo 56: Controlar la temperatura en la cámara de deshumidificación



Anexo 57: Pesaje de las hojuelas en balanza



Anexo 58: Calibración de la temperatura de la maquina extrusora



Anexo 59: Pesaje de las hojuelas en balanza



Anexo 60: Calentamiento previo de la tolva



Anexo 61: Llenado de probetas



Anexo 62: Compresión del material



Anexo 63: Enfriamiento de las cubetas



Anexo 64: Retiro de las probetas del molde



Anexo 65: Ensayos de tracción



Anexo 66: Finalizado el ensayo de tracción



Anexo 67: Ensayo de compresión



Anexo 68: Informe de ensayos



**INFORME DE ENSAYOS /
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Hoja: 1 de 4
N° Informe: 21-174

Fecha de emisión: 2021-06-18
Número de Orden: OT-2466-21

DATOS GENERALES DEL CLIENTE						
Nombre: MUÑOZ CHICHANDE ANDERSON DARIO						
Dirección: San Eduardo mz 634 solar 7						
Teléfono: 0982729694			Correo electrónico: dari1982@hotmail.com			
Persona de Contacto: Sr. Dario Muñoz, Sr. Marcos Chalaco Valle						
DATOS DE LA MUESTRA						
Código de Muestra LEMAT	Descripción de la muestra proporcionada por el cliente	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Preparación de muestra realizada por	Condición de entrega de la muestra previo al ensayo	Fecha de Ensayo
21-6336	Probeta de Tracción de plástico reciclado-PET	2021-06-16	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> No aplica	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica	<input checked="" type="checkbox"/> Acorde a norma <input type="checkbox"/> No acorde a norma <input type="checkbox"/> No aplica	2021-06-16
21-6337	Probeta de compresión de plástico reciclado-PET	2021-06-16	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> No aplica	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica	<input checked="" type="checkbox"/> Acorde a norma <input type="checkbox"/> No acorde a norma <input type="checkbox"/> No aplica	2021-06-16
21-6338	Botella -PET	2021-06-16	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> No aplica	<input type="checkbox"/> Cliente <input checked="" type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica	<input checked="" type="checkbox"/> Acorde a norma <input type="checkbox"/> No acorde a norma <input type="checkbox"/> No aplica	2021-06-16

INFORMACIÓN ADICIONAL PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Tema de Tesis: Comportamiento mecánico de una varilla de plástico reciclado (pet) , 1/2 " ,5/8 " , 3/4 " y 1" .

Anexo 69: Resultados del ensayo de tracción

Hoja: 2 de 4
Nº de Informe: 21-174

Fecha de emisión: 2021-06-18
Número de orden: OT-2466-21

ENSAYO DE TENSION					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
Producto/Material:		21-6336:	Probeta de Tracción de plástico reciclado- PET		
		21-6338:	Botella -PET		
INFORMACIÓN DEL ENSAYO					
Norma de ensayo:		ISO 527-2			
Equipo:		Máquina Universal de Ensayos 10 kN (EM-010)			
Separación inicial entre mordazas:		100 mm			
Velocidad del ensayo:		5 mm/min			
Temperatura Máx./Mín.:		22.7 °C / 22.1 °C			
Humedad Relativa Máx./Mín.:		58.1 % / 56.3 %			
Tabla 1. Resultado. Ensayo de tensión.					
Código de muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
21-6336	13.98	17.85	111	0.45	0.11
	12.95	17.70	409	1.78	0.54
	12.95	17.70	409	1.78	0.54
	12.95	17.70	1095	4.78	0.64
	12.95	17.70	779	3.40	0.44
21-6338	1.10	6.00	379	57.36	24.12
OBSERVACIONES:					
- Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.					

Anexo 70: Resultados del ensayo de compresión

Hoja: 3 de 4
Nº de Informe: 21-174

Fecha de emisión: 2021-06-18
Número de orden: OT-2466-21

ENSAYO DE COMPRESIÓN					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
Producto/Material:		Probeta de compresión de plástico reciclado-PET			
INFORMACIÓN DEL ENSAYO					
Norma de ensayo:		ASTM D 642:15			
Equipo:		Máquina Universal de Ensayos 10 kN (EM-010)			
Velocidad del ensayo:		5 mm/min			
Temperatura Máx./Mín.:		22.7 °C / 22.1 °C			
Humedad Relativa Máx./Mín.:		58.6 % / 56.1 %			
Tabla 2. Resultado. Ensayo de compresión.					
Código de muestra	Díámetro (mm)	Altura (mm)	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
21-6337	48.00	29.23	12.2	6.76	3.96
	47.90	29.29	16.4	9.11	2.76
OBSERVACIONES:					
- Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.					

Anexo 71: Información complementaria

Hoja: 4 de 4
Nº de informe: 21-174

Fecha de emisión: 2021-06-18
Número de orden: OT-2466-21

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA								
Tabla 3. Datos de Laboratorio obtenidos por ensayo de tracción en varillas corrugadas de acero								
Diámetro		Masa nominal (kg/m)	Densidad del acero nominal (kg/m ³)	Área transversal nominal (mm ²)	Fuerza de fluencia (kN)	Fuerza máxima (kN)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)
in.	mm							
1/2	13	0.994	7850	0.1266	56.71	70.48	447.9	556.6
5/8	16	1.552		0.1977	88.42	122.55	447.2	619.9
3/4	19	2.235		0.2847	122.63	184.61	430.7	648.4
1	25	3.973		0.5061	220.64	314.36	435.9	621.1

Cálculos aplicados para la determinación de propiedades en tensión de varillas corrugadas de acero

Masa nominal:
Se determina en un laboratorio y consiste en extraer una muestra de al menos 1 m de longitud y pesarla. De esta manera se obtiene el peso de la varilla de 1 m de longitud.

Densidad del acero:
Es una propiedad definida, en la normativa INEN 2167 se indica este valor.

Área transversal nominal:
Se determina a través de la densidad, peso y volumen de la varilla, como se indica a continuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rho = \frac{m}{\text{Área nominal} \times L_{\text{longitud varilla}}}$$

$$\rightarrow \text{Área nominal} = \frac{m}{\rho \times L_{\text{longitud varilla}}}$$

$$\text{Área nominal} = \frac{1}{\rho} \times \frac{m}{L_{\text{longitud varilla}}}$$

↓
"Masa nominal"

Nota: Convertir el área nominal a mm².

Esfuerzo de fluencia y máximo:
Se debe calcular como la relación entre el área nominal y la carga de fluencia o máxima según corresponda como se indica a continuación:

$$\sigma = \frac{F_{\text{fluencia o máxima}}}{\text{Área nominal}}$$

Análisis teórico para varillas fabricadas en PET

Tabla 4. Análisis teórico de comportamiento de varilla fabricada en PET

Diámetro (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Área Nominal (mm ²)	Fuerza máxima (kN) ⁽¹⁾
13	57.36	132.73	7.61
16		201.06	11.53
19		283.53	16.26
25		490.88	28.16

Observaciones:
⁽¹⁾ En la tabla 4 se presentan los valores teóricos estimados para el parámetro fuerza máxima que fue calculado en base al esfuerzo obtenido de la probeta de PET y los diámetros referenciales indicados por el cliente.



ANDRES ALBERT
DAMIAN VALLEJO

Departamento Técnico



MARIA JOSE
BASTIDAS
RONQUILLO

Departamento de Calidad

Los resultados declarados en este informe se refieren únicamente a los objetos ensayados o calibrados. Las opiniones, interpretaciones, inspecciones, etc. que se indiquen en este informe, están fuera del alcance de acreditación del SAE. Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del Laboratorio de Evaluación de Materiales. Campus Gustavo Galindo Velasco, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. km 30.5 Vía Perimetral | Telf.: (593-4) 2269 269 ext. 1375 | e-mail: lemat@espol.edu.ec Guayaquil - Ecuador MC2201-06