



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
COMPUESTOS FABRICADOS A PARTIR DE PLÁSTICO, VIDRIO Y
ALUMINIO RECICLADOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE
INYECCIÓN”**

Autores:

Quinto Ordoñez Luis Armando
Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro. MSc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador.

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Quinto Ordoñez Luis Armando**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Quinto Ordoñez Luis Armando.

C.C. # 171866569-6

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto

C.C. # 120529185-7

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro. MSc**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Quinto Ordoñez Luis Armando**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS FABRICADOS A PARTIR DE PLÁSTICO, VIDRIO Y ALUMINIO RECICLADOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE INYECCIÓN”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro. MSc**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS FABRICADOS A PARTIR DE PLÁSTICO, VIDRIO Y ALUMINIO RECICLADOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE INYECCIÓN”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente permito certificar, que los Sres. **Quinto Ordoñez Luis Armando** y **Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto**, estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica modalidad presencial del paralelo A, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado “**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS FABRICADOS A PARTIR DE PLÁSTICO, VIDRIO Y ALUMINIO RECICLADOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE INYECCIÓN**”, tengo a bien informar que se realizó la investigación respectiva por medio del sistema URKUND, con un porcentaje favorable del 2%.

	
Documento	TESIS Quinto, Sarabia 13-06-2019.pdf (D53816511)
Presentado	2019-06-13 14:48 (-05:00)
Presentado por	luisa88@hotmail.com
Recibido	jbarros.uteq@analysis.urkund.com
Mensaje	Saludos tesis Quinto y Sarabia Mostrar el mensaje completo
	2% de estas 39 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.

Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Evaluación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos fabricados a partir de plástico, vidrio y aluminio reciclados mediante un prototipo de máquina de inyección”

Presentado al Consejo Académico como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Ing. David Barros Enríquez MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Yusimit Zamora Hernández MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Ernesto Ruano Herrería MSc

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

Pretendo expresar mi gratitud, a todos aquellos, que de una o de otra manera han contribuido para que las metas propuestas en el transcurso de la carrera se cumplan.

A mis padres, María Ordoñez y Juan Quinto, por apoyar todas y cada una de mis decisiones en el transcurso de mi carrera, y por su sacrificio porque de cualquier forma empujaron para que mi rumbo no cambie.

A mis hermanos por sus consejos y paciencia para con mis perjuicios.

Al Ingeniero Emerson Vera, por su apoyo en el transcurso de mis estudios, desarrollo de este trabajo y por sus sabias palabras que me acompañan desde que ingrese a la universidad.

Y, por último, mis más sinceros agradecimientos, a todos aquellos, que, sin tener sus palabras y consejos a mi lado, jamás llegaron a dudar en que mi meta llegaría a ser cumplida.

Luis Armando Quinto Ordoñez.

DEDICATORIA

Este trabajo, está dedicado para todos aquellos, que nunca creyeron que esta meta y etapa de mi vida, podía ser superada con éxito.

Luis Armando Quinto Ordoñez.

“La lengua es como un cuchillo afilado, mata sin extraer sangre.”

Buda Guatama.

“Los dichos injuriosos parece que nacen de sobrado rencor y sobrada malicia.”

Plutarco.

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo quiero agradecer a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por ser el campus de aprendizaje, Docentes y Autoridades de la Carrera de Ingeniería Mecánica quienes con su paciencia y dedicación de educadores nos imparten sus conocimientos.

Al Ing. Gabriel Arellano y al Ing. Emerson Vera por brindarme la orientación necesaria en el desarrollo del trabajo de investigación.

Por sus consejos y por compartir de la mejor manera sus conocimientos, por la confianza otorgada y por haber formado parte del cumplimiento de este objetivo.

A mis padres por estar a mi lado, pendientes de mi formación, enseñándome cada día a no rendirme y seguir adelante aun en adversidades, por su amor incondicional que me ayudan a llegar a mis objetivos y metas de la vida.

A mis amigos, compañeros de carrera, por brindaron su simpatía y ser parte de este periodo de mi vida, por su apoyo cuando lo necesité, en el trayecto de mi carrera académica.

Jonathan Roberto Sarabia Peñafiel

DEDICATORIA

A mis padres quienes fueron los que me apoyaron y guiaron en el transcurso de mi carrera a alcanzar un propósito más; por sus consejos que me ayudaron a encaminarme en el camino correcto.

Y especialmente a mi madre por animarme cuando estaba confundido, por su cariño y amistad lo que me ayuda a ser una mejor persona y poder cumplir mis metas y propósitos que propongo.

A mis amigos que estuvieron en el día a día y eh podido disfrutar esta etapa universitaria llevándome momentos y experiencias únicas que se quedaran guardadas en mi memoria por siempre.

Jonathan Roberto Sarabia Peñafiel

RESUMEN

El presente proyecto de investigación, se enfoca en la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados a partir de plástico, vidrio y aluminio reciclados mediante un prototipo de máquina de inyección, este estudio se realiza con el fin de crear un material compuesto a partir de estos desechos y que este en el futuro remplacen a los materiales de construcción tradicionales. Esta investigación tiene como objetivo estudiar la afinidad de estos materiales reciclados en formar un material compuesto a partir de una matriz de polietileno de baja densidad (PEBD), reforzadas con partículas de aluminio o vidrio. Se demostró con los resultados que al reforzar la matriz con partículas, sus propiedades mejoran al variar el tamaño y cantidad de las mismas, dando como resultado variaciones en la dureza, tensiones máximas, esfuerzos máximos y puntos de rotura. Estos se procesaron mediante un prototipo de máquina inyectora que fue diseñada y construida en la investigación para obtener probetas, realizar ensayos de tracción y dureza de acuerdo a las normas ASTM D-638 (tracción) y ASTM D-2240 (dureza) vigentes para evaluar sus propiedades mecánicas.

Palabras claves: “PEBD” (Polietileno de baja densidad), Vidrio, Aluminio, Material, Compuesto, Prototipo, Máquina, Inyección, Probetas.

ABSTRACT

This research project, focuses on the evaluation of the mechanical properties of composite materials manufactured from plastic, glass and aluminum recycled by a prototype injection machine, this study is carried out in order to create a composite material from these wastes and that this in the future replaces traditional building materials. This research aims to study the affinity of these recycled materials in forming a composite material from a low density polyethylene matrix (PEBD), reinforced with aluminum or glass particles. It was demonstrated with the results that by reinforcing the matrix with particles, its properties improve by varying the size and quantity of them, resulting in variations in hardness, maximum stresses, maximum stresses and breakpoints. These were processed using a prototype injector machine that was designed and built in the research to obtain specimens, perform tensile and hardness tests in accordance with ASTM D-638 (traction) and ASTM D-2240 (hardness) standards in place to evaluate their current mechanical properties.

Key words: "LDPE" (Low density polyethylene), glass, aluminum, Material, composite, prototype, machine, injection, test specimens.

TABLA DE CONTENIDO

Cubierta y Porta.....	3i
Declaración de Autoría y Cesión de Derechos.....	ii
Certificación de Culminación del Proyecto de Investigación	iv
Certificado de Reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico	vi
Agradecimiento	viii
Dedicatoria	ix
Resumen	xii
Abstract	xiii
Tabla de Contenido	xiv
Índice de tablas.....	xviii
Índice de figuras	xix
Índice de ecuaciones.....	xxi
Índice de anexos	xxiii
Código dublín.....	xxiv
Introducción.....	1
CAPITULO I	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problema de investigación.....	3
1.1.1. Planteamiento del problema.	3
1.1.1.1. Diagnóstico.....	4
1.1.1.2. Pronóstico.	4
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.	5
1.2.1. Objetivo general.	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación.....	6
CAPITULO II.....	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Marco conceptual.	9
2.1.1. Propiedades mecánicas.....	9
2.1.2. Materiales compuestos.	9

2.1.3. Fabricación.	9
2.1.4. Plástico.	9
2.1.5. Vidrio.....	9
2.1.6. Aluminio.....	10
2.1.7. Reciclaje.	10
2.1.8. Prototipo.	10
2.1.9. Máquina Inyectora.....	10
2.2. Marco referencial.....	11
2.2.1. Polímeros.....	11
2.2.1.1. Estructura de los polímeros.	11
2.2.1.2. Polimerización.....	12
2.2.1.3. Enlace.	12
2.2.1.4. Cristalinidad.	13
2.2.1.5. Efectos de la cristalinidad.....	13
2.2.1.6. Temperatura de transición vítrea.	14
2.2.1.7. Termoplásticos.	15
2.2.1.8. Efectos de la temperatura.	15
2.2.2. Comportamiento mecánico.....	17
2.2.3. Materiales compuestos.	18
2.2.3.1. Componentes de un material compuesto.	18
2.2.3.2. La fase de reforzamiento.	20
2.2.3.3. Partícula.....	20
2.2.3.4. Propiedades de los materiales compuestos.....	21
2.2.3.5. PEBD.....	21
2.2.4. Aluminio.....	22
2.2.5. Vidrio.....	22
2.2.5.1. Propiedades Mecánicas del vidrio.	23
2.2.5.2. Química y Propiedades del Vidrio.	24
2.2.6. Reciclaje.	25
2.2.6.1. Reciclaje del plástico.....	25
2.2.6.2. Reciclaje del Vidrio.....	26
2.2.6.3. Reciclaje del Aluminio.	26
2.2.7. Procesamiento de los materiales.....	27
2.2.8. Generalidades de los ensayos de dureza.....	28
2.2.9. Norma ASTM D2240 para ensayos de dureza en materiales plásticos.	29

2.2.10. Generalidades de los ensayos de tracción.	30
2.2.11. Norma ASTM D638 para tracción en plásticos.	30
2.2.12. Consideraciones de diseño.	31
CAPITULO III	33
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
1.1. Localización.	34
1.2. Tipo de investigación.	35
1.2.1. Investigación exploratoria.	35
1.2.2. Investigación de campo.	35
1.3. Métodos de Investigación.....	35
1.3.3. Investigación Bibliográfica.	35
1.3.4. Investigación Aplicada.	35
1.3.5. Método Deductivo.	36
1.3.6. Método Inductivo.	36
1.3.7. Método Experimental.	36
1.3.8. Método Analítico.....	36
1.4. Fuentes de recopilación de información.....	36
1.5. Instrumentos de investigación.	37
1.6. Recursos humanos y materiales.....	37
1.6.9. Recursos humanos.	37
1.6.10. Recursos materiales.	37
CAPITULO IV	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
1.7. Resultados y Discusión.	40
1.7.11. Ponderación del diseño.....	40
1.7.11.1. Requerimiento que se debe tener en cuenta en el diseño.	40
1.7.11.2. Criterios de ponderación.....	40
1.7.12. Ponderación de los criterios de evaluación.	41
1.7.13. Selección de alternativas de diseño.	42
1.7.13.1. Alternativa A Inyectora de Palanca.	42
1.7.13.2. Alternativa B Inyectora de Tornillo.	43
1.7.13.3. Alternativa C Inyectora de Volante.....	44
1.7.14. Ponderación en función del criterio de desmontaje y montaje.....	45
1.7.14.1. Ponderación en función del criterio de fácil operación.	45
1.7.14.2. Ponderación en función del criterio de fácil limpieza.	46

1.7.14.3. Ponderación en función del criterio de peso.....	46
1.7.14.4. Ponderación en función del criterio de ergonomía.....	46
1.7.14.5. Ponderación en función del criterio de fácil traslado.	47
1.7.14.6. Ponderación en función del criterio de mantenimiento.....	47
1.7.15. Análisis de los parámetros para el diseño del molde.....	49
1.7.15.1. Selección del tipo de probeta.....	49
1.7.15.2. Diseño del molde.....	50
1.7.15.3. Volumen de la probeta.....	51
1.7.16. Dimensiones de la camisa de inyección.	52
1.7.17. Diseño de la máquina inyectora.	52
1.7.17.1. Diseño del tornillo de potencia.....	52
1.7.17.2. Análisis de la flexión del tornillo.	57
1.7.17.3. Diseño del volante.	60
1.7.17.4. Resistencia de la camisa de la inyectora.....	62
1.7.18. Análisis de la transferencia de calor para la inyectora.	65
1.7.19. Diseño de la estructura.	68
1.7.20. Diseño del sistema de control y eléctrico.	69
1.7.21. Construcción del prototipo de la máquina de inyección.	71
1.7.22. Obtención y preparación de la materia prima.....	72
1.7.23. Medición de las partículas.	74
1.7.24. Análisis de las mezclas.	75
1.7.25. Inyección de las probetas.....	76
1.7.26. Ensayo de tracción y dureza.	79
1.7.27. Presupuesto estimado en la elaboración de la investigación.	89
CAPITULO V	91
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	91
1.1. Conclusiones.	92
1.2. Recomendaciones.....	93
CAPITULO VI.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	95
1.1. Bibliografía.....	96
CAPITULO VII.....	99
ANEXOS.....	99
1.1. Anexos.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas de transición vítrea y de fusión.....	15
Tabla 2. Combinaciones posibles de materiales compuestos de dos constituyentes.....	19
Tabla 3. Propiedades del PEBD.	21
Tabla 4. Propiedades del Aluminio.	22
Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas seleccionadas de materiales cerámicos.	23
Tabla 6. Composiciones comunes de productos de vidrio seleccionados.	24
Tabla 7. Evaluación de peso específico de cada criterio.	41
Tabla 8. Evaluación de alternativas en función del desmontaje y montaje.	45
Tabla 9. Evaluación de alternativas en función de la fácil operación.	45
Tabla 10. Evaluación de alternativas en función de la fácil limpieza.	46
Tabla 11. Evaluación de alternativas en función del peso.....	46
Tabla 12. Evaluación de alternativas en función de la Ergonomía.....	46
Tabla 13. Evaluación de alternativas en función del fácil traslado.	47
Tabla 14. Evaluación de alternativas en función del mantenimiento.	47
Tabla 15. Conclusión de la selección de alternativas.	47
Tabla 16. Dimensiones de la probeta para prueba de tracción.	49
Tabla 17. Propiedades mecánicas del acero AISI 1018.....	56
Tabla 18. Materiales eléctricos.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Estructura molecular del polietileno.	12
Figura. 2. Regiones amorfa y cristalina en un polímero.....	13
Figura. 3. Volumen específico de polímeros en función de la temperatura.	14
Figura. 4. Comportamiento de los polímeros en función de la temperatura.	16
Figura. 5. Curvas de fluencia de un Nylon 66, a 60°C y 50 por ciento HR.	17
Figura. 6. Formas físicas posibles de las fases incrustadas.	19
Figura. 7. Uniones e interfaces entre las fases de un material compuesto.	20
Figura. 8. Simbología de los tipos de plásticos.	25
Figura. 9. Moldeo por inyección.	27
Figura. 10. Indentador tipo A y C.	28
Figura. 11. Ubicación del Cantón Quevedo en la zona 5.	34
Figura. 12. Ubicación geográfica del Catón Quevedo.	34
Figura. 13. Inyectora manual accionada por palanca.	42
Figura. 14. Inyectora manual accionada por un tornillo de potencia.	43
Figura. 15. Inyectora desmontable, portable accionada por volante.	44
Figura. 16. Esquema del proyecto de investigación.....	48
Figura. 17. Dimensiones de la probeta.	49
Figura. 18. Placa Central del molde.	50
Figura. 19. Placas cortadas por el chorro de agua.	51
Figura. 20. Tornillo de potencia.	53
Figura. 21. Cuerpo de tornillo.	57
Figura. 22. Volante.....	60
Figura. 23. Volante con la influencia de fuerzas externas.....	61
Figura. 24. Camisa de la inyectora.	62
Figura. 25. Carga aplicada en la estructura.	68
Figura. 26. Esfuerzo Von Mises en la estructura.	69
Figura. 27. Esquema eléctrico y de control.	70
Figura. 28. Prototipo de Máquina inyectora para fabricar materiales compuestos.	72
Figura. 29. Tapas trituradas en forma de hojuelas.	73
Figura. 30. Partirlas de aluminio.	73
Figura. 31. Tamiz.	74
Figura. 32. Partículas de vidrio.	74
Figura. 33. Primer intento de inyección.	77

Figura. 34. Probeta de PEBD incompleta.....	77
Figura. 35. Proceso de mesclar el PEBD más el refuerzo.	78
Figura. 36. Probetas con matriz polimérica y refuerzos.	78
Figura. 37. Comparativa de la Fuerza Máxima en los tres ensayos.	84
Figura. 38. Comparativa del Esfuerzo Máximo con los tres ensayos.	84
Figura. 39. Comparativa del Módulo de Elasticidad de los tres ensayos.	85
Figura. 40. Comparativa de la Elongación de los tres ensayos.	85
Figura. 41. Comparativa de la Dureza Shore - D de los ensayos.	86
Figura. 42. Comparativa del esfuerzo último.	86
Figura. 43. Comparativa al esfuerzo a la fluencia.	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Volumen de la probeta.....	51
Ecuación 2. Ancho de la rosca.....	53
Ecuación 3. Profundidad de la rosca.	53
Ecuación 4. Diámetro medio de la rosca.	53
Ecuación 5. Diámetro de la raíz de la rosca.	53
Ecuación 6. El avance del tornillo.	54
Ecuación 7. Torque para inyectar el PEBD.....	54
Ecuación 8. Torque para elevar el émbolo.	54
Ecuación 9. La eficiencia global del tornillo al inyectar.	55
Ecuación 10. El esfuerzo cortante en el exterior del cuerpo del tornillo.....	55
Ecuación 11. El esfuerzo axial nominal.	55
Ecuación 12. Esfuerzo de apoyo en la rosca.	55
Ecuación 13. El esfuerzo flexionaste en la raíz de la rosca.	56
Ecuación 14. Área de la figura del cuerpo del tornillo.	57
Ecuación 15. Inercia de la figura del cuerpo del tornillo.....	58
Ecuación 16. Radio de giro.	58
Ecuación 17. Esbeltez del tornillo.	58
Ecuación 18. Esfuerzo de Euler.....	58
Ecuación 19. Pandeo inelástico.	59
Ecuación 20. Esfuerzo crítico.....	59
Ecuación 21. Pandeo máximo.	59
Ecuación 22. Momento en el volante.	61
Ecuación 23. Presión interna del tubo.	62
Ecuación 24. Esfuerzo radial.....	63
Ecuación 25. Esfuerzo tangencial.....	63
Ecuación 26. Valor máximo del esfuerzo en la superficie interior del cilindro.	64
Ecuación 27. Valor medio del esfuerzo circunferencial.....	64
Ecuación 28. Relación entre el máximo y medio esfuerzo.....	64
Ecuación 29. Esfuerzo cortante máximo.	64
Ecuación 30. Resistencia por conducción en la pared de la camisa.	65
Ecuación 31. Resistencia por convección el interior de la camisa.	66
Ecuación 32. Resistencia total.....	66
Ecuación 33. La razón de trasferencia de calor.	66

Ecuación 34. Calor necesario.	66
Ecuación 35. Potencia requerida para fundir cada carga de inyección.....	67
Ecuación 36. Masa total a inyectar.	75
Ecuación 37. Masa de la matriz.....	76
Ecuación 38. Masa del refuerzo.	76

Índice de anexos

Anexo 1. Mecanizado de la tapa tuerca de la camisa de inyección.....	100
Anexo 2. Fabricación de la rosca cuadrada.	100
Anexo 3. Realizando el escariado de la cilindro de inyección.	100
Anexo 4. Unión por soldadura del volante.	100
Anexo 5. Cilindro de inyección con sus soportes soldados.	101
Anexo 6. Molde inyectado con la probeta.	101
Anexo 7. Ensamblaje de la inyectora más estructura y molde.	101
Anexo 8. Probetas Inyectadas.	101

CÓDIGO DUBLÍN

Titulo:	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS FABRICADOS A PARTIR DE PLÁSTICO, VIDRIO Y ALUMINIO RECICLADOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE INYECCIÓN.						
Autores:	Quinto Ordoñez Luis Armando, Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto						
Palabras claves:	PEBD	Vidrio	Material	Prototipo	Probeta	Aluminio	Compuesto
F. publicación:							
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2019.						
Resumen:	Resumen. - El presente proyecto de investigación, se enfoca en la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados a partir de plástico, vidrio y aluminio reciclados mediante un prototipo de máquina de inyección, este estudio se realiza con el fin de crear un material compuesto a partir de estos desechos y que este en el futuro remplacen a los materiales de construcción tradicionales. Esta investigación tiene como objetivo estudiar la afinidad de estos materiales reciclados en formar un material compuesto a partir de una matriz de polietileno de baja densidad (PEBD), reforzadas con partículas de aluminio o vidrio. Se demostró con los resultados que al reforzar la matriz con partículas, sus propiedades mejoran al variar el tamaño y cantidad de las mismas, dando como resultado variaciones en la dureza, tensiones máximas, esfuerzos máximos y puntos de rotura. Estos se procesaron mediante un prototipo de máquina inyectora que fue diseñada y construida en la investigación para obtener probetas, realizar ensayos de tracción y dureza de acuerdo a las normas ASTM D-638 (tracción) y ASTM D-2240 (dureza) vigentes para evaluar sus propiedades mecánicas. Abstract. - This research project, focuses on the evaluation of the mechanical properties of composite materials manufactured from plastic, glass and aluminum recycled by a prototype injection machine, this study is carried out in order to create a composite material from these wastes and that this in the future replaces traditional building materials. This research aims to study the affinity of these recycled materials in forming a composite material from a low density polyethylene matrix (PEBD), reinforced with aluminum or glass particles. It was demonstrated with the results that by reinforcing the matrix with particles, its properties improve by varying the size and quantity of them, resulting in variations in hardness, maximum stresses, maximum stresses and breakpoints. These were processed using a prototype injector machine that was designed and built in the research to obtain specimens, perform tensile and hardness tests in accordance with ASTM D-638 (traction) and ASTM D-2240 (hardness) standards in place to evaluate their current mechanical properties.						
Descripción:	125 hojas: Dimensiones; 29 x 21 cm: CD-ROM						
URI:							

INTRODUCCIÓN

La inquietud por la relación entre el ser humano y el ambiente ha puesto la atención de muchos, en realizar un adecuado uso de los desechos plásticos reciclados, para así conservar el medio ecológico.

Desde hace muchos años, la elaboración y utilización de recipientes, ha aumentado de forma progresiva y exponencial dejando como resultado muchos desechos en el Ecuador, estos se aproximan a 1.400 millones de botellas plásticas, que es provocado por el consumo excesivo en productos que usan envases plásticos derivados del petróleo, que satisfacen las necesidades del ser humano y estos a su vez son desechos contaminantes que terminan por lo general en alcantarillas y ríos cercanos a las ciudades, encima, estos pueden tardar en degradarse entre 150 a 450 años, según su entorno.

El reciclaje de estos desechos, es una excelente opción para evitar que cada vez más elementos que usan este material, terminen en los vertederos, o peor, que lleguen a los océanos afectando el ecosistema marino.

Por ello, el presente trabajo investiga la afinidad de elaborar materiales compuestos a partir de desechos reciclados, brindando un nuevo método de reciclaje por medio de la reutilización del plástico, aluminio y vidrio; con los cuales, se procederá a la fabricación de un nuevo material, sometiéndolo a pruebas mecánicas. Y una vez analizados los resultados, se conocerá la mejora en las propiedades físico-mecánicas del material compuesto final con matriz polimérica a base de polietileno de baja densidad “PEBD”.

CAPITULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Debido a que hoy en día muy pocos se preocupan por la contaminación del ambiente, surge la necesidad de reusar el plástico “PEBD” ya que la elaboración de estos envases está basada en grandes cantidades de petróleo, requiriéndose 0.57 barriles para producir tan solo 1.000 de estos recipientes. Además, durante su producción se usan otras sustancias tóxicas, metales pesados, químicos y pigmentos que quedan en el aire y perjudicando silenciosamente la salud del ser humano y de los animales, su acelerada demanda de producción, provoca la sobrepoblación de estos recipientes desechables, contaminantes del ambiente que son producidos por el ser humano.

Las empresas utilizan el material polimérico para la elaboración de recipientes que son utilizados en los productos alimenticios, bebidas e incluso cosméticos, provocando un incremento del desecho plástico; El porcentaje reciclado en Ecuador es muy bajo respecto a los residuos que se producen en la actualidad, y aunque se reciclará la totalidad de estos, no se reduciría significativamente la producción, esto es debido a que el PEBD no puede ser fácilmente reutilizado en la fabricación de envases para bebidas o alimentos, existen varios procesos químicos como Pirolisis, Hidrogenación, Gasificación, Chemolysis y Metanólisis, mediante el cual se puede reutilizar los elementos mencionados, pero se requiere una gran inversión, por lo que muy pocas empresas lo han implementado.

Las sustancias contaminantes que produce el PEBD cuando es incinerado (monóxido de carbono, metales pesados, dioxinas, furanos, dióxido de carbono), puede provocar a las personas que están cerca del área ardor a los ojos, e incluso quienes lo inhalan directa o indirectamente, afecciones medicas tales como, dolores de cabeza, problemas respiratorios y náuseas. Por este motivo, no es recomendable quemar, ni botar los desechos plásticos, sino reutilizarlos.

1.1.1.1. Diagnóstico.

La ciudadanía al no gozar de una buena cultura del reciclaje desde casa, surge la obligación de contribuir al cuidado del ambiente por medio de la clasificación de desechos orgánicos, plásticos, metal y vidrio para poder reutilizarlos y, encima, en el Ecuador, al no contar con la suficiente información sobre los materiales compuestos, y con un sistema de reciclaje deficiente, aumenta la necesidad de realizar un estudio que evalúe la forma en que los materiales compuesto mejoran sus propiedades físico-mecánicas, al unirse con ciertos refuerzos, y crear objetos que estén hechos con materiales reciclados tales como los polímeros, aluminio y vidrio y crear bloques hechos a partir de estos materiales. Además, la forma de aumentar el reciclaje, ya que se remplazaría el mortero tradicional con el compuesto de matriz polimérica para la fabricación de bloques en el campo de la construcción.

1.1.1.2. Pronóstico.

Al realizar el estudio sobre PEBD y las mejoras físico-mecánicas de la matriz polimérica con sus refuerzos se fomentará el reciclaje en el ecuador y se efectuará el adecuado manejo de los desechos plásticos para que estos no terminen en rellenos sanitarios, ríos o el mar afectando nuestra ecología.

1.1.2. Formulación del problema.

Determinación de las propiedades mecánicas en el PEBD reforzado con partículas de aluminio o vidrio para la elaboración y sustitución de bloques en la construcción y con ello la disminución de la contaminación ambiental.

1.1.3. Sistematización del problema.

La siguiente investigación se evalúa las propiedades mecánicas del material compuesto con base de matriz polimérica a partir de una máquina inyectora, adicionando refuerzos. Se analizan las probetas sometidas a ensayos mecánicos.

- ¿Cómo se elabora un material compuesto en la actualidad?
- ¿Qué tipo de combinaciones se puede realizar con el PEBD para obtener un nuevo material?
- ¿Qué material es el más apropiado para alearlo con el PEBD?
- ¿Qué normas se debe aplicar, para realizar los ensayos?
- ¿Qué beneficios se obtendrán con los resultados de esta investigación?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

- Evaluar las propiedades mecánicas de materiales compuestos fabricados a partir de plástico, vidrio y aluminio reciclados mediante un prototipo de máquina de inyección.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Establecer mediante investigación bibliográfica las propiedades físico-mecánicas de los materiales reciclados y su afinidad para formar materiales compuestos.
- Realizar el análisis mecánico y transferencia de calor en el proceso de inyección del PEBD para la fabricación de materiales compuestos.
- Diseñar la estructura, sistema eléctrico y de control, del prototipo que permita la manufactura de los materiales reciclados.
- Construir el prototipo de máquina de inyección y puesta en marcha.
- Obtener en hojuelas el PEBD, con sus refuerzos (aluminio, vidrio), en partículas mediante triturado y abrasión respectivamente.
- Procesar los materiales reciclados, para formar compuestos mediante el prototipo con sus respectivas proporciones.
- Realizar las respectivas pruebas mecánicas (tracción, dureza) de los materiales compuestos.

1.3. Justificación.

Desde hace mucho tiempo se lleva a cabo el uso de polímeros, entre ellos uno de los más utilizados como el PEBD, mismo que sirve para la elaboración de recipientes para la distribución de diversas bebidas.

En la actualidad, los materiales como el PEBD, que es usualmente reforzarlo con fibra de vidrio o aluminio para formar compuestos, son los utilizados para la fabricación de piezas, siendo éstas usadas en numerosas aplicaciones industriales.

En ciertos aspectos, los compuestos son los materiales más interesantes de la ingeniería debido a que su estructura es más compleja que la de los demás tipos, obteniendo de ellos mayor fuerza o rigidez que el acero y el aluminio además de adquirir ligereza dependiendo del tipo de material con el cual se adhiere y se obtiene una mejora en sus propiedades.

Los materiales compuestos y sus refuerzos presentan en su estructura diferentes aspectos estos pueden ser fibras, partículas u hojuelas, dependiendo del tipo y tamaño del grano cristalográfico proporcionará una mejora en las propiedades físico-mecánicas.

Existen diversos métodos para procesarlos y adherirlos con su refuerzo (vidrio o aluminio), esta combinación ayuda a mejorar las propiedades del PEBD, entre ellos están los más comunes como es el moldeo a alta presión (ya sea extrusión, compresión e inyección) o el moldeo a baja presión (manualmente).

Por ende, el presente proyecto de investigación, considera el gran potencial que ofrecen los materiales compuestos, y dada la facilidad en nuestro medio de adquirir productos reciclados como PEBD, vidrio y aluminio, que pueden aprovecharse en las industrias, contribuyen con la posibilidad de elaborar bloques de mampostería con materiales compuestos de matriz polimérica para el remplazo de los materiales tradicionales, y motivar, a reutilizar los desechos que se encuentran en los vertederos.

Se espera encontrar una mejora en el material compuesto el cual permitirá que en el entorno de la ciudad de Quevedo reutilicen los desechos, para fabricar diversas piezas, con ello hacer

conocer la importancia del reciclaje y con esto contribuir a la reducción de la contaminación de nuestro medio.

Realizando pruebas en los materiales compuestos de matriz polimérica que confirmen la veracidad y tenacidad al momento de remplazar materiales como el mortero, ya que estos deben estar sometidos a diversos esfuerzos, entre ellos resalta principalmente el de tracción y dureza ya que prácticamente estos son los principales esfuerzos a los que están sometidos los bloques de mortero prefabricados usados en la mampostería.

CAPITULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Propiedades mecánicas.

Determina las reacciones a las que estará sometido un material frente a esfuerzos externos (Ductilidad, tenacidad, rigidez, etc.) que pueden ser determinados mediante ensayos mecánicos como tensión, compresión, flexión, impacto, torsión o fatiga [1].

2.1.2. Materiales compuestos.

Son materiales formados por más de un tipo de material, estos a su vez están diseñados para conseguir una mejora en sus propiedades y características que no se puede obtener con un material original. La mayor parte de los materiales que son producidos actualmente en la industria son compuestos [2].

2.1.3. Fabricación.

Es la acción de elaborar un objeto a partir de una materia prima en base a numerosos procesos para la obtención de un producto determinado [3].

2.1.4. Plástico.

Los plásticos son un gran grupo de materiales orgánicos que contienen como elemento principal el carbono, combinado con otros ingredientes como el hidrogeno, oxígeno y nitrógeno [4].

2.1.5. Vidrio.

El vidrio es un material duro, frágil y transparente que ordinariamente se obtiene por fusión a unos 1.500 °C de arena de sílice (SiO_2), carbonato sódico (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3) [5].

2.1.6. Aluminio.

El aluminio es el metal más versátil del mundo moderno y comercialmente puede encontrarse puro o aleado, en lingote o en polvos. Las piezas de aluminio obtenidas por metalurgia de polvos, denominada también pulvimetalurgia, pueden presentar como ventaja la eliminación de los problemas de segregación y la manufactura de formas complejas [6]

2.1.7. Reciclaje.

Es la cantidad de residuos que pueden ser recuperados y reutilizados para otro uso o el mismo, una variante es la utilización como materia prima total o parcialmente en la elaboración de: botellas de agua, bolsas de subproductos, vidrios, entre otros. Este se clasifica en reciclaje directo e indirecto [7].

2.1.8. Prototipo.

Es un objeto que sirve como referencia para futuros modelos en una misma cadena de producción. Un Prototipo es el primer dispositivo que se fabrica y del que se toman las ideas más relevantes para la construcción de otros diseños [8].

2.1.9. Máquina Inyectora.

De acuerdo con la norma DIN 24450 una inyectora es una máquina cuya tarea principal consiste en la fabricación discontinua de piezas a partir de masas de moldeo de elevado peso molecular, con la ayuda de presiones adecuadas [9].

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Polímeros.

La palabra **plásticos** se utilizó por primera vez como sustantivo en 1909 y suele emplearse como sinónimo de **polímeros**. Los plásticos son uno de los numerosos materiales poliméricos y tienen moléculas extremadamente grandes (macromoléculas o moléculas gigantes) [8].

La palabra plástico procede del griego *plastikos*, que significa “capaz de ser moldeado y formado”. Los plásticos se pueden formar, máquinar, fundir y unir en diversas formas con relativa facilidad. Se requieren operaciones mínimas adicionales de acabado superficial, si es que se necesita alguna; esta característica proporciona una ventaja importante sobre los metales [8].

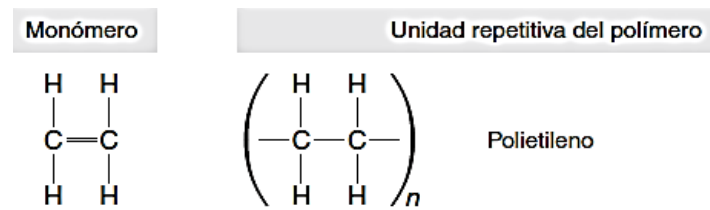
El desarrollo de la tecnología moderna de los plásticos se inició en la década de 1920, cuando las materias primas necesarias para fabricar polímeros se extrajeron de productos del carbón y del petróleo [8].

2.2.1.1. Estructura de los polímeros.

Las propiedades de los polímeros dependen en gran medida de las estructuras de sus moléculas individuales, la forma y el tamaño de la molécula, y cómo se arreglan para formar la estructura de un polímero [6].

Las moléculas de los polímeros se caracterizan por su gran tamaño, una característica que las distingue de la mayoría de las composiciones químicas orgánicas. Los polímeros son moléculas de cadena larga que se forman por polimerización (esto es, mediante el enlace y el enlace cruzado de diferentes monómeros). Un monómero es el elemento básico de un polímero. La palabra *mero* (del griego *meros*, que significa “parte”) indica la unidad repetitiva más pequeña; su uso es similar al del concepto celda unitaria en las estructuras cristalinas de los metales [6].

Figura. 1. Estructura molecular del polietileno.



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología.

Autor: Kalpakjian, Serope y Steven R. Schmid.

Estos son ejemplos de las unidades básicas de los plásticos [6].

El término polímero significa “muchos meros” (o unidades), por lo general repetidos cientos o miles de veces en una estructura similar a una cadena. La mayoría de los monómeros son materiales orgánicos en los que los átomos de carbono se unen mediante enlaces covalentes (compartiendo electrones) con otros átomos [6].

2.2.1.2. Polimerización.

Los monómeros se pueden unir como polímeros en unidades repetitivas para producir moléculas más y más largas mediante un proceso químico llamado reacción de polimerización [8].

2.2.1.3. Enlace.

Durante la polimerización, los monómeros se unen mediante enlaces covalentes formando una cadena del polímero. Debido a su resistencia, a los enlaces covalentes también se les llama enlaces primarios. A su vez, las cadenas de polímeros se mantienen unidas mediante enlaces secundarios, como los enlaces Van der Waals, de hidrógeno e iónicos [4].

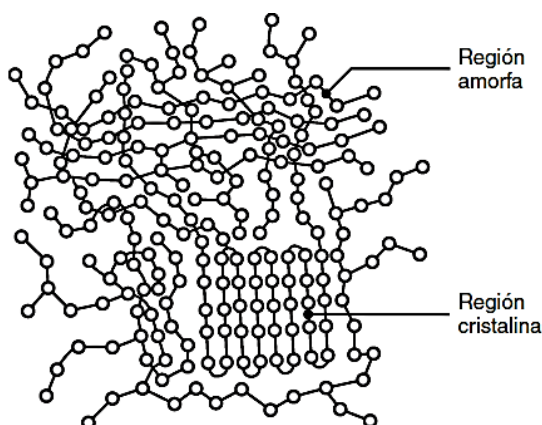
Los enlaces secundarios son más débiles que los primarios en uno o dos órdenes de magnitud. En un polímero determinado, el aumento de la resistencia y de la viscosidad con respecto a la del peso molecular se debe (en parte) al hecho de que, cuanto más larga sea la cadena del polímero, mayor será la energía necesaria para vencer la resistencia combinada de los enlaces secundarios [4].

2.2.1.4. Cristalinidad.

Los polímeros como el polimetilmetacrilato, el policarbonato y el poliestireno suelen ser amorfos; esto es, las cadenas de polímeros existen sin un patrón repetitivo de largo alcance. Se dice con frecuencia que el arreglo amorfo de las cadenas de los polímeros es como un plato de espagueti o como lombrices en una cubeta: todos enlazados unos con otros. Sin embargo, en ciertos polímeros es posible impartir alguna cristalinidad y, de esta manera, modificar sus características. Este arreglo se puede promover durante la síntesis del polímero, o por deformación durante su procesamiento subsecuente [8].

Se puede considerar un polímero parcialmente cristalino (semicristalino) como un material bifásico, con una fase cristalina y otra amorfa [8].

Figura. 2. Regiones amorfa y cristalina en un polímero.



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología.
Autor: Kalpakjian, Serope y Steven R. Schmid.

2.2.1.5. Efectos de la cristalinidad.

El grado de cristalinidad afecta en gran medida las propiedades mecánicas y físicas de los polímeros: a medida que la cristalinidad aumenta, los polímeros se vuelven más rígidos, más duros, menos dúctiles, más densos, menos flexibles, y más resistentes a los solventes y al calor [8].

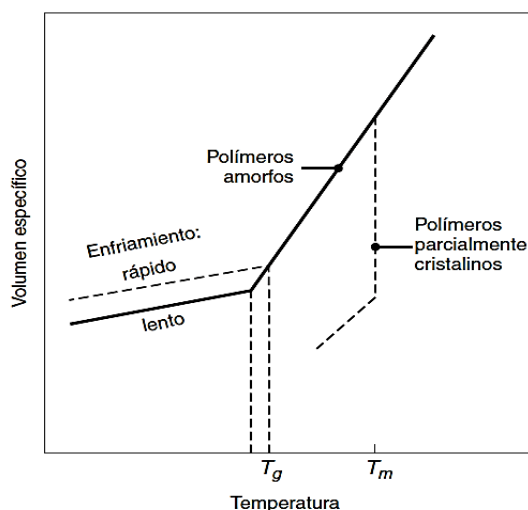
La reflexión de la luz en los límites entre las regiones cristalina y amorfa del polímero provoca opacidad [8].

2.2.1.6. Temperatura de transición vítrea.

Aunque los polímeros amorfos no tienen un punto de fusión específico, sufren un cambio claro en su comportamiento mecánico en un intervalo de temperatura muy reducido. A bajas temperaturas son duros, rígidos, frágiles y vítreos; a altas temperaturas son gomosos o correosos. La temperatura a la cual ocurre dicha transición se le llama temperatura de transición vítrea (T_g), también llamada punto vítreo o temperatura vítrea [8].

Para determinar la T_g se establece el volumen específico del polímero, se grafica contra la temperatura y queda marcado por un cambio abrupto en la pendiente de la curva (**Figura. 3**). En el caso de los polímeros fuertemente entrelazados, la pendiente de la curva cambia gradualmente cerca de T_g , de ahí que pueda ser difícil determinar T_g para estos polímeros. La temperatura de transición vítrea varía con diferentes polímeros (**Tabla 1** Temperaturas de transición vítrea y de fusión). Por ejemplo, en algunos polímeros la temperatura ambiente es superior a T_g , mientras que en otros es menor. A diferencia de los polímeros amorfos, los polímeros parcialmente cristalinos tienen un punto de fusión definido, T_m (**Figura. 3**) [8].

Figura. 3. Volumen específico de polímeros en función de la temperatura.



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología.

Autor: Kalpakjian, Serope y Steven R. Schmid.

Volumen específico de polímeros en función de la temperatura. Los polímeros; ver también la **Tabla 1** Temperaturas de transición vítrea y de fusión). Debido a los cambios estructurales que se presentan (cambios de primer orden), el volumen específico del polímero cae repentinamente al reducirse su temperatura [8].

Tabla 1. Temperaturas de transición vítrea y de fusión.

Material	Tg (°C)	Tm (°C)
Nailon 6,6	57	265
Policarbonato	150	265
Poliéster	73	265
Polietileno		
Alta densidad	-90	137
Baja densidad	-110	115
Polipropileno	-14	176
Poliestireno	100	239
Cloruro de polivinilo	87	112
Hule	-73	---

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología.

Autor: Kalpakjian, Serope y Steven R. Schmid.

2.2.1.7. Termoplásticos.

Conforme se eleva la temperatura por encima de la temperatura de transición vítrea (Tg) o del punto de fusión (Tm), algunos polímeros se vuelven más fáciles de formar o moldear. El incremento de temperatura debilita los enlaces secundarios (mediante vibración térmica de las moléculas largas), y las cadenas adyacentes pueden moverse entonces con más facilidad cuando se someten a fuerzas externas de formado. Cuando el polímero se enfría, regresa a su dureza y resistencia originales; en otras palabras, el proceso es reversible. A los polímeros que muestran este comportamiento se les llama termoplásticos (de los cuales son ejemplos comunes los acrílicos, celulósicos, nailon, polietilenos y el cloruro de polivinilo) [4].

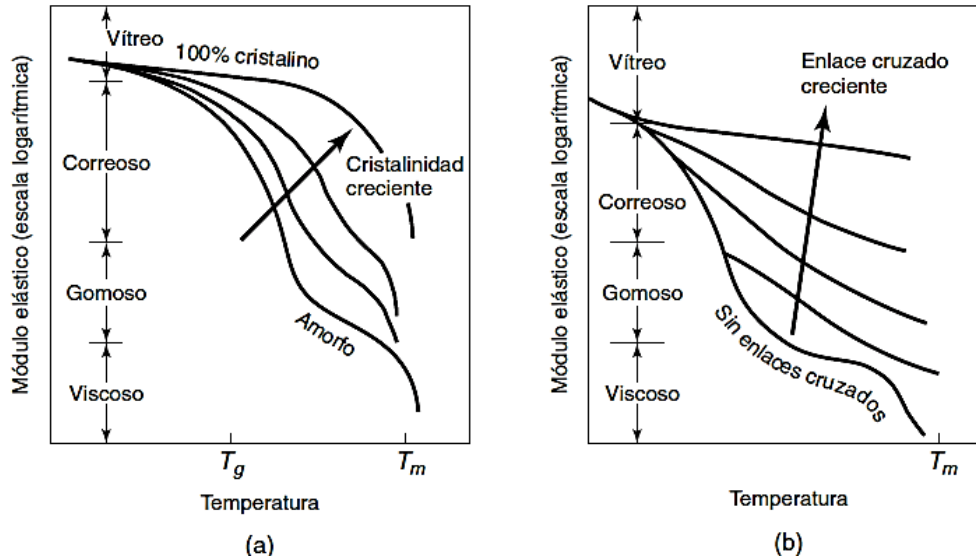
El comportamiento de los termoplásticos depende de otras variables, así como de su estructura y composición. Entre las más importantes están la temperatura y la velocidad de deformación. Por debajo de la temperatura de transición vítrea, la mayoría de los polímeros son vítreos (frágiles) y se comportan como un sólido elástico; esto es, la relación entre esfuerzo y deformación es lineal [4].

2.2.1.8. Efectos de la temperatura.

Si se eleva la temperatura de un termoplástico por arriba de su Tg, primero se vuelve correoso y después, al aumentar la temperatura, gomoso o con un comportamiento parecido al hule **Figura. 4**, finalmente, a temperaturas más elevadas (por ejemplo, arriba de Tm para

los termoplásticos cristalinos), se convierte en un fluido viscoso: su viscosidad disminuye al incrementarse la temperatura. A temperaturas aún mayores, la respuesta de un termoplástico puede asemejarse a la del helado [8].

Figura. 4. Comportamiento de los polímeros en función de la temperatura.



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología.

Autor: Kalpakjian, Serope y Steven R. Schmid.

(a) El grado de cristalinidad, y (b) Enlazamiento cruzado. Al comportamiento combinado elástico y viscoso de los polímeros se le conoce como viscoelasticidad [8].

Éste puede ser suavizado, moldeado, enfriado nuevamente, suavizado otra vez y moldeado en varias ocasiones. Sin embargo, en la práctica, el calentamiento y enfriamiento repetidos pueden provocar degradación, o envejecimiento térmico, de los termoplásticos [8].

El efecto típico de la temperatura sobre la resistencia y el módulo elástico de los termoplásticos es semejante al de los metales; al aumentar la temperatura, disminuyen la resistencia y el módulo de elasticidad y aumenta la tenacidad [8]

En la **Figura. 4** se muestra el efecto de la temperatura en la resistencia al impacto; obsérvese la gran diferencia en el comportamiento al impacto de diversos polímeros [8].

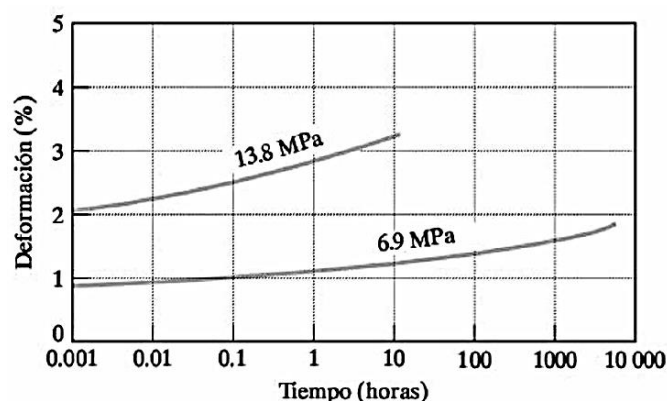
2.2.2. Comportamiento mecánico.

El comportamiento mecánico de los polímeros es más complicado que el de los metales, y sus características mecánicas (módulo elástico y resistencia a tracción) son netamente inferiores [10].

Como para el resto de los materiales, el ensayo de tracción proporciona una gráfica tensión-deformación. Pero, su comportamiento cambia mucho con la temperatura de ensayo (y con la velocidad de aplicación de carga), desde un comportamiento frágil y puramente elástico, con alargamientos a rotura del orden del 5 por ciento, a un comportamiento dúctil, con mucha deformación irreversible (plasticidad) y alargamientos del 100 por ciento o superiores. La temperatura vítrea de cada polímero marca la frontera entre uno y otro comportamiento. Ya se comentó que la T_g iba acompañada de una notable disminución del módulo elástico [10].

La gráfica de dicha figura da la respuesta del polímero en un ensayo mecánico de corta duración. Si una fuerza constante se mantiene aplicada durante un largo período (días), se observa que la deformación va aumentando progresivamente, de manera irreversible, sobre todo si el ensayo se hace a temperaturas relativamente altas, como se aprecia en la **Figura. 5** Este fenómeno de fluencia tiene lugar en todos los materiales, pero en los plásticos es apreciable incluso a temperatura ambiente, lo que exige tenerlo siempre en consideración [10].

Figura. 5. Curvas de fluencia de un Nylon 66, a 60°C y 50 por ciento HR.



Fuente: Introducción a la Ciencia de los Materiales.

Autor: James F. Shackelford.

En los termoplásticos amorfos, la fluencia a temperaturas superiores a su transición vítrea es tan exagerada que imposibilita su uso en esas condiciones. La fluencia en polímeros corresponde al lento deslizamiento de unas macromoléculas sobre otras, que modifica la posición de enlaces secundarios, provocando los cambios conformacionales que sean necesarios para ello [10].

2.2.3. Materiales compuestos.

Un material compuesto es un sistema de materiales compuesto por dos o más fases distintas físicamente cuya combinación produce propiedades agregadas diferentes de las de sus componentes. En ciertos aspectos, los compuestos son los materiales más interesantes de la ingeniería debido a que su estructura es más compleja que la de los demás tipos [11].

El interés tecnológico y comercial de los materiales compuestos proviene del hecho de que sus propiedades no sólo son distintas de las de sus componentes, sino que con frecuencia son mucho mejores [11].

2.2.3.1. Componentes de un material compuesto.

En la manifestación más sencilla de la definición presentada, un material compuesto consiste en dos fases: una primaria y otra secundaria. La fase primaria forma la matriz en la que se encuentra incrustada la fase secundaria. En ocasiones a la fase incrustada se le denomina como agente reforzador (o algún término similar), porque por lo general sirve para reforzar al compuesto. La fase reforzadora está en forma de fibras, partículas o algunas otras, como se verá. Generalmente, las fases son insolubles una en la otra, pero puede haber gran adhesividad en la interfaz [11].

La fase de la matriz es cualquiera de los tres tipos básicos de materiales: polímeros, metales o cerámicos. La fase secundaria también es uno de los tres materiales básicos, o un elemento como el carbono o el boro [11].

Tabla 2. Combinaciones posibles de materiales compuestos de dos constituyentes.

Fase secundaria refuerzo	Fase primaria		
	Metal	Cerámico	Polímero
Metal	Piezas con polvo metálico Infiltradas con un segundo metal	NA	Compuestos de plástico moldeado Llantas radiales con cinturones de acero
Cerámico	Cermets	Al ₂ O ₃ refuerzo con filamentos de SiC	Compuestos de plástico moldeado Plástico reforzado con fibras de vidrio
Polímero	Piezas con polvo metálico Impregnadas con polímero	NA	Compuesto de plástico moldeado Epóxico reforzado con Kevlar
Cementos (C, B)	Metales reforzados con fibras	NA	Caucho con negro de humo Pastico reforzado con fibra B o C

NA = no se aplica actualmente

Fuente: Fundamentos de manufactura moderna.

Autor: Groover, Mikell P.

Las combinaciones posibles en un material compuesto por dos constituyentes pueden organizarse en arreglo de 3×4 . Se observa que ciertas combinaciones no son factibles, como la de un polímero en una matriz cerámica. También se ve que las posibilidades incluyen dos estructuras de fase que consisten en componentes del mismo tipo de material, como fibras de Kevlar (polímero) en una matriz de plástico (polímero). En otros compuestos, el material incrustado es un elemento como el carbono o el boro [11].

Figura. 6. Formas físicas posibles de las fases incrustadas: a) fibra, b) partícula y c) hojuela.

Fuente: Fundamentos de manufactura moderna.

Autor: Groover, Mikell P.

El material de la matriz desempeña varias funciones en el compuesto. En primer lugar, proporciona la forma general de la pieza o producto hecho del material compuesto. En segundo, mantiene la fase incrustada en su lugar, por lo general la encierra y con frecuencia la oculta. En tercer lugar, cuando se aplica una carga, la matriz comparte la carga con la fase

secundaria, y en ciertos casos se deforma de modo que la fuerza la soporta en esencia el agente reforzador [11].

2.2.3.2. La fase de reforzamiento.

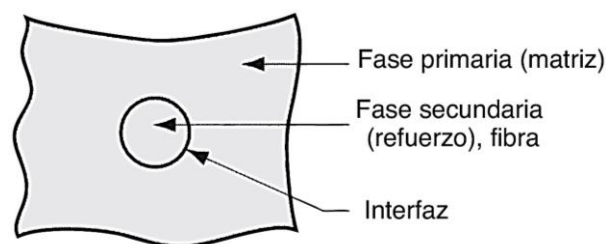
Es importante entender que el papel jugado por la fase secundaria es reforzar a la primaria. Lo más común es que la fase incrustada tenga una de las formas que se ilustran en la: **Figura. 6**, partículas u hojuelas. Además, la fase secundaria adopta la forma de una fase infiltrada en una matriz porosa o de esqueleto [11].

2.2.3.3. Partícula.

La segunda forma común de la fase incrustada es la de partículas, cuyo tamaño varía entre microscópico y macroscópico. Las partículas son un material importante para los metales y cerámicos [11].

La distribución de las partículas en la matriz del compuesto es al azar, y por ello la resistencia y otras propiedades del material por lo general son isotrópicas. El mecanismo para dar resistencia depende del tamaño de las partículas. El tamaño microscópico está representado por polvos muy finos (alrededor de $1\ \mu\text{m}$) distribuidos en la matriz en concentraciones de 15% o menos. La presencia de estos polvos da como resultado la dispersión de la dureza de la matriz, en la que el movimiento de dislocación en el material de la matriz está restringido por las partículas microscópicas. En efecto, es la matriz misma la que aumenta su resistencia y ninguna porción significativa de la carga que se aplica es soportada por las partículas [11].

Figura. 7. Uniones e interfaces entre las fases de un material compuesto: enlace directo entre las fases primaria y secundaria.



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna.

Autor: Groover, Mikell P.

Conforme el tamaño de las partículas aumenta al rango macroscópico, y la proporción del material incrustada se incrementa a 25% o más, el mecanismo de fortalecimiento cambia. En este caso, la carga aplicada la comparten la matriz y la fase incrustada. El aumento de la resistencia ocurre debido a la capacidad de carga de las partículas y a las uniones de las partículas en la matriz [11].

2.2.3.4. Propiedades de los materiales compuestos.

Las propiedades de un material compuesto están determinadas por tres factores: 1) los materiales que se emplean como fases constituyentes en el compuesto, 2) formas geométricas de los constituyentes y estructura resultante del sistema compuesto y 3) la manera en que las fases interactúan una con otra [11].

Regla de las mezclas Las propiedades de un material compuesto son función de los materiales de inicio. Ciertas propiedades de un material compuesto se calculan por medio de la regla de las mezclas, que involucra el cálculo de un promedio ponderado de las propiedades del material constitutivo. Un ejemplo de esta regla del promedio es la densidad. La masa de un material compuesto es la suma de las masas de las fases de la matriz y el refuerzo [11].

2.2.3.5. PEBD.

Tabla 3. Propiedades del PEBD.

Nombre, Unidad repetitiva	Estado	Densidad (g/cm ³)	Tg (°C)	Tm (°C)	Conductividad térmica (W/m.K)	Módulo de elasticidad (GPa)
Termoplásticos						
Polímero	Alta densidad 70-80% cristalino	0,952-0,956	-90	130-137	0,48	1
	Baja densidad 40-50% cristalino	0,917-0,932	-110	98-115	0,33	0,25

Fuente: Introducción a la Ciencias e Ingeniería de los Materiales

Autor: Willian D. Callister Jr.

Las características que hacen tan atractivo al polietileno como material de ingeniería son: bajo costo, pasividad química. Se encuentra disponible en varios grados, los más comunes

son el PEBD y el polietileno de alta densidad PEAD. El de baja densidad es un polímero **Tabla 3**, altamente ramificado con baja cristalinidad y densidad. Sus aplicaciones incluyen hojas, películas y aislamiento para alambres [12].

2.2.4. Aluminio.

Se puede decir que el aluminio es el metal de nuestro siglo. A 70 años de iniciarse su utilización industrial solamente el hierro tiene una importancia mayor. Se lo emplea en utensilios domésticos, en envases, en diversos vehículos, en aviación, en arquitectura (carpintería de obras), etc [13].

Tiene unas altas conductividades térmica y eléctrica ya que es mucho más ligero y menos caro que el cobre, podría ser efectivamente el metal de elección en líneas de conducción eléctrica a grandes distancias [14].

El aluminio tiene estructura cúbica centrada en las caras y es dúctil incluso a temperatura ambiente. La principal limitación del aluminio es la baja temperatura de fusión (660°C), que restringe su campo de aplicación. La resistencia mecánica del aluminio se logra por acritud y por aleación; sin embargo, ambos procesos disminuyen la resistencia a la corrosión [2].

Tabla 4. Propiedades del Aluminio.

Propiedades del Aluminio	
Punto de fusión	660 °C
Densidad	2, 7 g/cm ³
Módulo de Young (E)	66,6 Gpa
Dureza	15 a 120 HV
Resistencia a la Compresión	50-90 Mpa

Fuente: Introducción a la química inorgánica.

Autor: Odetti, Héctor; Bottani, Eduardo.

2.2.5. Vidrio.

El término vidrio es algo confuso porque describe tanto un estado de la materia como un tipo de cerámico. Como estado de la materia, se refiere a una estructura amorfa, no cristalina, de un material sólido. El estado vítreo ocurre en un material al que no se da tiempo suficiente

para que al enfriarse a partir de la condición de fundido se forme la estructura cristalina. Se concluye que las tres categorías de los materiales de ingeniería (metales, cerámicos y polímeros) pueden adoptar el estado vítreo, aunque las circunstancias de los metales para ello son muy raras [11].

2.2.5.1. Propiedades Mecánicas del vidrio.

Los materiales cerámicos son rígidos y frágiles, muestran un comportamiento esfuerzo-deformación caracterizado como perfectamente elástico. Como se observa en la **Tabla 5**, los módulos de dureza y elasticidad de muchos materiales cerámicos nuevos son mayores que los de los metales. La rigidez y dureza de los cerámicos y vidrios tradicionales son significativamente menores que las de los nuevos [11].

Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas seleccionadas de materiales cerámicos.

Material	Dureza (Vickers)	Módulo de elasticidad, E	
		Gpa	(lb/in²)
Cerámicos tradicionales			
Ladrillos-barro cocido	NA	95	14x10 ⁶
Cemento, Portland	NA	50	7x10 ⁶
Carburo de silicio (SiC)	2600 HV	460	68x10 ⁶
Cerámicos nuevos			
Alúmina (Al ₂ O ₃)	1200 HV	345	50x10 ⁶
Carburo de titanio (TiC)	3200 HV	300	45x10 ⁶
Vidrio			
Vidrio de sílice (SiO ₂)	500 HV	68	10x10 ⁶

NA= No se aplica actualmente.

Fuente: Fundamentos de manufactura moderna.

Autor: Groover, Mikell P.

En teoría, la resistencia de los materiales cerámicos debiera ser más alta que la de los metales debido a su enlace atómico. Los tipos de enlace covalente e iónico son más fuertes que el metálico. Sin embargo, el enlace metálico tiene la ventaja de que permite el deslizamiento, mecanismo básico por el que los metales se deforman plásticamente cuando se les sujeta a esfuerzos elevados. Los enlaces en los materiales cerámicos son más rígidos y no permiten el deslizamiento ante esfuerzos. Su incapacidad para deslizarse hace mucho más difícil que los cerámicos absorban esfuerzos [11].

Las debilidades que limitan la resistencia a la tensión de los materiales cerámicos casi no se presentan cuando se aplican esfuerzos compresivos. Los materiales cerámicos son sustancialmente más fuertes ante la compresión que ante la tensión [11].

2.2.5.2. Química y Propiedades del Vidrio.

El ingrediente principal en virtualmente todos los vidrios es la sílice (SiO_2), que se encuentra en forma común como cuarzo mineral en las areniscas y arenas sílicas. El cuarzo está presente en forma natural como sustancia cristalina, pero cuando se funde y luego se enfría, forma sílice vítreo. El vidrio de sílice tiene un coeficiente de expansión térmica muy bajo, y por ello es muy resistente al choque térmico. Estas propiedades son ideales para aplicaciones de temperaturas elevadas [11].

La razón de que en esos compuestos se utilice tanto el SiO_2 es porque es el mejor formador de vidrio. Se transforma de manera natural en estado vítreo cuando se enfría desde el líquido, en tanto que la mayoría de los materiales cerámicos se cristalizan al solidificarse. En la **Tabla 6** se enlistan las composiciones químicas frecuentes de ciertos vidrios comunes [11].

Tabla 6. Composiciones comunes de productos de vidrio seleccionados.

Producto	Composición química (en peso, al % más cercano)						
	SiO_2	Na_2O	CaO	Al_2O_3	MgO	K_2O	B_2O_3
Vidrio de cal y sosa	71	14	13	2			
Vidrio para ventana	72	15	8	1	4		
Vidrio para envases	72	13	10	2 ^a	2	1	
Vidrio para focos	73	17	15	1	4		
Vidrio de laboratorio:							
Vycor	96			1			3
Pyrex	81	4		2			13
Vidrio E (fibras)	54	1	17	15	4		9

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna.

Autor: Groover, Mikell P.

Los ingredientes adicionales están contenidos en una solución sólida con SiO_2 , y cada uno tiene una función: 1) actuar como fundente (facilita la fundición) durante el calentamiento; 2) incrementar la fluidez del vidrio fundido para su procesamiento; 3) retardar la desvitricación, es decir, la tendencia a cristalizar desde el estado vítreo; 4) reducir la expansión térmica del producto final; 5) mejorar la resistencia química contra el ataque de

ácidos, sustancias básicas o agua; 6) agregar color al vidrio, y 7) alterar el índice de refracción para aplicaciones ópticas (por ejemplo, lentes) [11].

2.2.6. Reciclaje.

2.2.6.1. Reciclaje del plástico.

Uno de nuestros mayores problemas ambientales es el aumento de desechos sólidos. El 20% de ellos pertenece a los plásticos de empaque, es por esto que se ha creado un sistema de códigos en el cual los envases tienen unas formas triangulares, compuestas de 3 flechas, con un número específico en el centro que indica el material de que están hechas las botellas. Este sistema nos permite a simple vista, saber de qué plástico está hecha cada botella y así hacer más fácil la separación para el reciclaje [15].

Los símbolos usados en este sistema de separación son los siguientes:

Figura. 8. Simbología de los tipos de plásticos.

	Simbología del reciclaje en general
	PETE=Tereftalato de polietileno
	HDPE=Polietileno de alta densidad
	PVC=Cloruro de polivinilo
	LDPE=Polietileno de baja densidad
	PP=Polipropileno
	PS=Poliestireno
	OTROS=otras resinas

Fuente: El abc de los plásticos.

Autor: Alvarez, Maria Lauro Comish.

El reciclaje ha sido practicado rutinariamente dentro de la industria procesadora de plásticos durante muchas décadas y es muy importante, porque los materiales son aprovechados nuevamente, los costos disminuyen, y sobretodo es bueno para el cuidado del medio [15].

2.2.6.2. Reciclaje del Vidrio.

El vidrio es un material totalmente reciclable, y no existe un límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado sin que pierda sus propiedades [16].

Para su adecuado reciclaje, el vidrio es separado y clasificado según su tipo que, generalmente, viene determinado por su color. Generalmente, se divide en tres grupos: verde, ámbar o café y transparente [16].

El proceso de gestión posterior a la clasificación requiere una separación inicial de todo el material ajeno, como son las tapas metálicas o las etiquetas [16].

Un reciclaje de calidad da lugar a muchos beneficios ambientales. Según Ecovidrio, el reciclaje de 3.000 botellas ahorra más de una tonelada de materias primas. De hecho, el reciclaje de vidrio permite un cierre de ciclo que da lugar a nuevos productos fabricados con el mismo, en sustitución de las materias primas minerales y evitando la destrucción de terrenos para su extracción [16].

El reciclaje de vidrio permite, además, el ahorro del 23% de la energía consumida en la fabricación de envases, y un 20% de la contaminación del aire, ya que se quema menos combustible [16].

2.2.6.3. Reciclaje del Aluminio.

La industria del aluminio, es tan necesaria, pero emiten ciertas cantidades de gases, como el dióxido de carbono que afecta al aumento del efecto invernadero, perjudicial para el medio ambiente, al igual que otros gases tóxicos. No obstante, se pueden reducir estos efectos, mediante el Reciclaje del Aluminio, otorgándole una segunda vida [17].

Como dato, se expone que para necesitar una tonelada de aluminio para fabricar varios productos derivados del mismo se necesitan cuatro toneladas de bauxita. Es inimaginable el esfuerzo y el coste que esto requiere, por no hablar de la contaminación inevitable que se produce en la industria mediante dichos procesos [17].

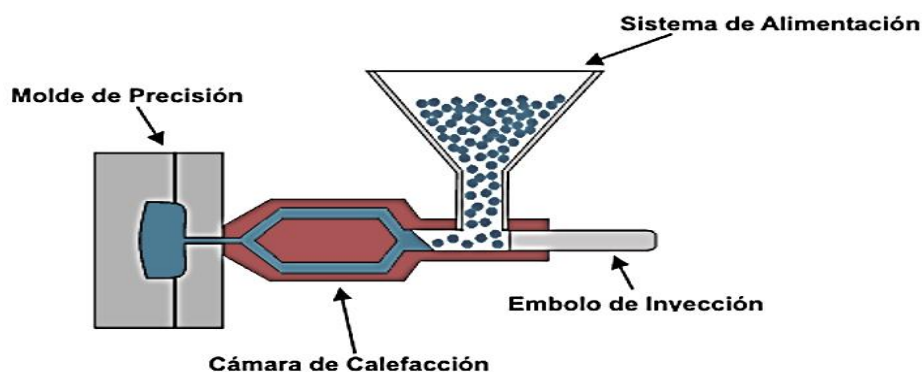
Además de lo expuesto anteriormente, reciclar aluminio hace ahorrar el 95% de energía que se necesita en los procesos de extracción a partir de la bauxita. Con todo lo que puede hacerse utilizando esa energía, el consumo de petróleo que se ahorraría. Se está hablando de un proceso de ahorro energético y disminución de la contaminación global [17].

2.2.7. Procesamiento de los materiales.

Consiste en dar las formas y medidas deseadas a un plástico por medio de un molde. El molde es una pieza hueca en la que se vierte el plástico fundido para que adquiera su forma.

Inyección: Los termoplásticos que se calientan por encima de la temperatura de fusión pueden ser forzados a entrar en un molde cerrado para producir una pieza. Este proceso es similar al moldeo por fundición a presión de los metales. Un émbolo o algún mecanismo especial de tornillo aplican presión para obligar al polímero caliente a entrar en el dado. Una amplia variedad de productos, como vasos, peines, engranes y botes de basura se pueden producir de esta manera [18].

Figura. 9. Moldeo por inyección.



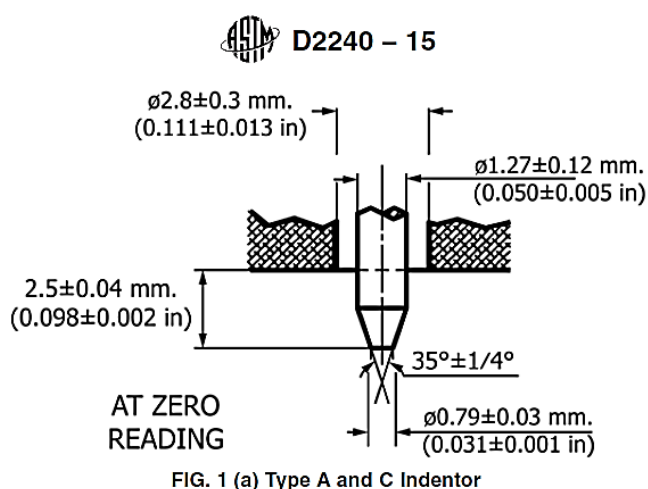
Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales.
Autor: Donald R. Askeland.

2.2.8. Generalidades de los ensayos de dureza.

Existen diferentes métodos para la determinación de la dureza, destacando entre ellos el de presión de la bola que se aplica tanto a materiales termoplásticos como a termoestables; el Shore cuya aplicación fundamental se lleva a cabo sobre termoplásticos blandos y elastómeros [19].

Las condiciones del ensayo corresponden a un penetrador de tipo bola en el extremo, de diámetro 5 mm, y cargas de ensayo de 49 N, 132 N, 358 N y 961 N (DIN) y una precarga de 9,8 N. La dureza del plástico se determina midiendo la altura de la huella una vez aplicada la carga durante 30 s, realizándose 10 ensayos sobre la probeta, previamente preparada por los procedimientos habituales (prensado, inyección o mecanizado) y con espesores superiores a 4mm. La evaluación del ensayo se realiza siguiendo tablas de dureza recogidas en las normas [19].

Figura. 10. Indentador tipo A y C.



Fuente: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D2240>

Autor: ASTM Internacional.

La dureza Shore se aplica a plásticos blandos, utilizando dos tipos de geometría del penetrador: troncocónico (Shore A) para plásticos muy blandos como es el PVC plastificado que no pueden medirse mediante presión de la bola, y tipo de punzón (Shore D) para plásticos más duros, con cargas de 12,5 N y 50 N, midiéndose la dureza a los 3 s de aplicar la carga. Cuando se determina la dureza Shore en plásticos muy blandos los espesores de las probetas deben ser superiores a 6 mm, mientras que cuando son duros es suficiente con 3mm.

La evaluación de la dureza Shore se lee directamente en el durómetro expresándose en unidades Shore A o D [19].

2.2.9. Norma ASTM D2240 para ensayos de dureza en materiales plásticos.

Alcance la norma:

Este método de prueba cubre doce tipos de dispositivos de medición de la dureza del caucho conocidos como durómetros: tipos A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S y R. El procedimiento para determinar la dureza de la muesca de sustancias clasificadas como elastómeros termoplásticos, caucho vulcanizado (termoestable), materiales elastoméricos, materiales celulares, materiales tipo gel y algunos plásticos también se describen [20].

- Este método de prueba no es equivalente a otros métodos de dureza de indentación y tipos de instrumentos, específicamente los descritos en el Método de prueba D1415 [20].
- Este método de prueba no es aplicable a la prueba de telas recubiertas [20].
- Todos los materiales, instrumentos o equipos utilizados para la determinación de masa, fuerza o dimensión tendrán rastreabilidad al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, u otras organizaciones reconocidas internacionalmente de naturaleza paralela [20].
- Los valores declarados en unidades SI deben considerarse estándar. Los valores entre paréntesis son sólo para información. Muchas de las dimensiones indicadas en el SI son conversiones directas del Sistema Consuetudinario de los EE. UU. Para adaptarse a la instrumentación, prácticas y procedimientos que existían antes de la Ley de Conversión Métrica de 1975 [20].
- Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas adecuadas

de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso [20].

2.2.10. Generalidades de los ensayos de tracción.

Puede considerarse el ensayo a tracción como uno de los más importantes ensayos mecánicos dada la gran información que suministra [19].

En este ensayo, las características del material se determinan mediante la aplicación de un esfuerzo uniaxial a lo largo de toda la sección de la probeta del polímero a caracterizar, de manera que esta se aplica de forma homogénea a toda su sección hasta alcanzar la rotura [19].

El resultado del ensayo es una curva tensión-deformación característica del material, de la que se obtiene la información deseada a través de los diferentes parámetros del ensayo [19].

El ensayo de tracción se realiza, fundamentalmente, en termoplásticos, termoestables y plásticos reforzados con fibras (materiales compuestos de matriz polimérica) [19].

Se deben preparar al menos cinco probetas del mismo material para el ensayo, aunque en el caso de materiales anisótropos se preparan cinco probetas de dos direcciones perpendiculares entre sí. Es conveniente mantener las probetas en condiciones ambientales estables según la especificación de la norma seguida en el ensayo [19].

2.2.11. Norma ASTM D638 para tracción en plásticos.

Alcance de la norma:

Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos no reforzados y reforzados en forma de muestras de prueba con forma de mancuerna estándar cuando se prueba en condiciones definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina de prueba [21].

- Este método de prueba se puede utilizar para probar materiales en espesores de hasta 14 mm [0.55 pulg.]. Sin embargo, para analizar muestras en forma de láminas finas, que incluyen una película de menos de 1.0 mm [0.04 pulg.] De espesor, los Métodos de prueba D 882 son el método de prueba preferido. Los materiales con un espesor superior a 14 mm [0.55 pulg.] Deben reducirse mediante el mecanizado [21].
- Este método de prueba incluye la opción de determinar la relación de Poisson a temperatura ambiente [21].

NOTA 1: Este método de prueba y la norma ISO 527-1 son técnicamente equivalentes [21].

NOTA 2: Este método de prueba no pretende cubrir procedimientos físicos precisos [21].

Se reconoce que el tipo de prueba de velocidad constante de la cruceta deja mucho que desear desde un punto de vista teórico, que pueden existir grandes diferencias entre la velocidad de movimiento de la cruceta y la velocidad de tensión entre las marcas de calibre en la muestra, y que las velocidades de prueba especificadas [21].

Disimular los efectos importantes característicos de los materiales en estado plástico. Además, se observa que las variaciones en el grosor de las muestras de prueba, que están permitidas por estos procedimientos, producen variaciones en las relaciones de volumen de la superficie de dichas muestras, y que estas variaciones pueden influir en los resultados de la prueba. Por lo tanto, donde se desean resultados directamente comparables, todas las muestras deben ser del mismo espesor. Se deben utilizar pruebas adicionales especiales cuando se necesitan datos físicos más precisos [21].

2.2.12. Consideraciones de diseño.

En las diferentes etapas del proceso de diseño, después de cada despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación de las mismas que sirva de base para la posterior toma de decisiones. Estas evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, sino que se deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo

implican juicios de valor. Para tomar una decisión siempre deben estar presentes los dos elementos siguientes: [22].

Alternativas. Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas (lo más adecuado es entre 3 y 6) cuyas características deben ser diferentes [22].

Criterios. Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas. Dado que en todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios [22].

CAPITULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Localización.

El siguiente proyecto investigativo se desarrolla para implantarlo en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicada en Av. Carlos J. Arosemena 38, del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, que se encuentra ubicada en la zona 5, este representa el 4,2 % del territorio ecuatoriano (aproximadamente 0.3 mil Km²).

- ✓ Latitud: 1°01'43" S
- ✓ Longitud: 49°27'48"
- ✓ Altitud sobre el nivel del mar: 51m

Figura. 11. Ubicación del Cantón Quevedo en la zona 5.



Fuente: Secretaría Nacional de Planificación y desarrollo.
Autor: SENPLADES.

Figura. 12. Ubicación geográfica del Catón Quevedo.



Fuente: Google Maps.
Autor: <https://www.google.com.ec/maps/place/Quevedo>.

1.2. Tipo de investigación.

1.2.1. Investigación exploratoria.

En el siguiente trabajo de investigación se emplea el método exploratorio debido a que el tema propuesto no cuenta con información relevante, permitiendo a través del mismo determinar las variables de la problemática e importancia de esta información, y así contribuir con una solución para la necesidad de este proyecto.

1.2.2. Investigación de campo.

Esta investigación es necesaria para elaborar el proyecto, ya que por medio de él se recauda datos que permitan buscar una solución viable a la problemática para la elaboración de un material compuesto a partir de desechos plástico, vidrio, aluminio.

1.3. Métodos de Investigación.

Esta nos permite identificar los estudios y procesos, mediante el uso de fuentes de carácter documental y teórica, considerando investigaciones con respecto a la manipulación de los desechos plástico, aluminio, vidrio y su reutilización para elaborar materiales compuestos.

1.3.3. Investigación Bibliográfica.

Esta nos permite identificar los estudios y procesos mediante el uso de fuentes de carácter documental y teórica, considerando investigaciones con respecto a la manipulación de los desechos plástico (PEBD) y su reutilización para elaborar materiales compuestos, realizar pruebas de ensayo en probetas y utilizar el material en varias aplicaciones.

1.3.4. Investigación Aplicada.

Con el objetivo de elaborar este proyecto de investigación se procede aplicando los conocimientos adquiridos en la carrera, dirigidos al análisis de las propiedades físico-

mecánicas y su afinidad para formar materiales compuestos, con base PEBD y sus refuerzos, elaborando probetas para sus respectivos ensayos.

1.3.5. Método Deductivo.

Aplicando los conocimientos obtenidos de las investigaciones previas, y de estudios académicos sobre los plásticos, determinar las proporciones de sus refuerzos aluminio y vidrio para mejorar las propiedades mecánicas al elaborar materiales compuestos.

1.3.6. Método Inductivo.

Observando las diferentes formas de reutilización del plástico con matriz polimérica, y fabricación de materiales compuestos, para seleccionar la mejor opción del elemento aleado, y así obtener mejoras en sus propiedades físico - mecánicas de los materiales.

1.3.7. Método Experimental.

Una vez obtenidas las probetas, siguiendo las normas internacionales vigentes, e identificando las máquinas para ensayos de dureza, tracción se procede a la relación funcional de las respectivas variables que permitirán identificar las propiedades físico - mecánica del material compuesto resultante.

1.3.8. Método Analítico.

Este método contribuye en el procesamiento de los datos e información que nos permita el análisis funcional de las variables a partir de los ensayos realizados, permitiendo examinar las diferentes formas de reutilizar el plástico en la fabricación de material compuesto.

1.4. Fuentes de recopilación de información.

Para esta investigación se obtuvo información relevante que contribuya a la ejecución de este proyecto como artículos científicos, libros, revistas, páginas web entre otros.

1.5. Instrumentos de investigación.

Se efectúan procedimientos experimentales que permitan determinar los diferentes parámetros que se aplicara en la adecuada selección de los materiales para alearlo y con ello obtener un nuevo compuesto.

1.6. Recursos humanos y materiales.

1.6.9. Recursos humanos.

Para el análisis, desarrollo y estudio de la investigación para la elaboración de un nuevo compuesto utilizando matriz polimérica el LD-PE, se cuenta con el apoyo de:

- Docentes.
 - ✓ FCI de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Autores.
 - ✓ Quinto Ordoñez Luis Armando.
 - ✓ Sarabia Peñafiel Jonathan Roberto.
- Director de Tesis.
 - ✓ Ing. Arellano Ortiz Gabriel Alejandro MSc.

1.6.10. Recursos materiales.

Tangibles:

- Computadoras.
- Impresora.
- Libros.
- Calculadora.
- Flash memory.
- Lápiz – Esferos – Borrador – Hojas de papel von A4.
- PEBD.
- Vidrio.

- Aluminio.
- Fresadora Universal.
- Torno.
- Cortadora por chorro agua.
- Soldadora.
- Cámara fotográfica.
- Balanza digital.
- Resistencia eléctrica de 220W.
- Micrómetro.
- Calibrador pie de rey.
- Alicata.
- Sierra.
- Termocupla.
- Breaker.
- Contactor.
- Estilete.
- Destornilladores.

No tangibles:

- Internet.
- Software de Diseño (CAD) 3D SolidWorks y Autocad.
- Software Utilitario (Word, Excel, PowerPoint).

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.7. Resultados y Discusión.

1.7.11. Ponderación del diseño.

El diseño de un prototipo de máquina inyectora, consiste básicamente en establecer los parámetros inherentes al proceso de inyección del material en un molde con una geometría definida.

1.7.11.1. Requerimiento que se debe tener en cuenta en el diseño.

Tenemos que cumplir ciertos requerimientos para el prototipo de máquina inyectora por el hecho que se lo utilizara para inyectar un material con partículas de refuerzos.

- Debe contar con las seguridades necesarias para evitar quemaduras.
- Debe ser de fácil manipulación y limpieza para poder ejecutar un mejor desempeño.
- Debe ser un diseño económico y funcional.

Se requiere que el prototipo alcance una temperatura promedio entre 161 °C a 200 °C para el óptimo proceso de inyección y permita la fluidez del PEBD.

1.7.11.2. Criterios de ponderación.

Los criterios de evaluación utilizados para seleccionar la mejor alternativa son los siguientes a continuación:

- **Desmontaje y montaje:** El prototipo debe cumplir con este requisito para un excelente manejo y sustitución de piezas.
- **Fácil operación:** Es de suma importancia ya que de esto depende con la facilidad de acceder a todas las funciones de la máquina por parte del operador.
- **Fácil limpieza:** La fácil eliminación de los remanentes de la inyección en el prototipo es de mucha importancia.
- **Peso:** El peso de la máquina es un factor a considerarse porque al ser una máquina manual, el peso no debe ser exagerado.

- **Ergonomía:** Tiene que brindar al operador, disposición y comodidad al utilizar la máquina, y no inducir enfermedades laborales a largo plazo.
- **Fácil traslado:** Un prototipo tiene que ser de fácil traslado para exhibir su funcionamiento.
- **Mantenimiento:** Se tiene que considerar el mantenimiento y remplazo fácil de las piezas, para incrementar los beneficios de la máquina.

1.7.12. Ponderación de los criterios de evaluación.

El estudio y análisis de los criterios ponderados permiten determinar e identificar las ventajas, desventajas y bondades que brinda una propuesta, en base a varios parámetros que se consideran en el diseño de una máquina en este caso se consideró los siguientes: desmontaje y montaje, fácil operación, fácil limpieza, peso, ergonomía, fácil traslado, mantenimiento.

Tabla 7. Evaluación de peso específico de cada criterio.

Criterio	Desmontaje y Montaje	Fácil Operación	Fácil Limpieza	Peso	Ergonomía	Fácil Traslado	Mantenimiento	Sumatoria + 1	Ponderada
Desmontaje y Montaje		0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	4,50	0,16
Fácil Operación	0,50		1,00	0,00	1,00	1,00	0,50	5,00	0,18
Fácil Limpieza	0,50	0,00		0,50	0,50	0,50	0,50	3,50	0,13
Peso	0,50	1,00	0,50		0,50	0,50	1,00	5,00	0,18
Ergonomía	0,00	0,00	0,50	0,50		0,50	0,50	3,00	0,11
Fácil Traslado	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50		0,50	3,50	0,12
Mantenimiento	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50		3,50	0,12
							Suma	28,00	1

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Su asignación de valores se cumplió con los siguientes requisitos:

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

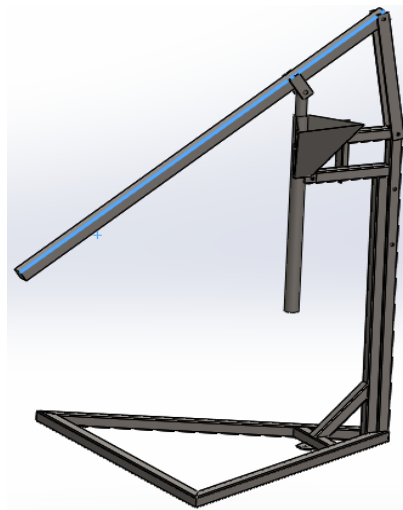
1.7.13. Selección de alternativas de diseño.

1.7.13.1. Alternativa A Inyectora de Palanca.

Descripciones Generales: El mecanismo consta con su estructura, una camisa de inyección que está sujeta a ella, tiene una palanca que es la encargada de empujar el pistón inyector.

Funcionamiento: El pistón inyector debe estar elevado, luego el material a inyectar entra por la tolva que está en el costado de la camisa de inyección, se produce el calentamiento del material, se acciona la palanca conjuntamente baja el pistón inyector y este empuja el material hacia el molde.

Figura. 13. Inyectora manual accionada por palanca.



Fuente: www.youtube.com/watch?v=qtZv96ciFIU&t=418s
Autor: Davehakkens

Ventajas:

- La operación se realiza manualmente con un sistema de palanca.
- Fácil funcionamiento.

Desventajas:

- Su tamaño es ligeramente grande por el sistema de palanca.
- Su alimentación y camisa de inyección es muy pequeño.
- El prototipo no permite desmontar las partes.

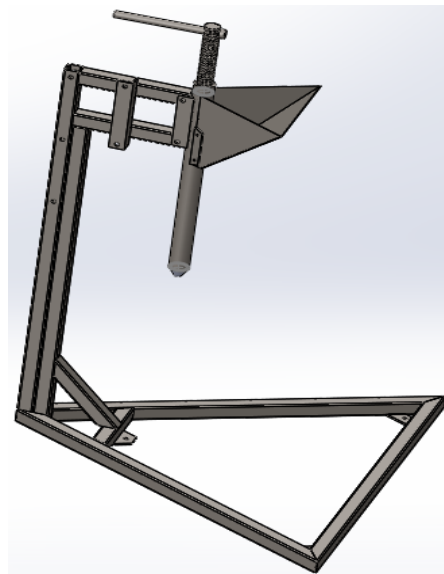
- Los sistemas de resistencias eléctricas se encuentran expuestos en la camisa de inyección.

1.7.13.2. Alternativa B Inyectora de Tornillo.

Descripciones Generales: Este prototipo consta de una estructura, camisa de inyección fija, pistón inyector que a su vez es un tornillo de potencia con una tuerca en la parte superior, también tiene una tolva por donde ingresa el material y una palanca para girar el tornillo.

Funcionamiento: La materia prima es ingresada por la tolva, a la camisa de inyección donde es calentado el material con resistencias eléctricas luego llega a la temperatura de procesamiento, se procede a girar la manivela que a su vez baja e impulsa el material para proceder a la inyección hacia el modelo que está ubicado en la punta de la inyectora.

Figura. 14. Inyectora manual accionada por un tornillo de potencia.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Ventajas:

- La operación se realiza manualmente con un sistema de tornillo de potencia mejorando la ergonomía en su funcionamiento.
- Su funcionamiento es fácil.
- Su tamaño es mediano.

Desventajas:

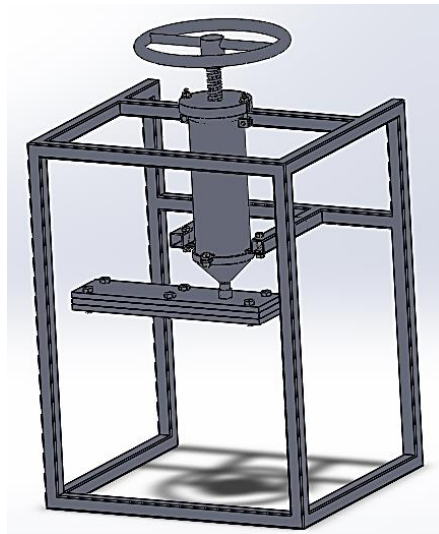
- Su alimentación y camisa de inyección es muy pequeño.
- El prototipo no permite desmontar las partes.
- Los sistemas de resistencias eléctricas están expuestos en la camisa de inyección.

1.7.13.3. Alternativa C Inyectora de Volante.

Descripciones Generales: Este consta de su estructura y en ella esta empernada el conjunto de una camisa, émbolo de inyección, tornillo de potencia con su tuerca que a su vez es tapa de la camisa, una boquilla para acoplar el molde, volante de mano que generara el movimiento al émbolo aumentando la presión dentro de la camisa obligando que el material sea expulsado y dirigido al molde.

Funcionamiento: Se vierte el material a inyectar en el interior de la máquina, luego de esto se cierra la camisa con la tapa junto con el émbolo de inyección dentro de la camisa, se programa el termostato para alcanzar la temperatura de operación del material, después de agregar y mezclar las partículas procedemos a girar el volante que acciona el émbolo, esta baja empujando el material en dirección a la boquilla donde está ubicado el molde roscado a la boquilla.

Figura. 15. Inyectora desmontable, portable accionada por volante.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Ventajas:

- La operación es fácil y se realiza manualmente con un sistema de tornillo de potencia mejorando la ergonomía de la máquina.
- Su tamaño es compacto.
- Su sistema de alimentación es apropiado para poder ingresar el material deseado.
- Sus partes son desmontables.
- El montaje y desmontaje es fácil.
- Las resistencias eléctricas en la camisa de inyección están protegidas para evitar accidentes.

Desventajas:

- El prototipo no fue diseñado para producción continua.

1.7.14. Ponderación en función del criterio de desmontaje y montaje.**Tabla 8.** Evaluación de alternativas en función del desmontaje y montaje.

Desmontaje y Montaje	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	1,00	2,50	0,42
Alternativa B	0,50		1,00	2,50	0,42
Alternativa C	0,00	0,00		1,00	0,17
			Suma	6,00	1

Fuente: Investigación de campo.**Autor:** Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]**1.7.14.1. Ponderación en función del criterio de fácil operación.****Tabla 9.** Evaluación de alternativas en función de la fácil operación.

Fácil Operación	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	0,00	1,50	0,23
Alternativa B	0,50		0,50	2,00	0,31
Alternativa C	1,00	1,00		3,00	0,46
			Suma	6,50	1

Fuente: Investigación de campo.**Autor:** Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.14.2. Ponderación en función del criterio de fácil limpieza.

Tabla 10. Evaluación de alternativas en función de la fácil limpieza.

Fácil Limpieza	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa B	0,50		0,00	1,50	0,25
Alternativa C	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.14.3. Ponderación en función del criterio de peso.

Tabla 11. Evaluación de alternativas en función del peso.

Peso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	1,00	2,50	0,42
Alternativa B	0,50		1,00	2,50	0,42
Alternativa C	0,00	0,00		1,00	0,17
Suma				6	1

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.14.4. Ponderación en función del criterio de ergonomía.

Tabla 12. Evaluación de alternativas en función de la Ergonomía.

Ergonomía	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa B	0,50		0,50	2,00	0,33
Alternativa C	1,00	0,50		2,50	0,42
Suma				6	1

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.14.5. Ponderación en función del criterio de fácil traslado.

Tabla 13. Evaluación de alternativas en función del fácil traslado.

Fácil Traslado	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa B	0,50		0,00	1,50	0,25
Alternativa C	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6	1

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.14.6. Ponderación en función del criterio de mantenimiento.

Tabla 14. Evaluación de alternativas en función del mantenimiento.

Mantenimiento	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa A		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa B	0,5		0,00	1,50	0,25
Alternativa C	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.14.7. Conclusión del método de residuos ponderados.

Tabla 15. Conclusión de la selección de alternativas.

Conclusiones	Desmontaje y Montaje	Fácil Operación	Fácil Limpieza	Peso	Ergonomía	Fácil Traslado	Mantenimiento	Sumatoria	Ponderada
Alternativa A	0,07	0,04	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,30	3
Alternativa B	0,07	0,05	0,03	0,07	0,04	0,03	0,03	0,33	2
Alternativa C	0,03	0,08	0,06	0,03	0,04	0,06	0,06	0,37	1
Suma								1	

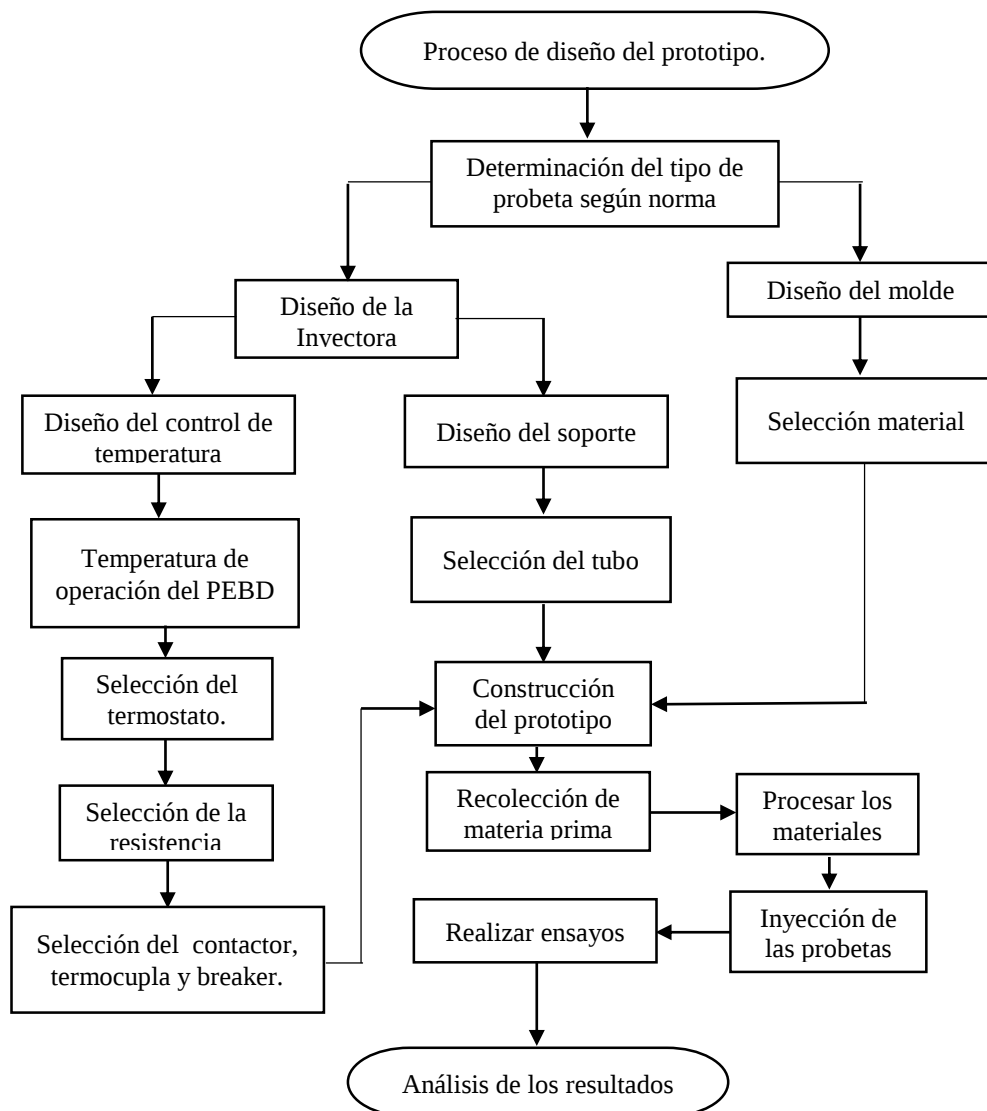
Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Como se puede observar en la **Tabla 15**, según el análisis de ponderación realizado se determina que la alternativa C “Inyectora de Volante” es la que cuenta con mayores virtudes para ser fabricada, y que ofrece las ventajas necesarias para tener el mayor rendimiento en función del trabajo que se va realizar.

En la **Figura. 16**, se procede a relacionar los elementos que intervienen en el proceso de la fabricación del prototipo de inyectora, y manufactura de las probetas de material compuesto, se realiza el siguiente diagrama de flujo que detalla cómo se elaboró este proyecto de investigación.

Figura. 16. Esquema del proyecto de investigación.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

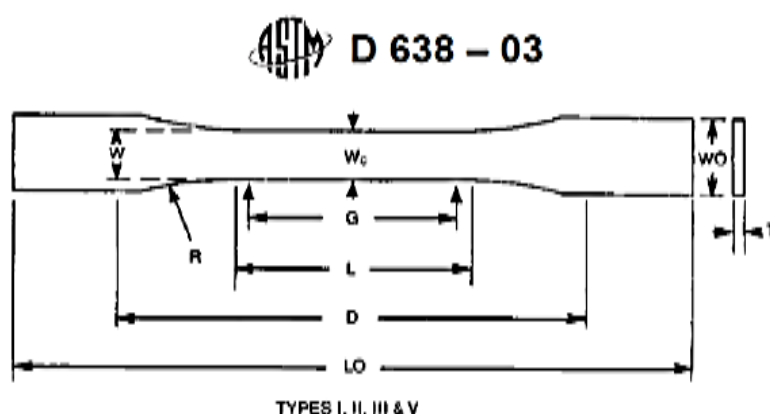
1.7.15. Análisis de los parámetros para el diseño del molde.

1.7.15.1. Selección del tipo de probeta.

El estudio del material compuesto se realizó de acuerdo a la norma ASTM D-638 aplicada para materiales compuestos con matriz polimérica.

Se selecciona una probeta tipo III de la norma ASTM D-638 que indica las dimensiones para pruebas de tracción **Figura. 17** y **Tabla 16**.

Figura. 17. Dimensiones de la probeta.



Fuente: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D638>

Autor: ASTM Internacional.

Tabla 16. Dimensiones de la probeta para prueba de tracción.

Dimensions (see drawings)	7[0,28] or under		Over 7 to 14 [0,28 to 0,55], incl
	Type I	Type II	Type III
W-Width of narrow section ^{E,F}	13[0,50]	6[0,25]	19[0,75]
L-Length of narrow section	57[2,25]	57[2,25]	57[2,25]
WO-Width overall, min ^G	19[0,75]	19[0,75]	29[1,13]
WO-Width overall, min ^G			
LO-Length overall, min ^H	165[6,5]	183[7,2]	146[9,7]
G-Gage length ^r	50[3,00]	50[3,00]	50[3,00]
G-Gage length ^r			
D-Distance between grips	115[4,5]	135[5,3]	115[4,5]
R-Radius of fillet	76[3,00]	76[3,00]	76[3,00]
RO-Outer radius (Type IV)			

Fuente: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D638>

Autor: ASTM Internacional.

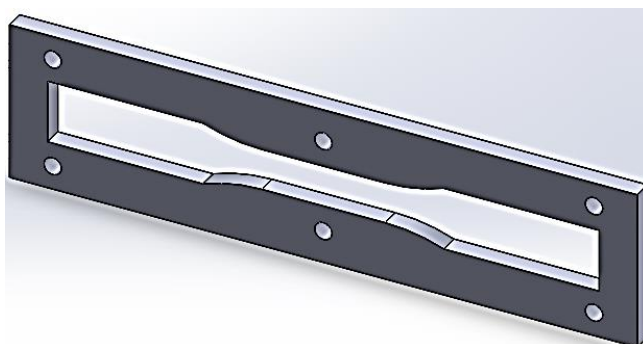
La norma indica la dimensión de la probeta estos son parámetros y especificaciones iniciales en el diseño del molde.

Es importante que en el diseño del molde, la posición del orificio por el cual se procede la inyección del material compuesto, no se ubique en un lugar donde comprometa la integridad de la probeta, ocasionando que en este punto se creen concentradores de esfuerzo, y por consecuencia que el ensayo no sea válido por la acción de estos defectos.

1.7.15.2. Diseño del molde.

En el diseño se encuentra establecido un molde de tres piezas, este diseño proporciona la facilidad al retirar la probeta, al quedar la probeta en la placa central ver **Figura. 18**, se espera que quede encajada en esta parte y sus respectivos orificios, permiten que los pernos crucen para ser fijada a las otras dos partes del molde.

Figura. 18. Placa Central del molde.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Las dos partes adicionales que complementan el molde tienen agujeros de 8mm para los pernos, las caras están pulidas para evitar que se impriman los concentradores de esfuerzos sobre la superficie de la probeta. La placa superior, tiene una unión cortada al medio para permitir el perfecto ensamble a la boquilla de inyección.

La placa inferior solo tiene sus superficies lisas, y seis agujeros roscados (M8x1.0), a diferencia de la placa superior que sus agujeros son llanos.

Terminado el proceso de diseño, se envían los planos para que las planchas de metal sean cortadas por chorro de agua, estudios realizados establecen a este método de corte como el adecuado, por dejar las superficies con las dimensiones exactas especificadas en el plano, tener gran precisión en el corte y preparadas para el proceso de fresado y rectificado que a continuación se procede a realizar en las caras de contacto con la probeta ver **Figura. 19**.

Figura. 19. Placas cortadas por el chorro de agua.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Es importante el acabado ya que con esto nos aseguramos que nuestra probeta inyectada tendrá superficies lisas y libres de defectos.

1.7.15.3. Volumen de la probeta.

Se establecieron las dimensiones de la probeta que se encuentran en la **Tabla 16**, basada en la norma ASTM D-638 tenemos que calcular el volumen por cada probeta, tratando que procedan de la misma colada al momento de inyectar, garantizando que la mezcla sea homogénea en todas las probetas con la proporción de refuerzo tenemos:

Datos:

Número de probetas establecidas por la norma $N_{pro} = 5$

Espesor de la probeta $E_p = 9 \text{ mm}$

Longitud de la probeta $L_p = 246 \text{ mm}$

Área de la probeta obtenida mediante software $A_p = 6200,07 \text{ mm}^2$

Ecu 1:

Volumen de la probeta.

$$V_p = A_p \cdot E_p$$

$$V_p = (6200,07 \text{ mm}^2) (9\text{mm})$$

$$V_p = 55800,67 \text{ mm}^3$$

$$V_p = 55,80 \text{ cm}^3$$

Por el número de probetas que indica la norma el volumen total a inyectar es:

$$V_{TOT} = V_p \cdot N_{pro}$$

$$V_{TOT} = (55,80 \text{ cm}^3) (5)$$

$$V_{TOT} = 0,279 \text{ cm}^3$$

Donde:

V_{TOT} = Volumen total a inyectar.

Para inyectar las cinco probetas se necesita un volumen de $V_{TOT} = 0,279 \text{ cm}^3$ para garantizar que las probetas obtengan las mismas proporciones de refuerzo en la mezcla.

1.7.16. Dimensiones de la camisa de inyección.

Se obtuvo el volumen total de PEBD $V_{TOT} = 0,279 \text{ cm}^3$ y el número de probetas $N_{pro} = 5$ entonces tenemos una camisa de un tubo de 3 pulgadas de diámetro y 21 cm de longitud este tubo se elige por motivos de mecanizado, para que la superficie interna del tubo sea rectificadora ya que es fácil en este diámetro, y nos garantiza un volumen dos veces mayor al necesario calculado.

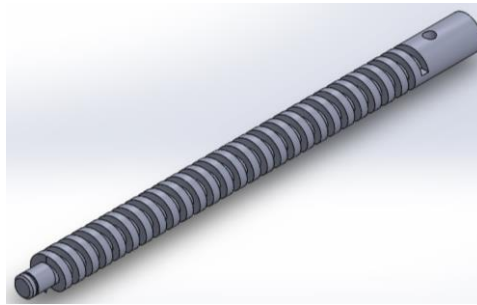
1.7.17. Diseño de la máquina inyectora.

1.7.17.1. Diseño del tornillo de potencia.

Datos:

Para desplazar el émbolo e inyectar se diseña el tornillo de potencia con un paso de $p = 8\text{mm}$ un diámetro de tornillo $d = 19,05\text{mm}$ diámetro de collarín $d_c = 19,05\text{mm}$ coeficiente de fricción para el acero, aceite para máquina contra acero de $f = 0,14$ y un tornillo de una entrada $n = 1$ y una fuerza asumida de $F = 100 \text{ kgf}$ la cual se establece como máxima presión necesaria a vencer en el proceso de inyección al girar el tornillo.

Figura. 20. Tornillo de potencia.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Ecu 2:

Ancho de la rosca.

$$\text{Ancho de la rosca} = \frac{p}{2}$$

$$\text{Ancho de la rosca} = \frac{8\text{mm}}{2}$$

$$\text{Ancho de la rosca} = 4\text{mm}$$

Donde:

p = Paso de la rosca.

Ecu 3:

Profundidad de la rosca.

$$\text{Profundidad de la rosca} = \frac{p}{2}$$

$$\text{Ancho de la rosca} = \frac{8\text{mm}}{2}$$

$$\text{Ancho de la rosca} = 4\text{mm}$$

Ecu 4:

Diámetro medio de la rosca.

$$d_m = d - \frac{p}{2}$$

$$d_m = 19,05\text{mm} - \left(\frac{8\text{mm}}{2}\right)$$

$$d_m = 15,05\text{mm}$$

Donde:

d_m = Dímetro medio de la rosca.

Ecu 5:

Diámetro de la raíz de la rosca.

$$d_r = d - p$$

$$d_r = 19,05\text{mm} - 8\text{mm}$$

$$d_r = 11,05\text{mm}$$

Donde:

d_r = Diámetro de raíz de la rosca.

Ecu 6:

El avance del tornillo.

$$l = n \cdot p$$

El tornillo se considera de una entrada para minimizar la fuerza aplicada sobre el volante entonces:

$$n = 1$$

$$l = 1(8\text{mm})$$

$$l = 8\text{mm}$$

Donde:

l = Avance del tornillo.

n = Número de entradas del tornillo.

Ecu 7:

Torque para inyectar el PEBD.

$$f \text{ y } f_c = (0.15-0.25)$$

$$T_R = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l \cdot \pi \cdot f \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - f \cdot l} \right) + \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2}$$

$$T_R = \frac{0,981\text{N} (15,05\text{mm})}{2} \left(\frac{(8\text{mm})\pi(0,14)(15,05\text{mm})}{\pi(15,05\text{mm}) - (0,14)(8\text{mm})} \right) + \frac{(0,981\text{N})(0,14)(19,05\text{mm})}{2}$$

$$T_r = 3,65 \text{ N. m}$$

Donde:

T_R = Torque necesario para empujar el émbolo.

Ecu 8:

Torque para elevar el émbolo.

$$T_L = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\pi \cdot f \cdot d_m - l}{\pi \cdot d_m + f \cdot l} \right) + \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2}$$

$$T_L = \frac{0,981\text{N} (15,05\text{mm})}{2} \left(\frac{\pi(0,14)(15,05\text{mm}) - (8\text{mm})}{\pi(15,05\text{mm}) + (0,14)(8\text{mm})} \right) + \frac{(0,981\text{N})(0,14)(15,05\text{mm})}{2}$$

$$T_L = 1.10 \text{ N. m}$$

Donde:

T_L = Torque necesario para retraer el émbolo.

Ecu 9

La eficiencia global del tornillo al inyectar.

$$e = \frac{F \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot T_R}$$
$$e = \frac{(0,981\text{N})(0.008\text{mm})(10^3)}{(2)\pi(3,65\text{N} \cdot \text{m})}$$
$$e = 0,343$$

Donde:

e = Eficiencia global del tornillo.

Ecu 10:

El esfuerzo cortante en el exterior del cuerpo del tornillo debido al par de torsión para inyectar el plástico T_R es:

$$\tau_{\text{cor}} = \frac{16 \cdot T_R}{\pi \cdot d_r^3}$$
$$\tau_{\text{cor}} = \frac{16 (3,65 \text{ N} \cdot \text{m})(10^3)}{\pi (11,05\text{mm})^3}$$
$$\tau_{\text{cor}} = 13,76 \text{ MPa}$$

Donde:

τ_{cor} = Esfuerzo cortante en el exterior del cuerpo del tornillo.

Ecu 11:

El esfuerzo axial nominal.

$$\sigma_{\text{axi}} = -\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_r^2}$$
$$\sigma_{\text{axi}} = -\frac{4 (0,981 \text{ N} \cdot \text{m})(10^3)}{\pi (11,05 \text{ mm})^2}$$
$$\sigma_{\text{axi}} = -10,22\text{MPa}$$

Donde:

σ_{axi} = Esfuerzo axial.

Ecu 12:

Esfuerzo de apoyo en la rosca.

Algunos experimentos muestran que la primera rosca en contacto soporta 0.38 de la carga, la segunda 0.25 y la tercera 0.18, y la séptima está libre de carga. Al estimar los esfuerzos

de las tuercas con las ecuaciones anteriores, sustituyendo $0.38F$ por F y haciendo n_t igual a 1, se obtendrá el nivel máximo de esfuerzos en la combinación rosca-tuerca [23].

$$\sigma_B = \frac{2 F}{\pi \cdot d_m \cdot n_t \cdot p}$$

Donde:

σ_B = Esfuerzo de apoyo en la rosca.

n_t = Número de roscas en contacto entre tuerca y tornillo.

Y Sustituyendo $0.38F$ por F haciendo n_t igual a 1, entonces:

$$\sigma_B = \frac{2 (0.38) F}{\pi \cdot d_m (1) p}$$

$$\sigma_B = \frac{2(0,38) (0,981 \text{ N})(10^3)}{\pi(15,05\text{mm})(1)(8\text{mm})}$$

$$\sigma_B = 1,97\text{MPa}$$

Ecu 13:

El esfuerzo flexionaste en la raíz de la rosca.

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot F}{\pi \cdot d_r \cdot n_t \cdot p}$$

Donde:

σ_b = Esfuerzo flexionaste en la raíz de la rosca.

Y Sustituyendo $0.38F$ por F haciendo n_t igual a 1, entonces:

$$\sigma_b = \frac{6 (0.38) F}{\pi \cdot d_r \cdot (1) \cdot p}$$

$$\sigma_b = \frac{6 (0.38)(0,981 \text{ N})(10^3)}{\pi(11,05\text{mm})(1)(8\text{mm})}$$

$$\sigma_b = 8,05 \text{ MPa}$$

Seleccionamos un acero AISI 1018 **Tabla 17**, con un $S_y = 235 \text{ MPa}$ y con un factor de seguridad de $f_s = 2$ tenemos que el esfuerzo del acero es:

Tabla 17. Propiedades mecánicas del acero AISI 1018.

Resistencia Mecánica [N/mm ²]	Punto de Fluencia [N/mm ²]	Elongación % Min	Dureza ROKWE B
410-520	235	20	143

Fuente: <http://www.dipacmanta.com/descargas/07-ejes/transmision-sae-101.pdf>

Autor: DIPAC

$$\tau_{\text{AISI 1018}} = \frac{S_y}{f_s}$$

$$\tau_{\text{AISI 1018}} = \frac{235 \text{ MPa}}{2}$$

$$\tau_{\text{AISI 1018}} = 117,50 \text{ MPa}$$

Donde:

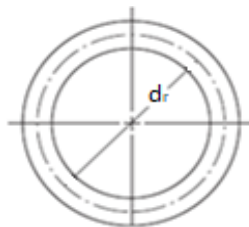
S_y = Punto de fluencia.

Con este factor de seguridad el esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca $\sigma_b = 8,05 \text{ MPa}$ es menor que el esfuerzo que soporta el acero ASTM 1018 $\tau_{\text{AISI 1018}} = 117,50 \text{ MPa}$ por lo que es seleccionado para la construcción del tornillo de potencia que será el encargado de desplazar el émbolo de inyección.

1.7.17.2. Análisis de la flexión del tornillo.

Se procede a realizar el cálculo de la esbeltez con el fin de determinar si el tornillo diseñado es el adecuado.

Figura. 21. Cuerpo de tornillo.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Datos:

Longitud del tornillo $L_t = 210 \text{ mm}$

Diámetro de la raíz de la rosca $d_r = 11,05 \text{ mm}$

Ecu 14:

Área de la figura del cuerpo del tornillo.

$$A_{ct} = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4}$$

$$A_{ct} = \frac{\pi(11,05 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_{ct} = 95,899 \text{ mm}^2$$

Ecu 15:

Inercia de la figura del cuerpo del tornillo.

$$I_{fig} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{dr}{2}\right)^4$$

$$I_{fig} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{11,05\text{mm}}{2}\right)^4$$

$$I_{fig} = 731,845$$

Ecu 16:

Radio de giro.

$$r_{gir} = \sqrt{\frac{I_{fig}}{A_{ct}}}$$

$$r_{gir} = \sqrt{\frac{31,845}{95,899 \text{ mm}^2}}$$

$$r_{gir} = 3,81\text{mm}$$

Ecu 17:

Esbeltez del tornillo.

Con una longitud efectiva $K_{Lf} = 0,65$ y una altura de la camisa que es igual a la longitud del tornillo $h_{iny} = 210\text{mm}$ tenemos:

$$e_{sbe} = \frac{K_{Lf} \cdot h_{iny}}{r_{gir}}$$

$$e_{sbe} = \frac{(0,65) (210\text{mm})}{3,81\text{mm}}$$

$$e_{sbe} = 35,77$$

Donde:

e_{sbe} = Es la esbeltez del tornillo.

Ecu 18:

Esfuerzo de Euler.

Módulo de Young $E_Y = 203900 \text{ Kg/cm}^2$

$$El = \frac{\pi^2 \cdot E_Y}{e_{sbe}^2}$$

$$EI = \frac{\pi^2 \cdot (203900 \text{ Kg/cm}^2)}{(35,77)^2}$$

$$EI = 1572,54 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

El = Al esfuerzo de Euler.

Ecu 19:

Pandeo inelástico.

Hemos seleccionado un acero AISI 1018 **Tabla 17**, con un $S_y = 235 \text{ MPa}$. Que es igual a

$$S_y = 2396,33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{S_y}{EI}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2396,33 \text{ Kg/cm}^2}{1572,54 \text{ Kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0,762$$

Donde:

λ_c = Al pandeo inelástico del tornillo.

Ecu 20:

Esfuerzo crítico.

$$F_{cr} = ((0,658)^{\lambda_c^2}) * S_y$$

$$F_{cr} = ((0,658)^{(0,762)^2}) * 2396,33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 1879,4 \text{ Kg/cm}^2$$

Ecu 21:

Pandeo máximo.

$$P_n = A_{ct} * F_{cr}$$

$$P_n = (0,959 \text{ cm}^2) (1879,4 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$P_n = 1802,33 \text{ Kgf}$$

Observamos que el esfuerzo máximo antes que se pandee $P_n = 1802,33 \text{ Kgf}$ es mayor que la fuerza $F = 26 \text{ kgf}$ ejercida para accionar el tornillo y que la fuerza $F = 100 \text{ kgf}$ asumida

en un inicio a vencer con el tornillo al girar el volante entonces las dimensiones establecidas en el diseño son las adecuadas para construir el tornillo.

1.7.17.3. Diseño del volante.

Análisis de la fuerza que una persona ejerce sobre el volante.

Los volantes son otro tipo de mandos muy presente en máquinas-herramientas, que permiten un rango de giro de 120 grados sin cambio de agarre. La capacidad de realizar fuerza aumenta al hacerlo el radio del volante. Además, se recomiendan los siguientes detalles de diseño: [24].

Figura. 22. Volante.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Recomendaciones de diseño:

- Diámetro del volante: 180/350 mm. Diámetro de la sección del volante: 20/50 mm.
- Fuerza de accionamiento: 20/130 N con una mano, hasta 260 N con las dos. [24]
- Fuerza ejerce una persona sobre el volante para inyectar $F = 26 \text{ kgf} = 255 \text{ N}$

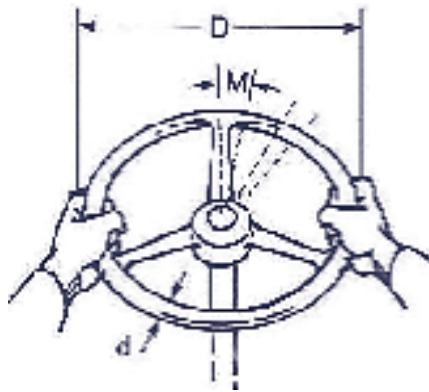
Datos:

Fuerza aplicada por una persona obtenida experimentalmente con una sola mano $F_v = 26 \text{ Kgf}$ con una palanca de 100 mm

Diámetro del volante $d_v = 200 \text{ mm}$

Momento a vencer con el volante $T_r = 3,65 \text{ N.m}$

Figura. 23. Volante con la influencia de fuerzas externas.



Fuente: Ergometal. Manual de Ergonomía para Máquinas del Sector del Metal

Autor: Purificación Castellò Mercè; Alfonso Oltra Pastor

Ecu 22:

Momento en el volante.

El torque producido por una persona con una sola mano.

$$T_p = F_v \cdot L$$

Como la longitud $L_v = d_v/2$

$$L_v = \frac{0,184 \text{ m}}{2}$$

$$L_v = 0,092 \text{ m}$$

Entonces:

$$T_p = (981 \text{ N}) \cdot (0,092 \text{ m})$$

$$T_p = 46,93 \text{ N.m}$$

Como el momento volante se puede accionar con las dos manos entonces:

$$T_p = (46,93 \text{ N.m}) \cdot 2$$

$$T_p = 93,86 \text{ N.m}$$

Donde:

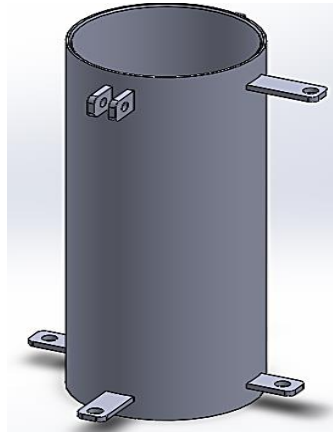
T_p = Torque para accionar el volante al inyectar.

Observamos que torque producido por la persona con las dos manos $T_p = 93,86 \text{ N.m}$ es mayor que torque a vencer para inyectar $T_r = 3,65 \text{ N.m}$ concluimos que el diámetro del volante es el adecuado para accionar la máquina al inyectar.

1.7.17.4. Resistencia de la camisa de la inyectora.

Tomado como cilindro de pared gruesa y como ya se estableció las dimensiones del tubo en el punto 4.1.7.1. Para una fuerza a vencer de $F = 100 \text{ kgf}$ tenemos:

Figura. 24. Camisa de la inyectora.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Datos:

Presión fuera del tubo $P_0 = 0$

Altura de la camisa $h_{iny} = 210\text{mm}$

Diámetro externo del tubo $d_b = 76,2\text{mm}$

Fuerza $F = 100 \text{ kgf}$

Diámetro interno del tubo.

$$d_a = d_b - 2(\text{espesor})$$

$$d_a = 76,2 - 2(2)$$

$$d_a = 72,2$$

Donde:

d_a = Diámetro interno.

Ecu 23:

Presión interna del tubo.

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

$$P_i = \frac{0,981\text{KN}}{(2)\pi(0,036\text{m})(0,21\text{m})}$$

$$P_i = 20,60 \text{ Pa}$$

$$P_i = 0,02 \text{ KPa}$$

Donde:

P_i = Presión interna del tubo.

A = Área de la pared de la camisa.

Ecu 24:

Esfuerzo radial.

a = radio interno y b = radio externo

Para: $r = a$

$$\sigma_r = \frac{a^2 \cdot P_i}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right)$$
$$\sigma_r = \frac{(0,036\text{m})^2 * (0,02 \text{ KPa})}{(0,038\text{m})^2 - (0,036\text{m})^2} \left(1 - \frac{(0,038\text{m})^2}{(0,036\text{m})^2} \right)$$
$$\sigma_r = -0,02 \text{ KPa}$$

Para: $r = b$

$$\sigma_r = \frac{a^2 \cdot P_i}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right)$$
$$\sigma_r = \frac{(0,036\text{m})^2 * (0,02 \text{ KPa})}{(0,038\text{m})^2 - (0,036\text{m})^2} \left(1 - \frac{(0,038\text{m})^2}{(0,038\text{m})^2} \right)$$
$$\sigma_r = 0 \text{ KPa}$$

Ecu 25:

Esfuerzo tangencial.

Para: $r = a$

a = radio interno y b = radio externo

$$\sigma_t = \frac{a^2 \cdot P_i}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right)$$
$$\sigma_t = \frac{(0,036\text{m})^2 * (0,02 \text{ KPa})}{(0,038\text{m})^2 - (0,036\text{m})^2} \left(1 + \frac{(0,038\text{m})^2}{(0,036\text{m})^2} \right)$$
$$\sigma_t = 0,038 \text{ KPa}$$

Para: $r = b$

$$\sigma_t = \frac{a^2 \cdot P_i}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right)$$
$$\sigma_t = \frac{(0,036\text{m})^2 * (0,02 \text{ KPa})}{(0,038\text{m})^2 - (0,036\text{m})^2} \left(1 + \frac{(0,038\text{m})^2}{(0,038\text{m})^2} \right)$$
$$\sigma_t = 0,036 \text{ KPa}$$

Obsérvese que σ_r siempre es negativa (compresión) y que σ_t siempre es positiva (tensión) y mayor que σ_r . Su valor máximo aparece en la superficie interior del cilindro entonces.

Ecu 26:

Valor máximo del esfuerzo en la superficie interior del cilindro.

$$(\sigma_t)_{\max} = \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} * P_i$$

$$(\sigma_t)_{\max} = \frac{(0,038\text{m})^2 + (0,036\text{m})^2}{(0,038\text{m})^2 - (0,036\text{m})^2} (0,02 \text{ KPa})$$

$$(\sigma_t)_{\max} = 0,038 \text{ KPa}$$

Ecu 27:

Valor medio del esfuerzo circunferencial.

$$(\sigma_t)_{\text{med}} = \frac{a \cdot P_i}{b - a}$$

$$(\sigma_t)_{\text{med}} = \frac{(0,036\text{m})(0,02 \text{ KPa})}{(0,038\text{m}) - (0,036\text{m})}$$

$$(\sigma_t)_{\text{med}} = 0,037 \text{ KPa}$$

Ecu 28:

Relación entre el máximo y medio esfuerzo.

$$\frac{(\sigma_t)_{\max}}{(\sigma_t)_{\text{med}}} =$$

$$\frac{0,038 \text{ KPa}}{0,037 \text{ KPa}} = 1,03$$

Ecu 29:

Esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{\max} = \frac{(\sigma_t)_{\max} - (\sigma_r)_{\max}}{2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{0,038\text{KPa} - 0,02\text{KPa}}{2}$$

$$\tau_{\max} = 0,20\text{KPa}$$

Seleccionamos un tubo de acero de acero ASTM A-500 de DIPAC, con un $S_y = 320 \text{ MPa}$ y con un factor de seguridad de $f_s = 2$ tenemos que el esfuerzo del acero es:

$$\tau_{\text{ASTM A-500}} = \frac{S_y}{f_s}$$

$$\tau_{\text{ASTM A-500}} = \frac{320000 \text{ KPa}}{2}$$

$$\tau_{\text{ASTM A-500}} = 160000 \text{ KPa}$$

Con este factor de seguridad el esfuerzo al que estará sometido el tubo es de $\sigma_t = 0,38 \text{ KPa}$, es menor que el esfuerzo que soporta el acero $\tau_{\text{ASTM A-500}} = 160000 \text{ KPa}$

1.7.18. Análisis de la transferencia de calor para la inyectora.

Consideraciones iniciales:

Para iniciar el análisis de la transferencia de calor en la inyectora, tenemos una capacidad máxima de 790,99 gramos y asumiendo que todo el espacio es ocupado por PEBD tenemos:

Datos:

Conductividad térmica del LDPE $K_{\text{LDPE}} = 0,33 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Conductividad térmica del acero ASTM A-500 $K_{\text{A-500}} = 52 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Coeficiente de transferencia de calor por convección del LDPE $h_{\text{LDPE}} = 0,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Temperatura en la pared externa $T_{1\text{pex}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura ambiente $T_{\text{amb}} = 35^\circ\text{C}$

Longitud de la camisa de inyección $L = 0,21\text{m}$

Calculamos la Temperatura de fusión del LDPE $T_m = 115 \text{ }^\circ\text{C}$ de la **Tabla 1** más el 40%

$$40\% = \frac{(40)(T_m)}{100}$$

$$40\% = \frac{(40)(115 \text{ }^\circ\text{C})}{100}$$

$$40\% = 46 \text{ }^\circ\text{C}$$

Entonces la temperatura de fusión es:

$$T_f = (115 \text{ }^\circ\text{C}) + (46 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$T_f = 161 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ecu 30:

Resistencia por conducción en la pared de la camisa.

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi(K_{\text{A-500}})L}$$

La longitud del tubo $L = h_{iny}$ entonces:

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{0,038m}{0,036m}\right)}{2 \cdot \pi \cdot (52 \text{ W/m} \cdot \text{K})(0,21m)}$$

$$R_{cond} = 0,0008 \text{ K/W}$$

Ecu 31:

Resistencia por convección el interior de la camisa.

$$R_{conv} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (r)(h_{LDPE})}$$

Como r = área lateral de la camisa tenemos:

$$R_{conv} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (0,050m^2)(0,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})}$$

$$R_{conv} = 44,20 \text{ K/W}$$

Entonces:

Ecu 32:

Resistencia total.

$$R_T = R_{conv} + R_{cond}$$

$$R_T = 44,20 \text{ K/W} + 0,0008 \text{ K/W}$$

$$R_T = 44,20 \text{ K/W}$$

Ecu 33:

La razón de transferencia de calor.

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_T}$$

$$q = \frac{200 \text{ K} - 161 \text{ K}}{44,20 \text{ K/W}}$$

$$q = 0,882 \text{ W}$$

Donde:

$$T_{1pex} = T_1$$

$$T_f = T_2$$

Ecu 34:

Calor necesario.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Entonces la masa del PEBD que ocupa toda la camisa de inyección es de $m_{LDEP} = 0,79 \text{ Kg}$, un calor específico de $C_p = 2.1 \text{ K.J/Kg.}^\circ\text{C}$ entonces ΔT es:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_f - T_{amb} \\ \Delta T &= 161^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C} \\ \Delta T &= 126^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Entonces:

$$\begin{aligned}Q &= (0,79 \text{ Kg}) (2.1 \text{ K.J/Kg.}^\circ\text{C}) (126^\circ\text{C}) \\ Q &= 209,30 \text{ K.J}\end{aligned}$$

Donde:

$\Delta T = A$ la variación de la temperatura.

Ecu 35:

Potencia requerida para fundir cada carga de inyección.

$$P_f = \frac{Q}{t}$$

Se estima un tiempo de $t = 25$ minutos entonces:

$$\begin{aligned}P_f &= \frac{209,30 \text{ K.J}}{1500 \text{ s}} \\ P_f &= 0.140 \text{ K.W}\end{aligned}$$

Lo que es igual a una potencia requerida de $R_f = 139,53 \text{ W}$ tomamos un 10% de pérdidas entonces:

$$\begin{aligned}P_{f+\%} &= \frac{(10\%)(139,53 \text{ W})}{100} \\ P_{f+\%} &= 13,95 \text{ W}\end{aligned}$$

La potencia total requerida es:

$$\begin{aligned}P_T &= 139,53 \text{ W} + 13,95 \text{ W} \\ P_T &= 153,48 \text{ W}\end{aligned}$$

Donde:

$P_{f+\%}$ = Potencia más un porcentaje de perdida.

Con la potencia total calculada $P_T = 153,48 \text{ W}$ se procede a la seleccionar una resistencia tipo abrazadera de 700 W a 220 voltios de 3 pulgadas de diámetro y 10 centímetros de longitud, la cual se compra por encontrarse en stock al momento de la compra.

1.7.19. Diseño de la estructura.

Para el diseño de la estructura, se realizó el análisis de elementos finitos haciendo uso de la herramienta de diseño mecánico SolidWorks 2018, debido a que, en la actualidad, este programa de computación es uno de los más utilizados principalmente en ingeniería. Además, este posee herramientas de cómputo potentes para la simulación de los diseños alojados en él.

Obtenidas las fuerzas que estarán en interacción con la estructura, y elegido el material para su construcción procedemos a simular en el software, se obtuvo la masa de la inyectora que en conjunto con sus piezas y molde es igual a $m_T = 8,83 \text{ Kg}$, y utilizaremos un tubo cuadrado estructural de $20 \times 20 \times 1,5$. [mm]; se selecciona el tubo con estas dimensiones por estética y porque será perforado en varios lugares.

Para establecer los parámetros de simulación el software solicita las cargas correspondientes a soportar por la estructura entonces tenemos que peso es igual:

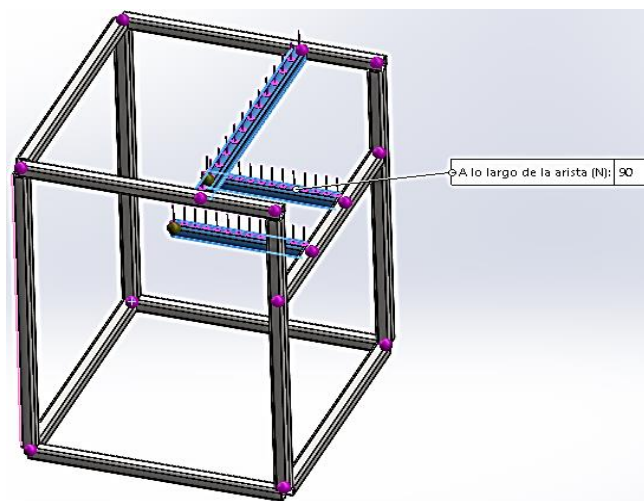
$$\begin{aligned} W_{\text{ex}} &= m_T \cdot g \\ W_{\text{ex}} &= (8,83 \text{ kg})(9,8 \text{ kg m/s}^2) \\ W_{\text{ex}} &= 86.6 \text{ N} \end{aligned}$$

Donde:

g = Gravedad.

W_{ex} = Peso

Figura. 25. Carga aplicada en la estructura.



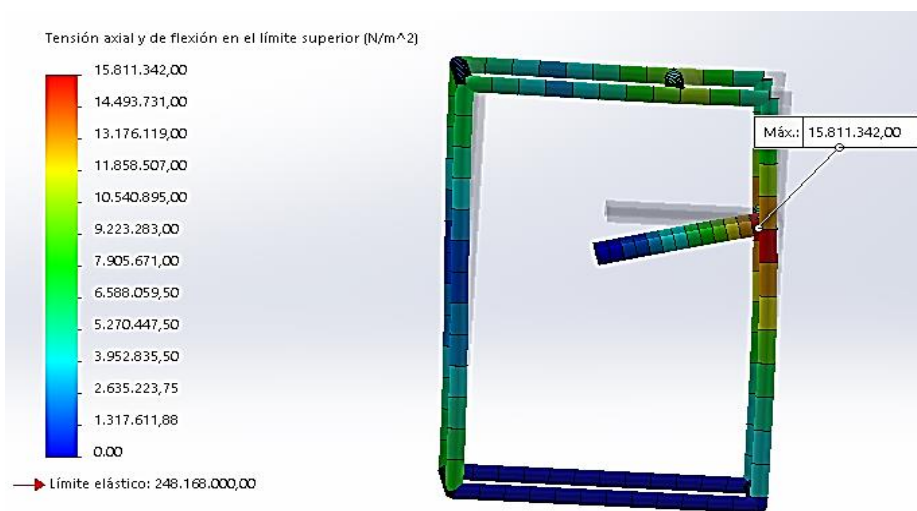
Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Como el software solo acepta valores enteros, entonces el peso es $W_{ex} = 90 \text{ N}$, este será el valor que se aplica en la simulación ver **Figura. 25**, se asigna el material para la estructura un acero ASTM A-500, se ejecuta el mallado correspondiente en el software para la estructura y se efectúa el análisis.

Interpretación y análisis de los resultados de la simulación: Los resultados obtenidos mediante el software permiten conocer los valores máximos de las fuerzas axiales (Y) que puede soportar; y la flexión soportada sobre la base de la estructura.

Figura. 26. Esfuerzo Von Mises en la estructura.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

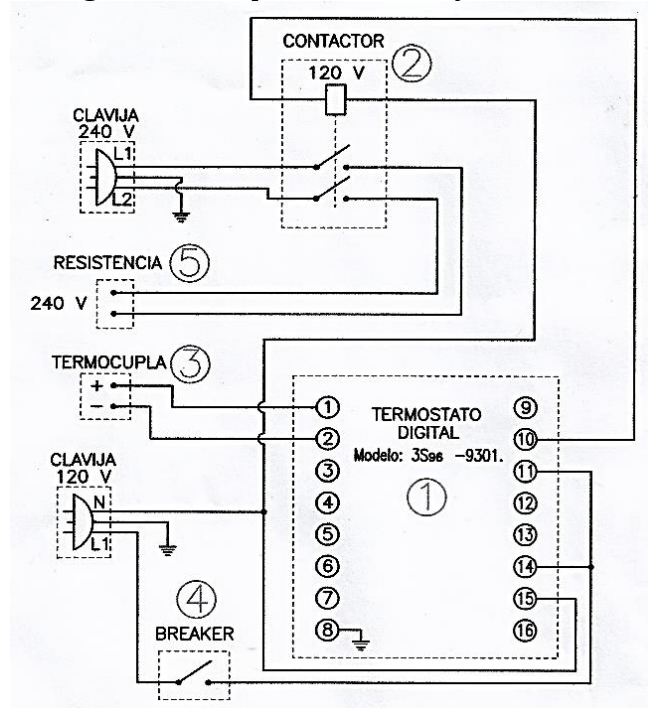
Interpretación y análisis del esfuerzo de Von Mises: El valor del límite elástico es de $15.011.342,00 \text{ N/m}^2$, y se observa que este no supera el límite elástico del material que es de $248.168.000,00 \text{ N/m}^2$ con esto se determina que la estructura soporta por mucho el esfuerzo al que está sometido y no afecta la integridad estructural de los perfiles.

1.7.20. Diseño del sistema de control y eléctrico.

Este diseño necesita de un sistema de control adecuado para la resistencia eléctrica considerando que la temperatura de transición vítrea $T_g = -110 \text{ °C}$ y temperatura de fundición $T_m = 115 \text{ °C}$ tenemos que considerar una temperatura de operación la cual

garantice que el PEBD no entre en temperatura de evaporación, y que de igual forma permita la pastosidad y que fluya fácilmente en el molde al momento de inyectar.

Figura. 27. Esquema eléctrico y de control.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Esto se logra con un termostato digital, acompañado por una sonda (termocupla) la cual censa la temperatura, cortando el paso de la corriente por medio de un contactor para mantener la resistencia en un rango de temperatura aceptable manteniendo PEBD en una temperatura de operación estable.

Como en al análisis de la transferencia de calor seleccionamos una resistencia eléctrica de 700 W y 240 V, para seleccionar el contactor tenemos:

$$I = \frac{P_r}{V}$$

$$I = \frac{700W}{240V}$$

$$I = 2,91 \text{ A}$$

Donde:

P_r = Potencia de la resistencia en watt

V = Voltio

La corriente a la que estará sometido el contactor es de $I = 2,91A$ entonces seleccionamos un contactor de 3 amperios de dos polos para las dos líneas de fase, este actuara como interruptor para encender y apagar la resistencia eléctrica.

Seleccionamos un breaker, que funciona como interruptor principal del circuito el cual da el corte de energía y desconecta todo el sistema de control, la corriente que consume el termostato es pequeña y en el mercado hay disponible de 10 amperes entonces, como su función es solo para energizar el circuito y no como seguridad ante un cortocircuito, seleccionamos el de 10 amperes.

Tabla 18. Materiales eléctricos.

#	MATERIALES	DETALLE	CANTIDAD
1	Termostato digital	MODELO 3S ₉₆ -93301	1
2	Contactor	3 Amperios 220V dos polos	1
3	Breaker	10 Amperios un polo	1
4	Termocupla	Tipo "J"	1
5	Resistencia eléctrica	240 V 700 Watts	1
6	Cinta aislante	Teipe	1
8	Enchufe	120 V	1
9	Enchufe	240 V	1
10	Terminales	Planos	2
11	Terminales	Redondos	8
12	Cable	Numero 12 (Metros 14)	1
TOTAL			19

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Al seleccionar la termocupla tenemos en consideración las especificaciones del termostato el que como requisito y para garantía de su buen funcionamiento especifica una termocupla tipo "J" con un rango de medida de 0 a 399°C. En la **Tabla 18** se detalla por medio de una lista los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina.

1.7.21. Construcción del prototipo de la máquina de inyección.

Obtenidos los respectivos cálculos que corroboran que el diseño que se creó en software es adecuado, y previa selección de la alternativa factible, procedemos a la ejecución y seguimiento de los planos de taller para llevar a cabo la construcción.

En el proceso de fabricación entra en funcionamiento un sinnúmero de máquinas herramientas las que ayudan y permiten que el material adquirido obtenga la forma que se precisa en dichos planos.

Figura. 28. Prototipo de Máquina inyectora para fabricar materiales compuestos.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Como se puede observar en las **Figura. 28**, las piezas individuales encajan en el ensamble quedando lista para entrar en operación.

1.7.22. Obtención y preparación de la materia prima.

PEBD: Como se establece en este proyecto de investigación, es uno de los los materiales usados para la inyección, y tiene que ser reciclados con el objetivo de colaborar con el ambiente.

Es por esto, que el PEBD (polietileno de baja densidad) es obtenido de las tapas de los bidones de agua para su posterior proceso. Con el objetivo que al colocar el PEBD en la inyectora, y que entre hojuelas haya la menor cantidad de aire, y que la transferencia de calor, sea mayor por contacto entre ellas procedemos a triturar las tapas de los bidones ver **Figura. 29**, obteniendo como resultado hojuelas de PEBD que en este tamaño ya son

adecuadas para cumplir con los parámetros de la inyección y condiciones de transferencia de calor.

Figura. 29. Tapas trituradas en forma de hojuelas.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Aluminio: En el aluminio por ser un metal, el cual tiene proceso de reciclaje, no se lo encuentra fácilmente como basura en los vertederos, sino que para nuestro fin lo encontramos en forma de partículas que se generan a partir de los procesos de pulido ver **Figura.30**, que se obtiene después del proceso abrasivo que se realiza a las hoyas de fundición artesanal, en el proceso de eliminar las rebabas, estas limallas quedan como desecho del proceso.

Figura. 30. Partirlas de aluminio.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Vidrio: Los envases no retornables de vidrio son buena materia prima para nuestra actividad, puesto que estas se desechan y generalmente terminan en los vertederos, o simplemente rotos en algún lugar, la forma de procesarlo para obtener nuestro material, se recolecta botellas en el estado en que se encuentren, luego de su respectiva limpieza, y por medio de un martillo

procedemos a triturar el vidrio golpeándolo, esto se lo repite hasta obtener cada vez partículas más pequeñas.

Al obtener estas partículas debemos separarlas con el objetivo de obtener medidas uniformes correspondiente a cada partícula, para esto se usa una serie de tres tamices ver **Figura. 31**, de cocina, en los cuales separamos tanto el polvo como las partículas grandes que no usaremos.

Figura. 31. Tamiz.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Terminado el proceso de clasificación y separación ya podemos observar que el tamaño de las partículas es uniforme y adecuado para nuestro propósito ver **Figura. 32**, con las cuales procederemos a medir para obtener datos del tamaño de dichas partículas.

Figura. 32. Partículas de vidrio.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

1.7.23. Medición de las partículas.

Para establecer los parámetros y realizar los ensayos, hay que medir el tamaño de las partículas que se usaran como refuerzo, la herramienta de precisión adecuada, por el tamaño

de las mismas, es un micrómetro que tiene una apreciación de 0,01 mm para realizar las mediciones.

Partículas de vidrio: En las partículas de vidrio se observó luego de realizar la medición de 50 partículas al azar, que las dimensiones tienen un promedio de 0,36 mm, con una desviación estándar de 0,027 mm entre todas las muestras medidas.

Partículas de aluminio: al realizar la medición de las partículas de aluminio al azar de 50 muestras se obtuvo un promedio de 0,23 mm con una desviación estándar de 0.008 mm.

Estas son los promedios del tamaño de las partículas luego de haber tomado las mediciones y realizar los cálculos correspondientes para determinar la desviación estándar que indica que tan dispersos se encuentran los datos y ayuda a determinar la precisión de las medidas obtenidas.

1.7.24. Análisis de las mezclas.

Al formar un material compuesto tenemos que garantizar una mezcla sea homogénea y uniforme. Además, que las partículas estén cubiertas en su totalidad por la matriz, es por esto que el refuerzo no tiene que sobrepasar el volumen de la matriz.

Entonces para un ensayo tracción la norma específica que sea de cinco probetas por cada uno de estos, es así que para el volumen total de probetas $V_{TOT} = 0,279 \text{ cm}^3$ tenemos:

Ecu 36:

Masa total a inyectar.

$$\begin{aligned}m_{\text{Tiny}} &= (V_{\text{TOT}})(\rho_{\text{PEBD}}) \\m_{\text{Tiny}} &= (279 \text{ cm}^3) \left(0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) \\m_{\text{Tiny}} &= 256.68 \text{ g}\end{aligned}$$

Donde:

ρ_{PEBD} = Densidad del polietileno de baja densidad.

Como se considera un 30% de pérdidas en el proceso de inyección tenemos:

$$m_{30\%} = (m_{\text{Tiny}}) + (30\%)$$

$$m_{30\%} = (256.68 \text{ g}) + (77,005\text{g})$$

$$m_{30\%} = 333,69 \text{ g}$$

Como la relación entre la matriz y el refuerzo 70% y 30% tenemos.

Ecu 37:

Masa de la matriz.

$$m_{\text{mat}} = \frac{(30\%)(\rho_{\text{PEBD}})}{100}$$

$$m_{\text{mat}} = \frac{(70\%)(333,69 \text{ g})}{100}$$

$$m_{\text{mat}} = 233,58\text{g}$$

Entonces:

Ecu 38:

Masa del refuerzo.

$$m_{\text{ref}} = \frac{(30\%)(\rho_{\text{PEBD}})}{100}$$

$$m_{\text{ref}} = \frac{(30\%)(333,69 \text{ g})}{100}$$

$$m_{\text{ref}} = 100,11 \text{ g}$$

En la inyección se establece la relación es del 70% que corresponde a una masa de $m_{\text{mat}} = 233,58\text{g}$ y 30% que corresponde a una masa de refuerzo de $m_{\text{ref}} = 100,11 \text{ g}$, todas estas mediciones se dan con respecto al peso total de la matriz, esto para ambos refuerzos del material compuesto (PEBD más vidrio y PEBD más aluminio).

1.7.25. Inyección de las probetas.

Al terminar con la construcción del molde, máquina, estructura, y realizar las instalaciones eléctricas y del control de temperatura, ponemos en operación para realizar las primeras inyecciones en el molde del PEBD sin refuerzo que es con el cual realizaremos nuestras comparaciones observando si existe o no alguna mejora en sus propiedades, después hacer los ensayos con todas las probetas.

Para realizar la primera prueba se introduce dentro de la camisa de inyección el equivalente a $m_{30\%} = 333,69 \text{ g}$ PEBD, se calibra a la temperatura de fusión del polietileno 115°C y se inyecta la primera probeta.

Luego de esto se establece que el molde tiene que estar precalentado para que el polietileno de baja densidad fluya sin detenerse en los puntos fríos de la máquina obstruyendo el flujo y bloqueando el volante, produciendo probetas incompletas ver **Figura. 34**, además se tiene que refrigerar el molde después de la inyección, para garantizar que la probeta se solidifique ver **Figura. 33**, obteniendo probetas macizas y sin socavaciones.

Figura. 33. Primer intento de inyección.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Con los parámetros de temperatura y con el incremento a 200°C corroboramos la temperatura asumida en los cálculos en el punto 4.1.8. Para inyección y un tiempo promedio de manufactura por probeta de 25 minutos.

Figura. 34. Probeta de PEBD incompleta.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Como se establece en el punto anterior la mezcla es de 70 % de PBDE y 30 % de refuerzo, entonces para la inyección en las probetas con matriz polimérica y refuerzo se pesan cada uno de los materiales, luego que el PEBD se encuentre en un estado pastoso introducimos

y refuerzo, lo mezclamos ver **Figura. 35**, este proceso se repite para el vidrio y aluminio, así obtenemos las probetas para los ensayos respectivos ver **Figura. 36**.

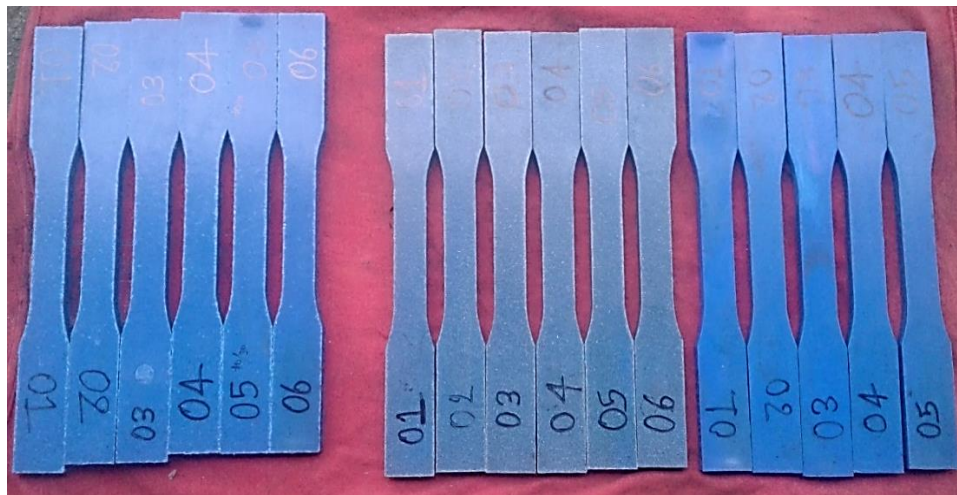
Figura. 35. Proceso de mezclar el PEBD más el refuerzo.



Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Figura. 36. Probetas con matriz polimérica y refuerzos.



Fuente: Investigación de campo.

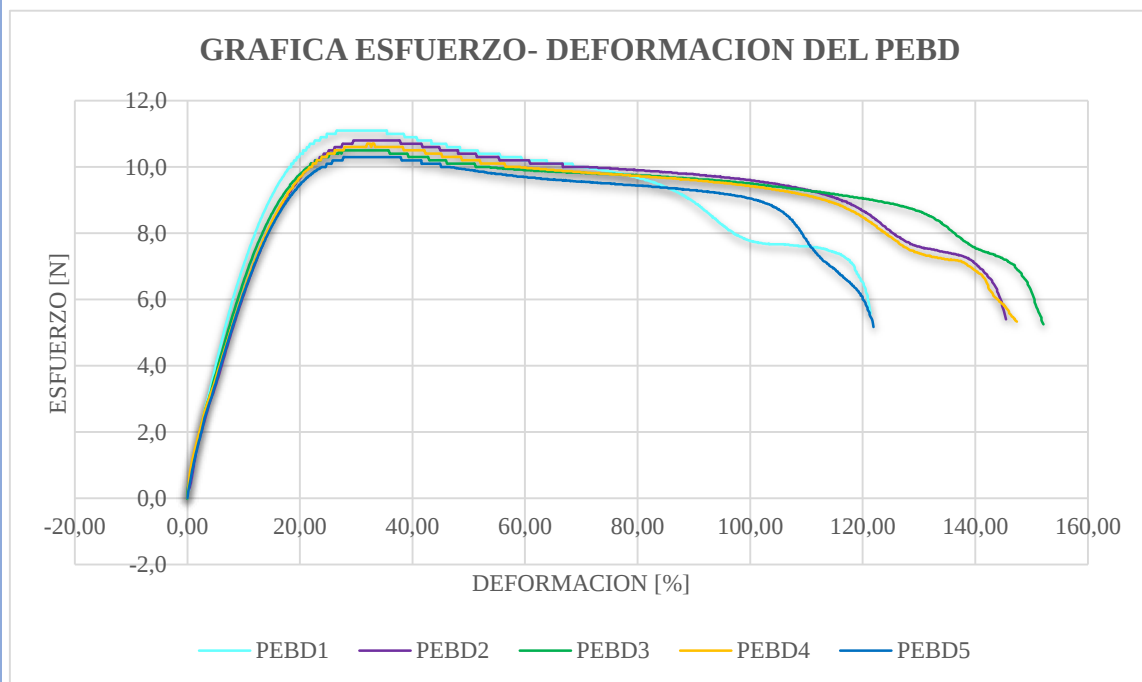
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

De derecha a izquierda tenemos las probetas con refuerzo de vidrio, aluminio y sin refuerzo.

1.7.26. Ensayo de tracción y dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA MECÁNICA MATERIAL MATRIZ 						
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
Ensayo de Tracción y Dureza						
Datos Informativo:						
Lugar:	USFQ ; LEMAT - ESPOL					
Fecha:	Quito, 16/05/2019 ; Guayaquil 22/05/2019					
Tipo de máquina:	Tinnius Olsen ; Durómetro Shore -D					
Norma:	ASTM D-638 ; ASTM D-2240					
Realizó:	Revisó:					
Ing. Javier Miranda; Tnlgo. Jairo Triguero	Ing. Emerson Vera ; Ing. Gabriel Arellano					
Parámetros de Ensayo:	PEBD					
Matriz:	PEBD	Fracción en peso:	100%			
Refuerzo:		Fracción en peso:	0%			
Tamaño de Partícula:	Hojuelas	Método de Fabricación:	Inyectadas			
Número de probetas:	5	Dimensión de Probetas:	246 x 29mm			
Velocidad de ensayo:	5 mm/min	Espesor Promedio:	9mm			
Temperatura:	20 °C	Peso de las Probetas:	47,44			
Tabulación de Resultados:						
Numero de Probeta	Fuerza Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Esfuerzo a la Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ultimo [Mpa]	Elongación [%]
PEBD1	1810	10,80	51,33	8,90	5,57	121
PEBD2	1800	10,60	58,33	8,67	5,40	145
PEBD3	1810	10,50	53,81	8,70	5,25	152
PEBD4	1830	10,70	51,58	8,80	5,33	152
PEBD5	1780	10,30	52,51	8,70	5,17	121
Promedio x	1806	10,58	53,51	8,75	5,34	138,2
Desviación estándar	18,17	0,19	2,86	0,10	0,15	15,96
Fotografías del Ensayo:						
						

Gráfica de Resultados:



Observaciones:

No aplica

Evaluación:

Esfuerzo Ultimo	5,34 [Mpa]
Esfuerzo máximo promedio:	10,58 [Mpa]
Módulo de elasticidad promedio:	53,51 [Mpa]
Dureza Promedio 5 ensayos:	53,2 [Shore-D]



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA MECÁNICA
MATERIAL COMPUESTO



FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

Ensayo de Tracción y Dureza

Datos Informativo:

Lugar:	USFQ ; LEMAT - ESPOL		
Fecha:	Quito, 16/05/2019 ; Guayaquil 22/05/2019		
Tipo de máquina:	Tinnius Olsen ; Durómetro Shore -D		
Norma:	ASTM D-638 ; ASTM D-2240		
Realizó:	Revisó:		
Ing. Javier Miranda; Tnlgo. Jairo Triguero	Ing. Emerson Vera ; Ing. Gabriel Arellano		
Parámetros de Ensayo:	PEBDV		
Matriz:	PEBD	Fracción en peso:	70%

Refuerzo:	VIDRIO	Fracción en peso:	30%
Tamaño de Partícula:	0,365 mm	Método de Fabricación:	Inyectadas
Número de probetas:	5	Dimensión de Probetas:	246 x 29mm
Velocidad de ensayo:	5 mm/min	Espesor Promedio:	9mm
Temperatura:	20 °C	Peso de las Probetas:	60,50

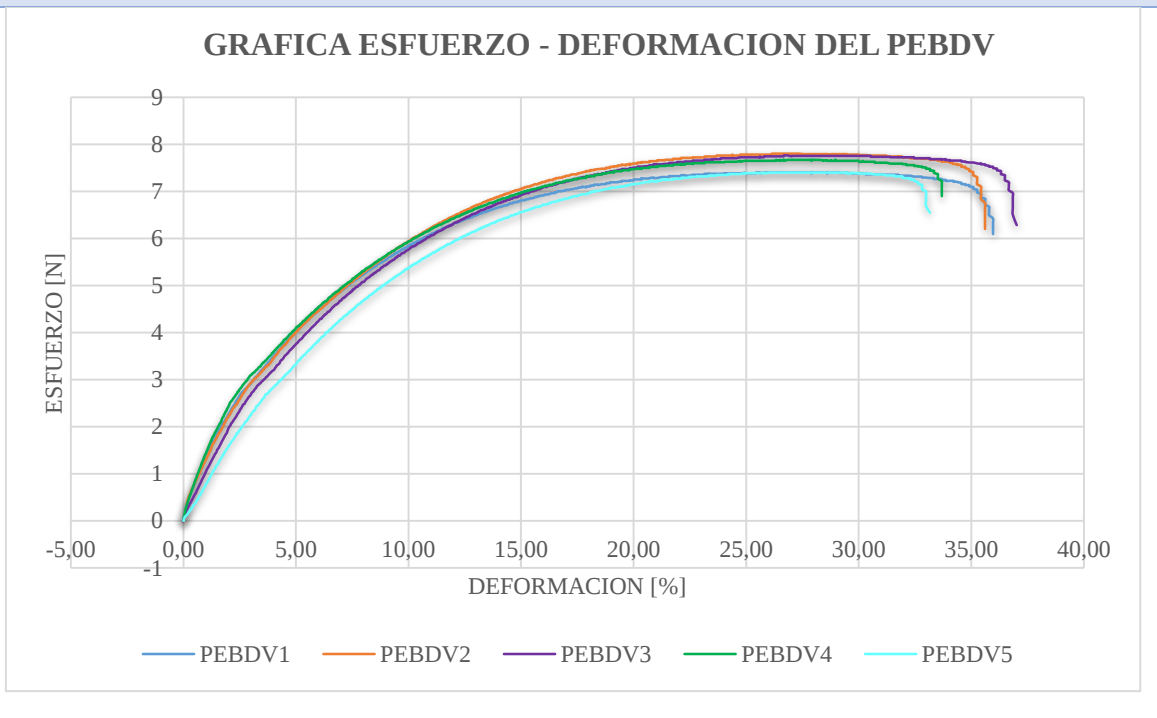
Tabulación de Resultados:

Numero de Probeta	Fuerza Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Esfuerzo a la Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ultimo [Mpa]	Elongación [%]
PEBDV1	1310	7,70	82,56	3,42	6,09	35,96
PEBDV2	1320	7,80	97,67	3,60	6,20	35,61
PEBDV3	1310	7,76	83,29	3,42	6,28	36,70
PEBDV4	1290	7,67	96,06	3,50	6,90	33,68
PEBDV5	1250	7,40	69,88	3,38	6,55	33,16
Promedio x	1296	7,67	85,89	3,46	6,40	35,02
Desviación estándar	27,93	0,16	11,36	0,09	0,33	1,53

Fotografías del Ensayo:



Gráfica de Resultados:



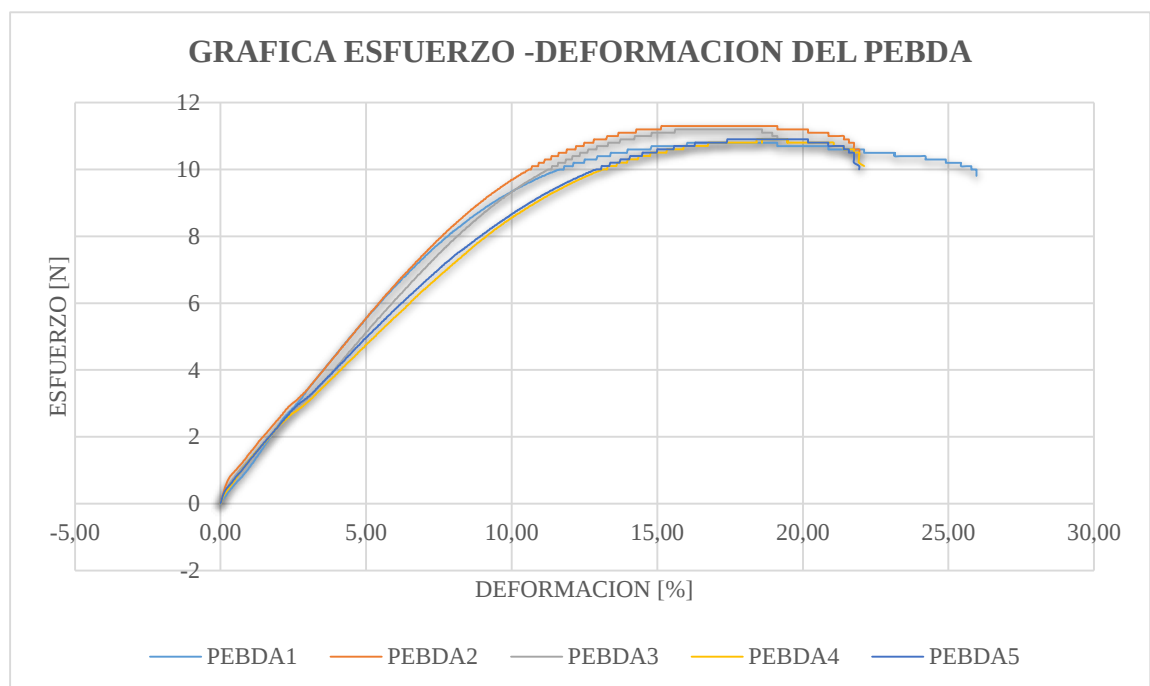
Observaciones:	
No aplica	
Evaluación:	
Esfuerzo Ultimo	6,40 [Map]
Esfuerzo máximo promedio:	7,67 [Mpa]
Módulo de elasticidad promedio:	85,89 [Mpa]
Dureza Promedio 5 ensayos:	54,2 [Shore-D]

 UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA MECÁNICA MATERIAL COMPUESTO 						
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
Ensayo de Tracción y Dureza						
Datos Informativo:						
Lugar:	USFQ ; LEMAT - ESPOL					
Fecha:	Quito, 16/05/2019					
Tipo de máquina:	Tinnius Olsen ; Durómetro Shore -D					
Norma:	ASTM D-638 ; ASTM D-2240					
Realizó:	Revisó:					
Ing. Javier Miranda; Tnlgo. Jairo Triguero	Ing. Emerson Vera ; Ing. Gabriel Arellano					
Parámetros de Ensayo:	PEBDA					
Matriz:	PEBD	Fracción en peso:	70%			
Refuerzo:	ALUMINIO	Fracción en peso:	30%			
Tamaño de Partícula:	0,235 mm	Método de Fabricación:	Inyectadas			
Número de probetas:	5	Dimensión de Probetas:	246 x 29mm			
Velocidad de ensayo:	5 mm/min	Espesor Promedio:	9mm			
Temperatura:	20 °C	Peso de las Probetas:	61,20			
Tabulación de Resultados:						
Numero de Probeta	Fuerza Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Esfuerzo a la Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ultimo [Mpa]	Elongación [%]
PEBDA1	1880	10,80	106,74	8,25	9,81	25,96
PEBDA2	1970	11,30	107,73	8,49	10,40	21,93
PEBDA3	1960	11,20	99,82	8,39	10,90	19,93
PEBDA4	1900	10,90	89,31	8,52	10,10	22,11
PEBDA5	1870	10,90	93,5	8,33	10,00	21,93
Promedio x	1916	11,02	99,42	8,40	10,24	22,37
Desviación estándar	46,15	0,22	8,06	0,11	0,43	2,20

Fotografías del Ensayo:



Gráfica de Resultados:



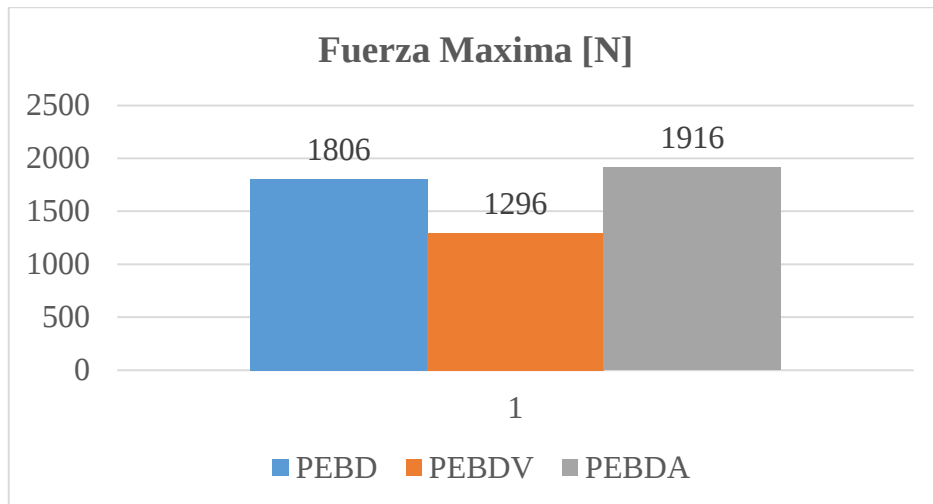
Observaciones:

No Aplica

Evaluación:

Esfuerzo Ultimo	10,24 [Mpa]
Esfuerzo máximo promedio:	11,02 [Mpa]
Módulo de elasticidad promedio:	99,42 [Mpa]
Dureza Promedio 5 ensayos:	52,9 [Shore-D]

Figura. 37. Comparativa de la Fuerza Máxima en los tres ensayos.



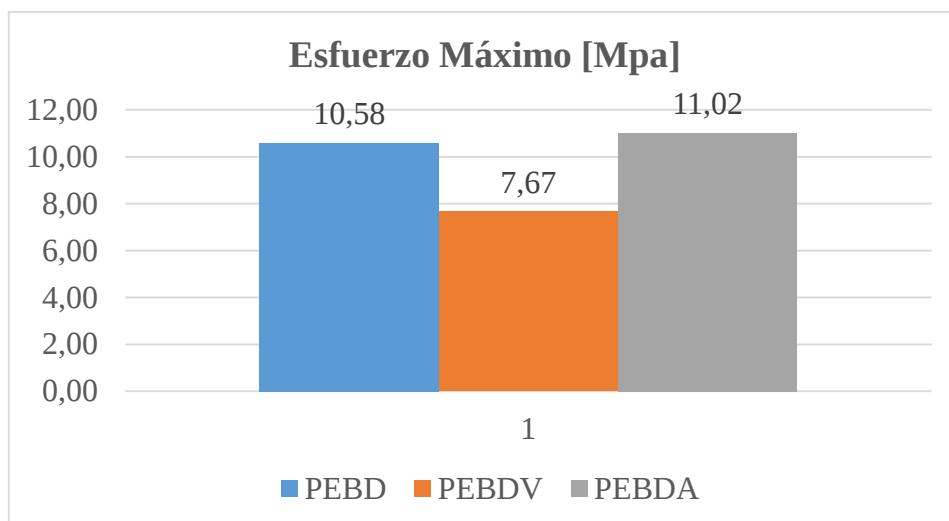
Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

- **Fuerza máxima:**

Se observa en la **Figura. 37** que de los tres materiales sometidos a ensayos, la propiedad de fuerza máxima aplicada sobre las probetas, el material compuesto con aluminio PEBDA obtuvo una mejora de 1916 [N] a comparación del otro compuesto con vidrio PEBDV con 1296 [N] este pierde en relación a su matriz PEBD con 1806 [N].

Figura. 38. Comparativa del Esfuerzo Máximo con los tres ensayos.



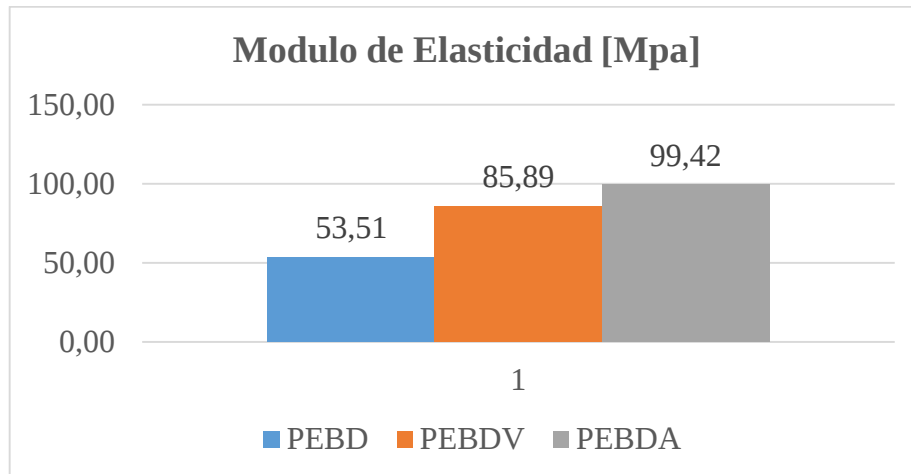
Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

- **Esfuerzo máximo:**

Los resultado que se obtuvo en la **Figura. 38** respecto a la propiedad del esfuerzo máximo el compuesto con aluminio PEBDA es el que tiene una mejora de 11,2 Mpa en diferencia a su matriz el PEBD con 10,58 Mpa y sobre el compuesto con vidrio PEBDV con 7,67 Mpa.

Figura. 39. Comparativa del Módulo de Elasticidad de los tres ensayos.



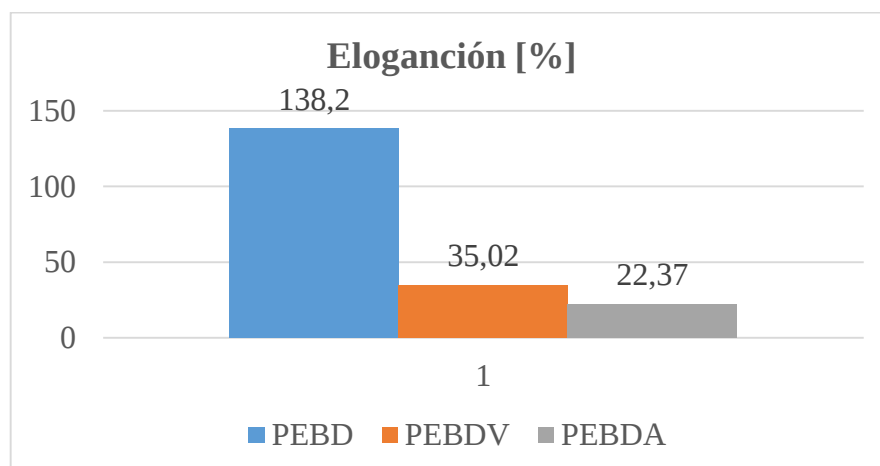
Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

- **Módulo de elasticidad:**

En el módulo de elástico se observa en la **Figura. 39** que el compuesto con partículas de aluminio PEBDA tiene 99.42 [Mpa], superando a la matriz PEBD y a compuesto PEBDV que tienen un valor más bajo.

Figura. 40. Comparativa de la Elongación de los tres ensayos.



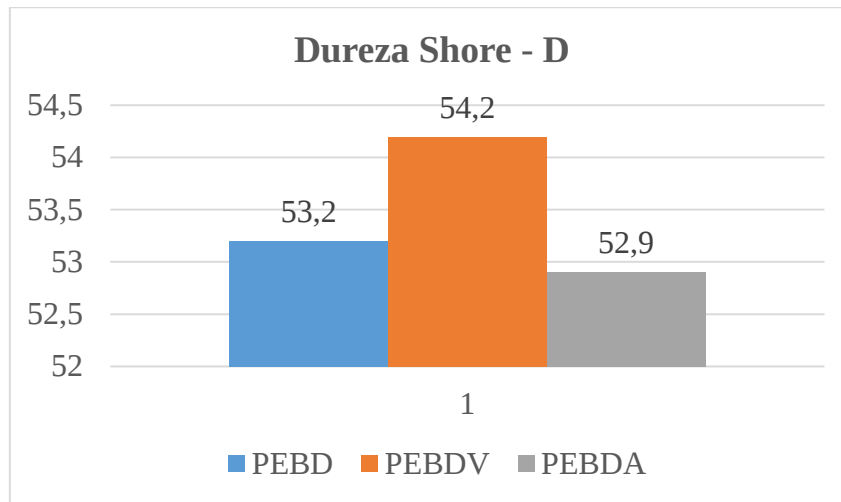
Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

- **Elongación:**

En la elongación **Figura. 41** el material PEBD supera con un valor de 138.2 %, con respecto a los materiales compuesto que perdieron parte de esta propiedad por la adherencia de las partículas de refuerzo.

Figura. 41. Comparativa de la Dureza Shore - D de los ensayos.

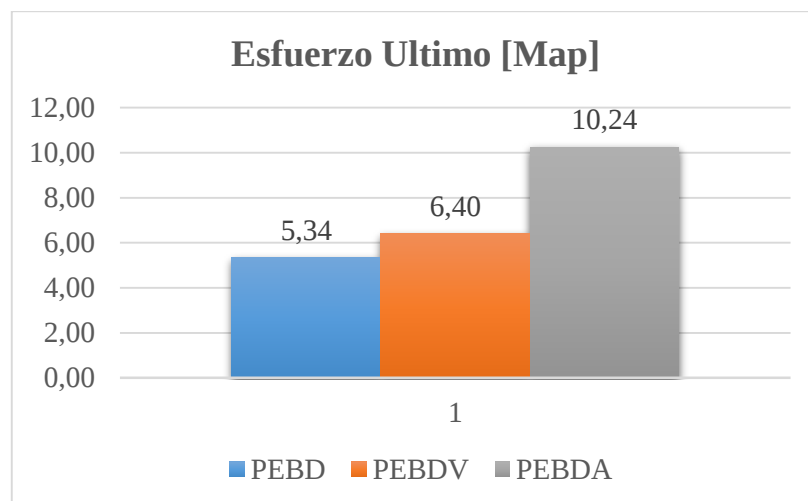


Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

En la propiedad como es la dureza Shore- D para este caso según la norma ASTM D_2240 que se le aplico, observamos que el compuesto con partículas de vidrio (PEBDV) es el más duro seguido del PEBD y PEBDA.

Figura. 42. Comparativa del esfuerzo último.



Fuente: Investigación de campo.

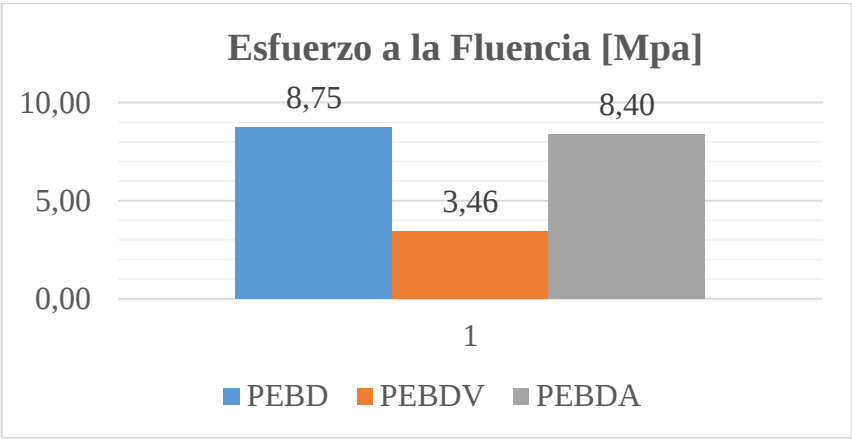
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Se observa que el compuesto con aluminio PEBDA obtiene una mejora en el esfuerzo ultimo o esfuerzo a la rotura, este compuesto tiene 10,24 [Mpa] en relación a los dos material, esto supera al de la matriz que tiene 5,34 [Mpa] y el compuesto con vidrio PEBDV que tiene 6,40 [Mpa].

- **Esfuerzo a la fluencia:**

Este dato se obtuvo por medio de la gráfica esfuerzo-deformación, trazando una línea perpendicular a 0.2% desde su deformación, se observó que la matriz sigue superando, a los materiales compuestos (PEBDA, PEBDV), esta propiedad sufrió un cambio desfavorable al formar los compuestos con partículas como se observa en la siguiente figura:

Figura. 43. Comparativa al esfuerzo a la fluencia.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

A continuación, pueden observar las diferencias porcentuales de las propiedades obtenidas de los materiales compuestos y su matriz.

COMPARACIÓN ENTRE PEBD vs PEBDV						
Fuerza Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Esfuerzo a la Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ultimo [Map]	Elongación [%]	Dureza Shore-D
-28%	-28%	61%	-60%	20%	-75%	2%

Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Se determinó según la tabla que el PEBD vs el PEBDV tiene una perdida en cinco propiedades (Fuerza Máxima, Esfuerzo Máximo, Esfuerzo Ultimo, Esfuerzo a la Fluencia,

Elongación, Dureza Shore) y tiene una ganancia en dos propiedades (Modulo de Elasticidad, Esfuerzo Ultimo).

COMPARACIÓN PEBD vs PEBDA						
Fuerza Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Esfuerzo a la Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ultimo [Mpa]	Elongación [%]	Dureza Shore-D
6%	4%	86%	-4%	92%	-84%	-1%

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Se observa que entre el PEBD y el compuesto PEBDA este último tiene una mejora en cuatro propiedades (Fuerza Máxima, Esfuerzo Máximo, Modulo de Elasticidad, Esfuerzo Ultimo) y perdida en tres propiedades (Esfuerzo a la Fluencia, Elongación, Dureza Shore)

COMPARACIÓN PEBDA vs PEBDV						
Fuerza Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Esfuerzo a la Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ultimo [Mpa]	Elongación [%]	Dureza Shore-D
48%	44%	16%	142%	60%	-36%	-2%

Fuente: Investigación de campo.

Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Mientras que entre los dos compuestos PEBDA y PEBDV se observa que este último solo en dureza supera al compuesto con aluminio.

1.7.27. Presupuesto estimado en la elaboración de la investigación.

En base a información recopilada se conoce el costo que tienen los materiales para la construcción del prototipo en la investigación.

Costos directos			
Descripción	Cantidad	V. Unit	Total
Tubo Cuadrad de 20 mm x 20 mm x 1,5 mm	1	\$ 6,41	\$ 6,41
Tubo Redondo 3 pulg x 30 mm x 4 mm	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Acero 1018 3 pulg x 57 mm	1	\$ 5,36	\$ 5,36
Acero 1018 4 pulg x 29 mm	1	\$ 5,36	\$ 5,36
Acero 1018 3 1/2 pulg x 72 mm	1	\$ 8,93	\$ 8,93
Acero 1018 2 1/2 pulg x 22 mm	1	\$ 1,79	\$ 1,79
Platina 1/2 pulg x 500 mm	1	\$ 1,34	\$ 1,34
Rodelas planas 7/16 pulg	2	\$ 0,12	\$ 0,24
Perno milimétrico M8x35 mm	6	\$ 0,25	\$ 1,50
Tuerca M8	6	\$ 0,11	\$ 0,66
Perno milímetros M6x10 mm	5	\$ 0,15	\$ 0,75
Perno milimétrica M6x45 mm	2	\$ 0,30	\$ 0,60
Perno milimétrica M6x35 mm	4	\$ 0,20	\$ 0,80
Tuerca M6	11	\$ 0,10	\$ 1,10
Resistencia eléctrica tipo abrazadera	1	\$ 32,00	\$ 32,00
Cable #12 Flexible	14	\$ 0,65	\$ 9,10
Pintura en Spray Econ Negro	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Termocupla	1	\$ 4,97	\$ 4,97
Broca Metálica 5/32 pulg	1	\$ 1,35	\$ 1,35
Estilete Grande	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Lana de Vidrio	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Pirómetro Termostato Digital	1	\$ 49,00	\$ 49,00
Contactor	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Breaker Eléctrico	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Enchufe	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Balanza digital	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Corte por chorro de agua	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Plancha de acero de 290 mm x 72 mm x 10 mm	3	\$ 11,00	\$ 33,00
Barrilla lisa 628 mm x 15 mm	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Cinta aislante	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Terminales Planos	2	\$ 0,15	\$ 0,30
Terminales Redondos	8	\$ 0,15	\$ 1,20
Viáticos	2	\$ 26,00	\$ 52,00
Subtotal			\$ 284,26

Se detalla a continuación los costos por mano de obra en la construcción del prototipo.

Mano de Obra				
Descripción	Número de obreros	Salario/hora	Hora	Total
Soldador	1	\$ 3,00	8	\$ 24,00
Tornero	1	\$ 4,00	16	\$ 64,00
Maestro Mecánico	1	\$ 5,00	16	\$ 80,00
Subtotal				\$ 168,00

Se realiza la suma total de los costos indirectos en la construcción más la mano de obra.

Costo total	
Subtotal(costo directo + mano de obra)	\$ 452,26
Costo imprevisto 5%	\$ 22,61
Total	\$ 474,87

Como se observa la suma total de todos los gastos para la construcción de la máquina inyectora ascienden a \$475,87 dólares que es la inversión necesaria para completar con el proceso de construcción del prototipo de máquina inyectora.

Cabe mencionar que los gastos indirectos en la construcción del prototipo de inyección antes mencionados fueron cubiertos por un auspiciantes ya que no contábamos con los recursos económicos suficientes para cubrir con todo los gastos.

CAPITULO V
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

1.1. Conclusiones.

- Mediante investigación se establecieron las propiedades físico-mecánicas de los materiales (PEBD, aluminio, vidrio) como el punto de transición vítrea y el punto de fusión de los materiales. Entre las propiedades físicas se destaca que la densidad es mayor en el Aluminio con $2,7 \text{ g/cm}^3$, y es menor en el Vidrio con un valor de $2,5 \text{ g/cm}^3$, el PEBD tiene una densidad de $0,91 \text{ g/cm}^3$. Entre las propiedades mecánicas el módulo de elasticidad es mayor en el Vidrio con 69 GPa y es menor en el aluminio con 66,6 GPa mientras que en el PEBD es de 0,25 GPa. La dureza es mayor en el vidrio con 500 HV y menor en el Aluminio con 120 HV y el PEBD tiene una dureza de 46 Shore. Además, tiene afinidad en formar compuestos por medio de adhesión entre las partículas incrustadas y la matriz.
- El prototipo desarrollado es de operación manual, su capacidad de inyección es de 0.791 kg, la cual permite la obtención de 15 probetas en una carga. La temperatura de operación del PEBD en el interior de la camisa de inyección se estableció en 200 °C. El prototipo está conformado por: volante, tornillo, boquilla, camisa, y el molde que permitirá la obtención de las probetas con material compuesto bajo norma ASTM.
- La carga total que soporta la estructura del conjunto máquina inyectora – molde es de 8,83 Kg, por lo que la estructura está sobredimensionada con un factor de seguridad de 15. El sistema de control para aumentar y estabilizar la temperatura en 200 °C consta de un termostato digital, termocupla y contactor.
- Para el procesamiento del material compuesto, el PEBD reciclado fue transformado en hojuelas mediante corte manual. El refuerzo de vidrio se obtuvo por trituración manual y se tamizó a un tamaño de partícula promedio de 0,36 mm. Las partículas de aluminio se obtuvieron mediante un proceso de mecanización con tamaño promedio de partícula de 0,23 mm. El método de mezcla fue por agitación manual en la camisa, en proporción de 70 % matriz (PEBD) y 30% de refuerzo (Aluminio o Vidrio), las dimensiones de las probetas fueron acorde la norma ASTM D-638.

- En las pruebas de tracción al reforzar con vidrio al PEBD se evidenciaron aumentos del 61 % en el módulo de elasticidad y del 20% en el esfuerzo último a la tensión. Mientras que, al reforzarlo con aluminio, el aumento el esfuerzo último fue de 92% y un 86% el módulo de elasticidad, mientras que en el ensayo de dureza el compuesto con vidrio aumento 2% y disminuye 1% el que tiene refuerzo de aluminio. Por lo tanto se concluye que las propiedades mecánicas del PEBD mejoran con los refuerzos.
- Se concluye que las partículas de aluminio al tener un menor tamaño dan como resultado la dispersión de la dureza en la matriz es por esto que presenta perdida en la dureza en comparación a las partículas de vidrio que, al ser de mayor tamaño, la carga es compartida con la matriz, se infiere que el aumento de dureza se da porque la matriz se deforma de modo que la carga en esencia es soportada por el refuerzo. Mientras que con las partículas de aluminio al ser de menor tamaño los esfuerzos de tensión superan al del PEBD y al compuesto con vidrio, porque en efecto es la matriz misma la que aumenta la resistencia y ninguna porción significativa de la carga que se aplica es soportada por el refuerzo.

1.2. Recomendaciones.

- Luego de inyectar debe limpiarse la camisa de inyección internamente para evitar que los remanentes PEBD y refuerzos se solidifiquen atascando el émbolo.
- Al introducir las partículas y hojuelas se debe tener cuidado de no derramar por los costados para que no se acumulen entre la fibra de vidrio y la resistencia.
- Se recomienda fabricar más probetas de materiales compuestos con diferentes proporciones y tamaño de partículas para realizar un estudio más profundo.
- Luego de inyectar y para continuar con las mismas limpiar cualquier residuo para eliminar defectos e incrustaciones no deseadas en la probeta.
- Se recomienda usar guantes para montar y desmontar el molde.

- Al ubicar el prototipo hacerlo en una superficie plana para garantizar la estabilidad de la misma.
- Al momento de colocar la probeta en la máquina de ensayos de tracción se debe tener en cuenta las medidas que especifica la norma para la ubicación de las mordazas y que se encuentre en posición vertical.
- Al inyectar se debe precalentar el molde a la temperatura de operación del PEBD para garantizar que el material ocupe toda cavidad del molde.
- Al momento de triturar el vidrio usar protectores para evitar que las partículas salten a los ojos.
- Luego de recolectar el PEBD y vidrio debe lavarse para eliminar suciedades que puedan tener por estar en la basura.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

1.1. Bibliografía.

- [1] S. B. Herrero y J. I. Ulargui, Introducción al Conocimiento de Materiales, Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid, 2014.
- [2] J. Willaim D. Callister, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, New York, U.S.A.: Reverté, S. A., 2007.
- [3] E. DeGamo, J. T. Black y R. A. Kohser, Materiales y Procesos de Fabricación, España: Reverté, S. A., 2002.
- [4] Á. V. Ortuño, Introducción a la Química Industrial, Barcelona - España: REVERTÉ S. A., 1999.
- [5] H. R. Corti, Una Mirada Fisicoquímica a Través del Vidrio, Buenos Aires: Eudeba, 2008.
- [6] V. R. Z. V. M. C. M. Rosalba Fuentes Ramirez. Efrain Rubio Rosas, «Corportamiento Tribológico de Aluminio sinterizado y desgastado bajo distintas condiciones,» de *Universidad de Guanajuato* , Mexico, 2003.
- [7] X. E. Castells y Cols, Tipología de los Residuos en Orden a su Reciclaje, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [8] S. y. S. R. S. Kalpakjian, Manufactura, Ingeniería y Tecnología., México.: Pearson Educación., 2008.
- [9] E. A. G. Pascual, Reparación y Conformación de Elementos Sintéticos, España: Elearning S.L., 2015.
- [10] J. F. Shackelford, Introdduccion a la Ciencia de los Materiles para Ingenieros., Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, SA., 2005.
- [11] M. P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna, Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2007.
- [12] M. P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna, Mexico: Pearson Educación, 1997.
- [13] H. Odetti y E. Bottani, Introducción a la Química Inorgánica, Argentina : EdicionesUNL, 2006.
- [14] G. E. Rodgers, Química Inorgánica, Madrid: Mc Graw-Hill, 2000.

- [15] M. L. C. Alvarez, El ABC de Los Plásticos, America: Universidad Iberoamericana , 1997.
- [16] XavierRiba, «El Reciclaje del Vidrio,» *Recupera*, nº 101, pp. 6-7, 10 2017.
- [17] Cerem Comunicación, 23 02 2017. [En línea]. Available: <https://www.cerem.ec/blog/segunda-vida-para-el-aluminio>. [Último acceso: 18 10 2018].
- [18] D. R. Askeland, P. P. Fulay y W. J. Wrigth, Ciencia e Ingeniería de Materiales, Santa Fe: Cengage Learning Editores. S. A., 2012.
- [19] S. B. H. A. M. C. L. José Ramón GIL BERCERO, Introducción al Conocimiento de los Materiales y a sus Aplicaciones, Madrid: UNED, 2010.
- [20] A. Internacional, ASTM D2240 - Standard Test Method for Rubber Property, Durometer Hardness, Ginebra: ASTM, 2010.
- [21] A. internacional, ASTM D638 - 03 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, New York: ASTM, 2003.
- [22] C. R. Romeva, Diseño Concurrente, Catalunya : UPC, 2002.
- [23] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, The McGraw Hill: New York, 2012.
- [24] P. C. Mercè, A. O. Pastor, P. P. Castaño, R. S. Pèrez, J. M. Saiz, J. M. C. Gálvez, C. C. Arándiga y J. R. Sánchez., Ergometal. Manual de Ergonomía para Maquinas del Sector del Metal, Valencia : Instituto de biomecànica de Valencia , 2010.
- [25] S. R. S. Serope Kalpakjian, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Mexico: Prentice Hall , 2002.
- [26] J. L. H. RIVERA y J. G. ROCHA, Ciencia y Desarrollo, 02 2010. [En línea]. Available: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/240/Articulos/MaterialesCompuestos/MaterialesCompuestos2.html>. [Último acceso: 19 10 2018].
- [27] Textos Cientificos.com, 08 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno>.
- [28] B. D. M. Bryce, Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals, United States Of America: Copyright, 1996.

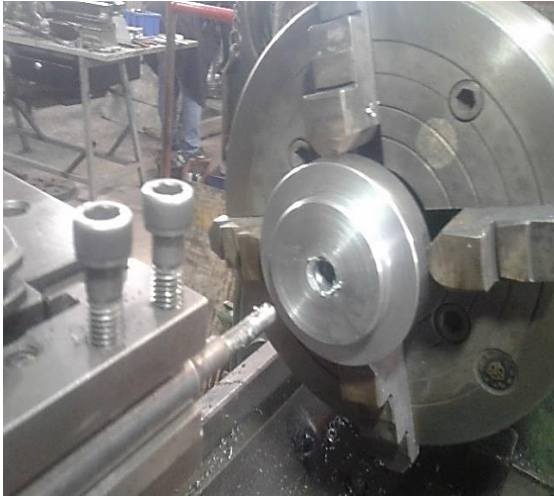
- [29] M. d. p. e. p. l. p. d. c. ASTM D2240-15e1, «ASTM International, West Conshohocken,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/Standards/D2240>. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- [30] C. E. d. Costa, F. Velasco y J. M. T. Castelló, «Materiales Compuestos de Matriz Máfica. I parte. Tipos, Propiedades, Aplicaciones,» *Materiales compuestos de matriz metálica*, vol. SN, nº SN, p. 1, 04 2000.
- [31] Mariano, «Tecnología de los Plástico,» 11 Julio 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>. [Último acceso: 16 02 2018].

CAPITULO VII

ANEXOS

1.1. Anexos.

Anexo 1. Mecanizado de la tapa tuerca de la camisa de inyección.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 3. Realizando el escariado de la cilindro de inyección.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 2. Fabricación de la rosca cuadrada.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 4. Unión por soldadura del volante.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 5. Cilindro de inyección con sus soportes soldados.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 7. Ensamblaje de la inyectora más estructura y molde.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 6. Molde inyectado con la probeta.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]

Anexo 8. Probetas Inyectadas.



Fuente: Investigación de campo.
Autor: Quinto Luis, Sarabia Jonathan [2019]