



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Empleo del nylon resultante del reciclaje de neumáticos para la fabricación de la toma del termostato del vehículo Hyundai Accent mediante la inyección de plástico.

Realizado por:

Jara Martínez Jhon Daniel

Director del proyecto:

PhD Diana Belén Peralta Zurita, Msc.

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN DISEÑO MECÁNICO
MENCION FABRICACIÓN DE AUTOPARTES DE VEHÍCULO**

QUITO, marzo del 2023

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Jhon Daniel Jara Martínez, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1722265418, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



JHON DANIEL JARA MARTINEZ
C.I.: 1722265418

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



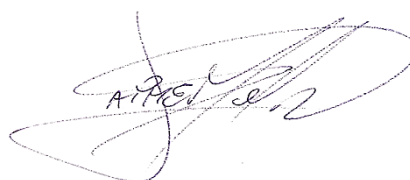
PhD. Diana Belén Peralta Zurita Msc.

LOS PROFESORES INFORMANTES:
ING. EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO, PhD
JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS, Msc.

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.



Edilberto Llanes, PhD



Jaime Molina, Msc.

Quito, 01 de marzo de 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ
C.I.: 1722265418

Índice de contenido

Resumen	16
Abstract	18
Introducción	20
Antecedentes	20
Planteamiento del problema	23
Justificación	24
Hipótesis	25
Estado del arte	27
Nylon	27
Propiedades del Nylon	27
Nylon 6	28
Aplicaciones típicas del nylon 6	28
Contracción del nylon 6	29
Causas de encogimiento excesivo	30
Tracción mecánica	31
Materiales alternativos para mezclar con el nylon reciclado	32
Inyección de plástico	33
Fundamentos del moldeo por inyección	34
Creación y funciones del molde de inyección	35
Ciclo común de moldeo	36
Elementos y definiciones del molde de inyección	37
Clasificación de coladas y entradas	39
Sistema de colada fría	39
Moldes de canal caliente	42
Sistemas de canal frío	43
Variables y sus definiciones que son usadas en el proceso de inyección	43
Temperaturas	43
Velocidad	44

EMPLEO DEL NYLON RECICLADO PARA INYECCION DE PLASTICOEL
 RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL
 TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO. 7

Presión	45
Distancias	45
Tiempos	46
Temperatura vítrea (Tg)	46
Diseños de moldes para inyección de plástico por medio de software CAD y CAM	48
Sistema de refrigeración del M.C.I.	50
Termostato	52
Descripción de las normas de ensayo para materiales compuestos	53
Ensayos de tracción ASTM – D3039	54
Ensayos de flexión ASTM – D7264	55
Método	57
Objeto de Estudio	57
Metodología	57
Procesos de refinamiento del nylon reciclado	61
Mezclas y pruebas con resina poliéster y fibra de vidrio	64
Tratamiento del nylon reciclado de manera individual	69
Fabricar el molde de las probetas aplicando las normas ASTM D3039, ASTM D7624	71
Aceros utilizados para la creación del molde	77
Características técnicas de la maquina CNC	77
Aplicación del diseño experimental (DOE)	79
Diseño experimental factorial	80
Mezclas del nylon reciclado con puro	82
Características técnicas de la maquina inyectora de plástico	87
Calibración de presión y pruebas al inicio de la inyección de plástico	94
Aplicación de pruebas de ensayos mecánicos destructivos de flexión y tracción	95
Aplicación de los ensayos de flexión	95
Aplicación de los ensayos de tracción	99
Resultados	103
Análisis comparativo de las probetas a flexión	103
Análisis ANOVA de resultados de los ensayos de flexión	103
Resultado de las gráficas de los ensayos sometidos a flexión	106
Análisis de la gráfica ETP1 / ASTM-7264	106

EMPLEO DEL NYLON RECICLADO PARA INYECCION DE PLASTICOEL
RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL
TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO. 8

Análisis de la gráfica ETP2 / ASTM-7264	107
Análisis de la gráfica ETP3 / ASTM-7264	108
Análisis comparativo de las probetas a tracción	110
Análisis ANOVA de resultados de los ensayos de tracción	110
Resultado de las gráficas de los ensayos destructivos sometidos a tracción	113
Análisis de la gráfica ETC01 / ASTM-3039	113
Análisis de la gráfica ETC02 / ASTM-3039	114
Análisis de la gráfica ETC03 / ASTM-3039	116
Comparación de las caracterices de la mezcla con nylon reciclado con el material PA GF30	118
Discusión de resultados	120
Conclusiones	123
Recomendaciones	125
Referencias bibliográficas	127
Anexos	131

Índice de figuras

Figura 1 <i>Representación de la estabilidad de los plásticos.</i>	29
Figura 2 <i>Mezcla de resinas con fibra y nylon PA6</i>	33
Figura 3 <i>Elementos de la maquina inyectora de plástico.</i>	35
Figura 4 <i>Ciclo de inyección y moldeo.</i>	37
Figura 5 <i>Elemento de un molde.</i>	38
Figura 6 <i>Colada cónica con o sin barra.</i>	39
Figura 7 <i>Entrada puntiforme.</i>	40
Figura 8 <i>Colada de paraguas.</i>	40
Figura 9 <i>Colada de disco.</i>	41
Figura 10 <i>Entrada laminar o de cinta.</i>	41
Figura 11 <i>Entrada de túnel o submarino.</i>	42
Figura 12 <i>Grafica de velocidad de inyección.</i>	44
Figura 13 <i>Grafica del tiempo de enfriamiento.</i>	46
Figura 14 <i>Representación de la temperatura vítrea.</i>	47
Figura 15 <i>Simulación de mecanizado de molde.</i>	49
Figura 16 <i>Mecanizado por CNC de molde fijo.</i>	50
Figura 17 <i>Sistema de refrigeración del motor de combustión interna.</i>	51
Figura 18 <i>Toma del termostato del Hyundai Accent.</i>	52
Figura 19 <i>Dimensiones de la probeta ensayo de tracción ASTM-D3039.</i>	55
Figura 20 <i>Dimensiones de la probeta para ensayo de flexión ASTM-D7264.</i>	56
Figura 21 <i>Diagrama de flujo de la metodología aplicada.</i>	60
Figura 22 <i>Máquina trituradora de llantas empresa Rubberaction.</i>	61

Figura 23 <i>Proceso de filtrado del nylon reciclado.</i>	62
Figura 24 <i>Relación de peso antes y después de ser filtrado.</i>	62
Figura 25 <i>Residuos de caucho.</i>	63
Figura 26 <i>Nylon reciclado filtrado.</i>	63
Figura 27 <i>Proporción de nylon reciclado 30%.</i>	64
Figura 28 <i>Proporción de resina poliéster 30%.</i>	65
Figura 29 <i>Proporción de fibra de vidrio 2%.</i>	65
Figura 30 <i>Proporción de estireno y resina poliéster.</i>	66
Figura 31 <i>Mezcla de los componentes.</i>	67
Figura 32 <i>Resultante de someter a una alta temperatura.</i>	67
Figura 33 <i>Punto de autoencendido de la mezcla.</i>	68
Figura 34 <i>Elevación de temperatura del nylon reciclado.</i>	69
Figura 35 <i>Temperatura de fusión.</i>	70
Figura 36 <i>Nylon reciclado solidificado.</i>	70
Figura 37 <i>Cavidad móvil.</i>	72
Figura 38 <i>Cavidad fija.</i>	73
Figura 39 <i>Simulación de maquinado de la cavidad móvil en el software inventor CAM.</i>	74
Figura 40 <i>Obtención del código de maquinado para la cavidad fija.</i>	75
Figura 41 <i>Obtención del código de maquinado para la cavidad móvil.</i>	76
Figura 42 <i>Pantalla comunicativa de la maquina inyectora de plástico.</i>	83
Figura 43 <i>Boquilla de la maquina inyectora de plástico.</i>	84
Figura 44 <i>Nylon puro para la mezcla 25%.</i>	85
Figura 45 <i>Mezcla 10% Nylon reciclado.</i>	85
Figura 46 <i>Masterbatch colorante para acabados.</i>	86

Figura 47 <i>Colocación de las mezclas en la tolva de la inyectora.</i>	86
Figura 48 <i>Calibración de los parámetros de la maquina inyectora.</i>	89
Figura 49 <i>Calibración de las temperaturas de la maquina inyectora.</i>	89
Figura 50 <i>Colocación de los moldes en la maquina inyectora.</i>	90
Figura 51 <i>Colocación de los moldes móvil en la maquina inyectora.</i>	91
Figura 52 <i>Colocación del molde fijo en la maquina inyectora.</i>	91
Figura 53 <i>Finalización de la inyección de plástico.</i>	92
Figura 54 <i>Producto final de la inyección de plástico.</i>	92
Figura 55 <i>Producto final de la inyección de plástico 25% nylon reciclado.</i>	93
Figura 56 <i>Probetas de tracción en las proporciones de nylon puro.</i>	93
Figura 57 <i>Probetas de flexión en las proporciones de nylon puro.</i>	94
Figura 58 <i>Proceso de aplicación de ensayos destructivos de flexión.</i>	97
Figura 59 <i>Máquina certificada serie STH/CS para la aplicación de los ensayos de tracción.</i>	99
Figura 60 <i>Grafica de caja de bigotes de las combinaciones propuestas.</i>	105
Figura 61 <i>Diagrama fuerza vs desplazamiento del 10% nylon reciclado (ASTM - 7264).</i>	106
Figura 62 <i>Diagrama fuerza vs desplazamiento del del análisis ETP2 (ASTM – 7264.</i>	107
Figura 63 <i>Diagrama fuerza vs desplazamiento del del análisis ETP3 (ASTM - 7264).</i>	109
Figura 64 <i>Grafica de caja de bigotes de las combinaciones propuestas.</i>	112
Figura 65 <i>Diagrama esfuerzo vs alargamiento del tratamiento ETC01 / ASTM-3039.</i>	113
Figura 66 <i>Diagrama esfuerzo vs alargamiento para ETC02 / ASTM -3039.</i>	115
Figura 67 <i>Diagrama esfuerzo vs alargamiento del tratamiento ETC03 / ASTM -3039.</i>	117

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Porcentajes de contracción de polímeros.</i>	30
Tabla 2 <i>Propiedades del Nylon.</i>	32
Tabla 3 <i>Propiedades del Nylon.</i>	44
Tabla 4 <i>Presión de inyección de diferentes materiales.</i>	45
Tabla 5 <i>Propiedades del nylon 66.</i>	53
Tabla 6 <i>Representación de mezclas nylon reciclado, fibra de vidrio y resina poliéster.</i>	64
Tabla 7 <i>Representación de mezclas nylon reciclado, fibra de vidrio y resina poliéster (diluida).</i>	66
Tabla 8 <i>Puntos de fusión de los elementos involucrados.</i>	68
Tabla 9 <i>Medidas de las probetas de flexión con factor de contracción.</i>	71
Tabla 10 <i>Medidas de las probetas de tracción con factor de contracción.</i>	71
Tabla 11 <i>Medidas de la cavidad móvil.</i>	72
Tabla 12 <i>Medidas de la cavidad fija.</i>	73
Tabla 13 <i>Aceros utilizados para el molde.</i>	77
Tabla 14 <i>Características de la maquina CNC.</i>	77
Tabla 15 <i>Fresas utilizadas en el maquinado del molde.</i>	78
Tabla 16 <i>Modelo matemático para la aplicación del diseño experimental.</i>	80
Tabla 17 <i>Modelo matemático de la relación entre factores y niveles.</i>	81
Tabla 18 <i>Factores y niveles considerados en el diseño factorial.</i>	81
Tabla 19 <i>Aplicación de los Tratamientos con las combinaciones de las probetas.</i>	82
Tabla 20 <i>Mezclas para la inyección de plástico.</i>	84
Tabla 21 <i>Maquina inyectora de plástico EASYMASTER EM80-SVP/2.</i>	87

Tabla 22 <i>Parámetros para la inyección de plástico.</i>	88
Tabla 23 <i>Intervalo de presiones fallidas en la inyección de plástico.</i>	95
Tabla 24 <i>Datos técnicos del equipo para ensayos de flexión MTS – T 5002.</i>	96
Tabla 25 <i>Probetas de flexión cuantificadas para el ensayo.</i>	96
Tabla 26 <i>Probetas de flexión destruidas en la máquina de ensayos MTS – T 5002.</i>	98
Tabla 27 <i>Datos técnicos del equipo para ensayos de tracción STH/CS.</i>	100
Tabla 28 <i>Probetas de tracción cuantificadas para el ensayo.</i>	100
Tabla 29 <i>Probetas de tracción ensayadas en el equipo para ensayos de tracción STH/CS.</i> ..	101
Tabla 30 <i>Datos comparativos de cada uno de los tratamientos del ensayo de flexión.</i>	103
Tabla 31 <i>Tabla de resumen estadístico.</i>	104
Tabla 32 <i>Análisis estadístico curtosis y sesgo estandarizado.</i>	104
Tabla 33 <i>Tabla ANOVA, de la descomposición de varianza.</i>	105
Tabla 34 <i>Resultados del ensayo a flexión.</i>	107
Tabla 35 <i>Resultados del ensayo a flexión ETP2.</i>	108
Tabla 36 <i>Resultados del ensayo a flexión ETP3.</i>	109
Tabla 37 <i>Datos comparativos de cada uno de los tratamientos del ensayo de tracción.</i>	110
Tabla 38 <i>Tabla de resumen estadístico.</i>	111
Tabla 39 <i>Análisis estadístico curtosis y sesgo estandarizado.</i>	111
Tabla 40 <i>Tabla ANOVA, de la descomposición de varianza.</i>	112
Tabla 41 <i>Resultados del ensayo a tracción para ETC1 (ASTM -3039).</i>	114
Tabla 42 <i>Resultados del ensayo a tracción para ETC02 (ASTM -3039).</i>	116
Tabla 43 <i>Resultados del ensayo a tracción para ETC03 (ASTM-3039).</i>	118
Tabla 44 <i>Comparación de materiales.</i>	119

Índice de anexos

Anexo 1 <i>Ficha técnica del nylon PA 6 natural.</i>	131
Anexo 2 <i>Ficha técnica del nylon PA 66 natural.</i>	132
Anexo 3 <i>Resultados obtenidos de los ensayos de flexión.</i>	133
Anexo 4 <i>Certificado de las pruebas de flexión en la universidad de las Fuerzas Armadas Espe.</i>	134
Anexo 5 <i>Informe del ensayo de tracción por el centro carrocerero.</i>	135
Anexo 6 <i>Gráficas y resultados de carga de la muestra ETP 01 (10% nylon reciclado).</i>	142
Anexo 7 <i>Gráficas y resultados de fuerza de la muestra ETP 01 (10% nylon reciclado).</i>	143
Anexo 8 <i>Gráficas y resultados de carga de la muestra ETP 02 (20% nylon reciclado).</i>	144
Anexo 9 <i>Gráficas y resultados de fuerza de la muestra ETP 02 (20% nylon reciclado).</i>	145
Anexo 10 <i>Gráficas y resultados carga de la muestra ETP 03 (25% nylon reciclado).</i>	146
Anexo 11 <i>Gráficas y resultados fuerza de la muestra ETP 03 (25% nylon reciclado).</i>	147

Abreviaturas

C.A.D.	Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora)
C.A.E.	Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por computador)
CA.N.FA.C.	Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías
N.F.U.	Neumáticos fuera de uso
A.S.T.M.	(American Society for Testing and Materials)

Resumen

La caracterización del material compuesto creado con nylon reciclado de las llantas y con nylon puro, se centró en el análisis de las propiedades mecánicas aplicando ensayos específicos, las probetas fueron diseñadas bajo las normas ASTM-7264 y ASTM-3039. El nylon reciclado se obtuvo de la empresa Rubberaction que se dedica a la trituración de llantas la cual separa el caucho, acero y nylon de manera industrial. El nylon reciclado en su naturaleza no es puro ya que se encuentra proporciones caucho y acero, se aplicó un proceso de refinamiento del nylon reciclado el cual consistía cernir el material separando la mayoría de las impurezas presentadas donde se obtuvo una relación de 5 a 1 en relación con la masa Se inicio con una mezcla de materiales en diferentes proporciones con resina poliéster y fibra de vidrio el cual resulto un resultado no viable ya que la variación de sus características mecánicas y químicas no volvieron posible la creación de la materia prima para la inyección de plástico. Se trato el nylon reciclado de manera individual, calentando el mismo hasta un punto de fusión que era alcanzado a los 220 °C formando la materia prima ideal para la inyección de plástico adicionando nylon puro PA6. Durante la inyección de plástico para la creación de probetas se determinó que la presencia de residuos mininos de caucho en el proceso no permitía una buena ejecución de este, por lo que se optó realizar mezclas de 25%, 20% y 10% de nylon reciclado con 75%, 80% y 90% de nylon puro respectivamente. Los resultados obtenidos por los ensayos mecánicos de tracción y flexión determinan que la mezcla con 10% de nylon reciclado presenta mejores características mecánicas soportando una fuerza máxima de 1748,088 N. El análisis CAE mediante la aplicación FEM permitió comparar los valores de desplazamientos con valores máximos 1.336 mm y mínimos 3.61×10^{-5} mm y esfuerzos con valores máximo 2.16×10^3 kpa y mínimo de 1.37 kpa; del material original de la autoparte PA66, con el material con 25%

de adición de nylon reciclado el cual fue el de mayor soporte a cargas con desplazamientos con valores máximos $4.78 \text{ e}^{-3} \text{ mm}$ y mínimos $2.88 \text{ e}^{-8} \text{ mm}$ y esfuerzos con valores máximo $2.16 \text{ e}^3 \text{ kpa}$ y mínimo de 1.37 kpa . Se aplicó el análisis de la herramienta ANOVA presentando diagramas de dispersión y caja de bigotes el cual nos permite afirmar que la mezcla con 10% de nylon reciclado tiene mejores características mecánicas, se determinó que la presencia de nylon reciclado obtenido de la llanta no puede ser un material alternativo para la toma del termostato del Hyundai Accent ya que presenta inestabilidad en el proceso de inyección de plástico a causa de los residuos relativos del caucho.

Palabras claves: Nylon reciclado, inyección de plástico; temperatura de fusión; Ensayos normalizados, Análisis CAE.

Abstract

The characterization of the composite material created with recycled nylon from the tires and with pure nylon, focused on the analysis of the mechanical properties applying specific tests, the specimens were designed under the ASTM-7264 and ASTM-3039 standards. The recycled nylon was obtained from the Rubberaction company that is dedicated to tire shredding, which separates rubber, steel and nylon in an industrial way. Recycled nylon in its nature is not pure since rubber and steel proportions are found, a refining process of recycled nylon was applied which consisted of sifting the material separating most of the impurities presented where a ratio of 5 to 1 was obtained in relation to the mass. It began with a mixture of materials in different proportions with polyester resin and fiberglass, which resulted in an unfeasible result since the variation in its mechanical and chemical characteristics did not make it possible to create the raw material for injection of plastic. The recycled nylon was treated individually, heating it up to a melting point that was reached at 220 °C, forming the ideal raw material for plastic injection by adding pure PA6 nylon. During the injection of plastic for the creation of test tubes, it was determined that the presence of small rubber residues in the process did not allow a good execution of this, for which reason it was decided to make mixtures of 25%, 20% and 10% recycled nylon with 75%, 80% and 90% pure nylon respectively. The results obtained by the mechanical tensile and flex tests determine that the mixture with 10% recycled nylon has better mechanical characteristics, supporting a maximum force of 1748.088 N. The CAE analysis through the FEM application allowed comparing the values of displacements with values maximum 1,336 mm and minimum 3.61 e-5 mm and efforts with maximum values 2.16 e3 kpa and minimum of 1.37 kpa; of the original material of the PA66 auto part, with the material with 25% addition of recycled nylon, which was the one with the greatest support to

loads with displacements with maximum values 4.78×10^{-3} mm and minimum values 2.88×10^{-8} mm and efforts with maximum values 2.16 and 3 kpa and a minimum of 1.37 kpa. The analysis of the ANOVA tool was applied, presenting dispersion diagrams and whisker box which allows us to affirm that the mixture with 10% recycled nylon has better mechanical characteristics, it was determined that the presence of recycled nylon obtained from the tire cannot be an alternative material for the intake of the Hyundai Accent thermostat since it presents instability in the plastic injection process due to the relative residues of rubber.

Keywords: Recycled nylon, plastic injection; melting temperature; Standardized tests, CAE Analysis.

Introducción

Antecedentes

Actualmente solo se recicla un pequeño porcentaje de los residuos plásticos eso ocurre por las limitaciones de la tecnología durante este proceso. Telégrafo (2017) menciona que la empresa Rubberaction, recicla 6500 llantas mensuales, Fernando Prado gerente de la empresa menciona que el 100% del neumático es reciclable pues su composición es 76% caucho, 20% hilos metálicos de acero y 4% de hilos de nylon.

Cuando se aplica un proceso de reciclaje se obtiene como resultado elementos bajos en rendimiento térmico y su valor es cuestionable (Nur-A-Tomal & Pahlevani, 2021). Para lograr materiales o productos de calidad en función a los desechos plásticos y recuperar propiedades después de su vida útil, se debe tener en cuenta cuales son las variantes durante el procesamiento cíclico.

La creación de nuevos materiales se vuelve una necesidad para minimizar los desechos que alteran el medio ambiente, partiendo de un proceso de reciclaje de nylon el cual no es nada fácil y desde un aspecto ambiental es muy positivo con la sociedad y el planeta. Según Lin & Lin (2019) la basura de los productos poliméricos no se descompone fácilmente de forma natural. Lidar con enterrar la basura puede contaminar el suelo y las fuentes de agua; quemando con un incinerador puede crear un exceso de gas de escape o liberar gases tóxicos.

Los procesos de reciclajes en su mayoría tienen cierto grado de error ya que no se recuperan en su totalidad los materiales deseados, según Gong & Huegel (2021) comenta que recientemente, se introdujo un método para separar y reciclar selectivamente los componentes de PU mediante tratamiento térmico; 18 sin embargo, lavado de poliuretano pirolizado con etanol no recupera completamente los desechos de PU y trae contaminación ambiental.

Los dos tipos de nylon sobresalientes en el uso de fibras técnicas son PA-6 y 66 los cuales presentan características muy atractivas en la industria mecánica como la tracción, flexibilidad y resistencia a la abrasión (Valencia, 2018). Por otro punto de vista según Nursel & Melih (2020) afirma que el nylon 6 dispone de buenas propiedades mecánicas, resistencia al impacto, fluidez en fusión y trabajabilidad. Por lo tanto, es ampliamente utilizado para autopartes, componentes electrónicos, películas de embalaje, textiles, etc.; sin embargo, los desechos plásticos del procesamiento del nylon 6 también han recibido una atención negativa.

El nylon es un material importante en la ingeniería ya que los requerimientos son propiedades especiales y alto rendimiento, las poliamidas son buenos candidatos por sus propiedades físicas únicas. Pero uno de los aspectos negativos es que el reciclaje de polímeros disminuye su resistencia mecánica, pero esto se soluciona reforzando con la ayuda de fibra de vidrio y carbono para aumentar la eficiencia en las propiedades mecánicas de los polímeros desechados. La mezcla entre fibras y el nylon 6,6 reciclado es favorable ya que las fibras presentan buena respuesta a la resistencia al estrés y dureza y el material reciclado es un buen candidato por su comportamiento de fusión. Se realizó variedad de materiales híbridos como el carbono-polipropileno, vidrio-carbono, aramida-carbono, fibras de aramida-vidrio, carbono-poliétileno y vidrio natural con diferentes tipos de termoplásticos y matrices termoendurecibles. La investigación mencionada se realizó a partir de estudiar el compuesto híbrido de fibra de carbono / vidrio corto de nylon 6,6. El fin de la investigación fue analizar microestructura y las propiedades mecánicas de los productos moldeados por inyección. Las propiedades evaluadas en este estudio son el tamaño de la fibra, el peso molecular de la matriz, las transiciones térmicas, el módulo de Young y la resistencia al impacto esta investigación se vuelve interesante porque lo realizaron durante nueve ciclos de reprocesamiento mediante moldeo por inyección. Entre los resultados más importantes de forma general se puede estipular que durante

los primeros cinco ciclos de inyección, se notó mejor resistencia a la tracción, aumento en el módulo de Young y considerablemente la resistencia al impacto, por otro lado el peso molecular y el tamaño medio de las fibras disminuyen, donde el efecto principal es la homogeneización y acortamiento del tamaño de la fibra acompañado de una degradación parcial de la matriz para producir un aumento interfaz y por lo tanto un mejor comportamiento. Los compuestos de nylon 6,6 reforzados con este tipo de fibras cortas mixtas podrían reciclarse mediante reutilización directa sin perder las propiedades mecánicas generales hasta cinco veces, a pesar de algunos daños en la fibra y la matriz que podrían afectar a aplicaciones especiales (Claverie, 2020).

Algunas investigaciones informan que un estudio experimental y teórico del comportamiento mecánico de la poliamida 66 reciclada mezclada con fibra de vidrio y el polímero reforzado con un 30% en peso de fibras cortas se remoldeó hasta siete veces. También estudiaron el efecto del envejecimiento térmico sobre la poliamida 66 reciclada no reforzada y reforzada con vidrio. Además, estudiaron el efecto del reciclaje en planta de poliamida 66 reforzada con fibra de vidrio y las barras moldeadas por inyección fueron expuestas a pruebas de envejecimiento térmico, envejecimiento del refrigerante y fluencia. En este estudio, el nylon 6 reforzado con fibra de vidrio (PA6-GF) se reprocesó en los cinco ciclos de procesamiento. Las muestras se caracterizaron por sus propiedades químicas, térmicas y mecánicas en función del número de ciclos de procesamiento. También se investigó cómo los factores controlados afectan los factores de salida y cuáles son los ajustes óptimos de inyección de los factores controlados que se pueden emplear para obtener la mejor mecánica. El número de reciclaje, la temperatura de fusión, la temperatura de trabajo del molde, las presiones de inyección y la presión de mantenimiento se consideraron como factores de control. Se aplicaron pruebas para predecir la resistencia a los esfuerzos de tracción, el límite elástico, la energía y la resistencia al impacto. Se utilizó el análisis de varianza "ANOVA" para determinar los efectos del

parámetro de control sobre la resistencia a la tracción, límite elástico, energía de impacto y resistencia al impacto. (Karakaya, 2019)

En la inyección plástica de PA6-GF, se encontró que el adormecimiento de la fricción-adherencia es el factor más efectivo sobre las propiedades mecánicas. De los resultados experimentales se concluyó que hubo un incremento en las propiedades mecánicas después de cada ciclo de reprocesamiento. (Karakaya, 2019)

Planteamiento del problema

Se pretende crear un material compuesto donde los elementos a mezclar será precisamente el nylon reciclado obtenido de las llantas y adaptarlo para mezclarlo con nylon totalmente nuevo que permitan realizar autopartes automotrices mediante un proceso de inyección de plástico.

Según Licea-claverie & Valdez (2019) menciona que mediante el proceso de reciclaje del nylon 6 no se recupera las propiedades mecánicas del todo por lo que es necesario adicionar fibras para incrementar dichas propiedades o material puro y de tal forma tener una mezcla sobresaliente para la aplicación de inyección de plástico.

En la industria automotriz la presencia de los plásticos está tomando posicionamiento importante debido a que pesan menos y de tal manera ayudan a el consumo de combustible. Como menciona Suna & Zeng (2019) el moldeo por inyección se usa ampliamente en la fabricación de piezas de plástico, especialmente en la producción en masa y en las últimas dos décadas, el tema del diseño del molde se volvió más fácil de resolver.

Según la entrevista realizada a Catota (2021) gerente propietario de repuestos Pichincha menciona que uno de los repuestos que tienen una venta común para los vehículos como Volkswagen Gol, Toyota Yaris, Renault Logan, Sandero, Kia Rio R entre otros es la toma

del termostato ya que pueden presentar fallas como envejecimiento del material, mal proceso de sustitución o por presencia de oxidación en el sistema de refrigeración.

La caracterización del material creado nos proporcionará datos importantes para las aplicaciones en la industria automotriz ya que se determinarán valores reales pertenecientes al análisis de diferentes propiedades mecánicas entre ellas el esfuerzo a la tracción y flexión.

Justificación

El presente trabajo de investigación en una primera fase se realizará la obtención del nylon reciclado de las llantas sin uso NFU con la ayuda de la empresa Rubberaction para someterla a un proceso de calentamiento y obtener restos de nylon sólidos para que sea posible fundirlos con nylon virgen en diferentes proporciones las cuales estarán compuestas de la siguiente manera 10%, 20% y 25% en porcentaje de peso de nylon reciclado y de tal manera crear probetas mediante la inyección de plástico.

La contribución tecnológica del trabajo de investigación, se centrará en establecer un proceso de obtención del nylon reciclado ideales como materia prima y ejecutar de forma correcta el proceso de inyección de plástico, se determinará el alcance mecánico del nuevo material en aplicaciones automotrices, también se cumplirá con el fin de minimizar los índices de contaminación empleando el proceso de reciclaje y volver a utilizar el nylon intentado conservar sus propiedades cada vez que se lo vuelva a exponer por el proceso de reciclaje. Se busca con la investigación propuesta cumplir el objetivo general y llegar a:

Caracterizar un material compuesto mediante la aplicación de ensayos de tracción y flexión, aplicando el proceso de inyección de plástico para buscar la mejor opción y relacionar los resultados en aplicaciones automotrices

Para la consecución del objetivo general, los objetivos específicos planteados en el presente trabajo de investigación son:

- Someter a un proceso de transformación al nylon reciclado mediante el calentamiento a una temperatura menor a la de fusión 220 °C para conseguir materia prima y volver posible la inyección de plástico.
- Fabricar el molde en acero AISI 1045 de las probetas aplicando las normas ASTM D3039 y ASTM D7264 con el software Inventor CAM para obtener las operaciones de manufactura.
- Realizar la inyección de plástico de las probetas en diferentes proporciones de nylon reciclado y puro teniendo en cuenta los valores óptimos de las variables del proceso.
- Ensayar las probetas del material compuesto mediante la normativa ASTM D3039 y ASTM D7264 con la ayuda de equipos normalizados en el centro carroceros de Ambato y la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para la caracterización del material.
- Comparar y analizar los valores obtenidos en los ensayos mecánicos aplicados, mediante la técnica ANOVA en cada una de las muestras, para la validación de resultados.
- Comparar los resultados obtenidos del proceso de caracterización con las características mecánicas del material original de la toma del termostato del Hyundai Accent.

Hipótesis

La investigación referente a la caracterización de material compuesto constituido de nylon reciclado con puro, se considerará la siguiente hipótesis, para validar los resultados obtenidos de la investigación

- La creación de un material compuesto de nylon puro y reciclado en proporciones de 25%, 20% y 10% aumentará las propiedades mecánicas

Estado del arte

Nylon

El nylon es el polímero artificial más sobresaliente de la industria textil sobrepasando expectativas del poliéster, fue desarrollado en 1930 aproximadamente por Wallace H. Carothers en el centro de investigación de Dupont (Valencia, 2018).

Propiedades del Nylon

El nylon es un polímero con estructura semicristalino, material que presenta una tenacidad alta y resistencia al desgaste. Para lograr un producto de calidad este debe conseguir su estabilidad mediante el uso de hornos donde debe ser calentado a temperaturas muy cerca de la fusión por varios días y de tal forma eliminar las tensiones internas que pueden ocasionar fisuras en acabados finales (Sinc, 2017).

Los grupos polares amida en las cadenas poliméricas presentan excelentes propiedades mecánicas, como consecuencia se genera una fuerte atracción intermolecular entre ellas. En la investigación de Zúñiga (2015) se ejecutó una observación analítica de rayos X donde se puede obtener características de cristalinidad de 50% como valor máximo, esto permite que el material presente altos índices de tenacidad aun por valor superiores de su temperatura de transición vítrea.

Los polímeros en su mayoría en especial el nylon presenta gran resistencia a sustancias muy usadas en las industrias como son combustibles, lubricantes, fluidos hidráulicos, refrigerantes, disolventes, anticongelantes y fluidos a base de hidrocarburos. Estos materiales presentan desventajas porque pueden ser atacados por el contacto con ácidos fuertes, sustancias altas en sodio de metales pesados y ciertos agentes oxidantes. Las poliamidas tienen una

característica que genera un contrapunto a todas sus ventajas ya que estas son higroscópicas, en su mayoría la manera de almacenarlas lleva ciertos parámetros para evitar la absorción de humedad ya que provoca un cambio importante en las propiedades (Zuñiga, 2015).

Nylon 6

Es conocido como Poliamida 6 es el plástico más utilizado de su variedad de opciones, posee propiedades muy buenas tanto mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas. Dispone de la ventaja de ser modificado con aditivos u otros materiales. Para el nylon 6 las propiedades que sobresalen son alta resistencia a la fatiga, fuerte capacidad de amortiguación mecánica, alta tenacidad, rigidez, resistencia muy buena al desgaste ya funciona sin lubricación y estable dimensionalmente

Este material es un polímero semicristalino lineal el cual está compuesto de varias unidades de p-fenileno. El número 6 muestra existen seis átomos de carbono en la unidad repetitiva. El nylon 6 tiene procesos de fabricación mediante la polimerización por apertura de anillo de caprolactama, estas fibras son duras, pero con una alta resistencia a la tracción y elasticidad. Tiene la capacidad de resistir al desgaste y baja fricción con aislamiento eléctrico. Otra cualidad atractiva es su resistencia química (Xometry, 2022).

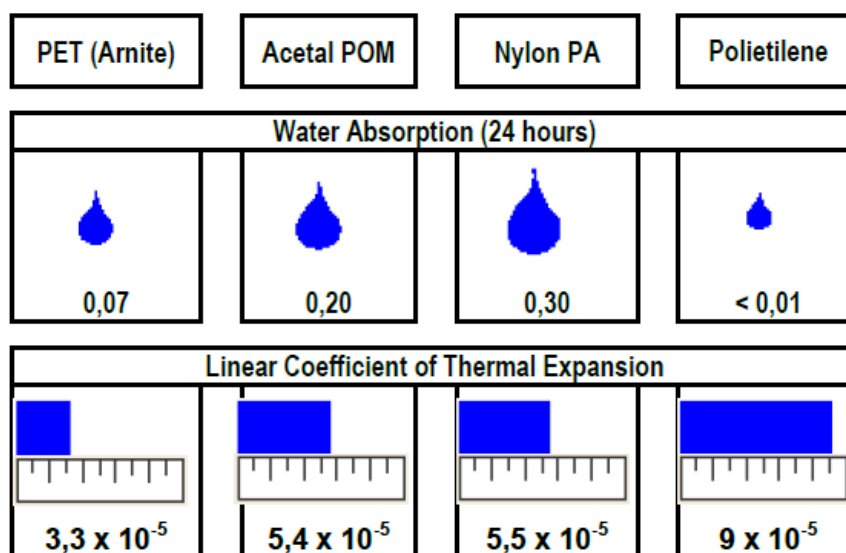
Aplicaciones típicas del nylon 6

Existen muchas aplicaciones por parte del nylon 6 en diferentes áreas el área de la mecánica es muy utilizada por sus características y propiedades. Utilizado para poleas, levas, cojinetes, engranajes, amortiguadores, guías antidesgaste y componentes deslizantes, cojinetes, ruedas y muchas otras aplicaciones (Teran, 2022).

Según Terán (2022) menciona que las poliamidas son materiales higroscópicos que puede variar del 3,5% con una humedad relativa de 65% y a 100% con humedad del 100%, el tamaño de la pieza es fundamental para cambiar ese valor. La poliamida 6 se puede encontrar tanto en seca la cual puede ser frágil y en la presentación húmeda puede ser maleable resistente al impacto, (No resiste a los ácidos concentrados).

Figura 1

Representación de la estabilidad de los plásticos.



Nota. En la figura se puede apreciar la representación higroscópica y coeficiente térmico de expansión. Fuente: (CMP, 2023).

Contracción del nylon 6

En el artículo escrito por Kuram & Tasci (2018) menciona que el encogimiento es aquella condición que sufre el nylon cuando se encuentra en una temperatura de fusión y una temperatura de solidificación, cambiando sus dimensiones relacionando directamente el volumen presente.

El efecto de la contracción es representado en dimensiones de pulgadas por pulgadas o en relación de porcentaje. El encogimiento del material se da durante la temperatura de enfriamiento reduciendo el volumen resultante de los polímeros. Esto sucede a que las densidades no son iguales matemáticamente cuando se encuentra en estado de fundición temperatura alta y estado de solidificación temperaturas bajas. Esta contracción de la pieza moldeada de plástico ocurre mientras aún se encuentra en el molde con una temperatura descendente, esto finaliza hasta que la temperatura del nylon y su contenido de humedad se normalicen (Kuram & Tasci, 2018).

Causas de encogimiento excesivo

Durante el proceso de inyección de plástico existen parámetros que se deben controlar para tener eficiencia en el proceso y acabados notables para la pieza trabajada, cuando existe encogimiento excesivo puede ser por aplicar una presión de inyección muy baja de la recomendada por el fabricante, el tiempo de enfriamiento puede ser muy corto, puede existir un manejo de temperaturas excesivos en las zonas de inyectora de plástico, elevadas temperaturas en el molde durante el proceso y baja presión de mantenimiento.

Tabla 1

Porcentajes de contracción de polímeros.

Polímero	Contracción %	Polímero	Contracción %
ABS	0.4 – 0.7	PC/ABS	0.4 – 0.7
CA	0.3 – 0.7	PES	0.6 – 0.8
CAB	0.2 – 0.5	PET	1.8 – 2.1
CP	0.2 – 0.5	PMMA	0.2 – 1.0
EVA	0.7 – 2.0	POM	2.0 – 3.5
FEP	3.0 – 6.0	PP	1.0 – 3.0
GPPS	0.2 – 0.8	PPO	0.5 – 0.7

HDPE	1.5 – 4.0	PSU	0.6 – 0.8
HIPS	0.2 – 0.8	PTFE	5.0 – 0.9
LDPE	1.5 – 4.0	PVDF	2.0 – 3.0
PA6	1.0 – 1.5	SAN	0.2 – 0.6
PA66	1.0 – 2.0	PC	0.6 – 0.8
PBT	1.5- 2.0	MF	0.6 – 1.0

Nota. En la tabla se presenta los valores de porcentaje de contracción de los polímeros.

Fuente: (Mexopolimeros, 2023).

Tracción mecánica

Es aquella propiedad que relaciona el comportamiento de los filamentos al deformarse por la acción de una fuerza. Lo más representativo de esta propiedad es la resistencia a la tracción que también se puede traducir a tenacidad, el módulo de elasticidad en condiciones iniciales, alargamiento punto de deformación en la cual se presenta grados de rotura y la contracción de su geometría original. (McKeen, 2017).

Por otro lado, la tenacidad se define como el valor requerido de tensión específica para llegar al punto de rotura de una fibra. El módulo está relacionado con el comportamiento de la fibra a una carga ligeramente lineal de forma progresiva y es igual a la desviación de la curva en el punto inicial expuesto el material. (McKeen, 2017).

Por otro lado, alargamiento es la deformación de un material aplicado una carga excesiva capaz de extender tanto su estructura para romper el filamento (McKeen, 2017).

La contracción es la contracción / desorientación de las cadenas de polímero durante el proceso de calentamiento e indica la estabilidad dimensional de la fibra. Estas características de tracción dependen de la estructura de la fibra, la masa molecular del polímero, y la historia térmica. Fuerza (tenacidad) y la rigidez (módulo) están relacionadas con la orientación molecular y el número de cadena (McKeen, 2017).

Según la tabla 2 presenta diferentes propiedades del nylon PA6 y PA66 en función a la norma DIN.

Tabla 2

Propiedades del Nylon.

Propiedad	Unidad	Norma	Nylon (PA6, PA66)
Deformación de rotura	%	DIN 53455	>50
Conductividad térmica	W/Km	DIN 52612	0,28
Coefficiente de dilatación térmica de 20 C a 50 C	m/m K		85*10-6
Coefficiente de fricción			0,3
Densidad	g/cm ²	DIN 53479	1,14
Dureza	N/mm ²	DIN 53456	136
Dureza “Shore”		DIN53505	D75
Módulo de elasticidad	N/mm ²	DIN 53457	2.850
Resistencia de impacto	KJ/m ²	DIN 53453	3,8
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	78
Temperatura máxima de utilización	C	Normal	90
	C	Con puntas	150
Temperatura mínima de uso	C		-40

Nota. En la tabla se presenta se presente las características del nylon PA6 y PA66. Fuente:

(Mexopolimeros, 2023)

Materiales alternativos para mezclar con el nylon reciclado

En la industria de los materiales existen diferentes métodos para recuperar o reforzar materiales termoestables con la ayuda de materiales termoplásticos es una Unión alternativa para producir materiales termoestables híbridos. El nylon PA6 es un material que mediante un proceso indicado de moldeo puede llegar a la adhesión con otro material ya que el refuerzo de

fibra de vidrio actúa sobre la cristalinidad del polímero esto quiere decir que la presencia de resinas, fibras de refuerzo y la poliamida PA6 si pueden mezclarse. (Nursel & Melih, 2020)

Figura 2

Mezcla de resinas con fibra y nylon PA6



Nota. En la figura se puede apreciar una probeta de tracción de material híbrido. Fuente:
(Nursel & Melih, 2020)

La poliamida nylon 6,6 es un material que también se puede mezclar con fibra de vidrio o carbono aplicando moldeo por inyección el cual se determina por la cantidad de cada uno de estos materiales se menciona que el nylon 6,6 sus características pueden ser utilizadas como punto de partida para determinar la presión, temperatura y velocidad de inyección pero con la adición de pequeñas proporciones de fibra de vidrio o carbono y la consolidación de una resina estos procesos traen como resultados el incremento de las características mecánicas del material como es la resistencia a la tracción, módulo de Young y la resistencia al impacto. si este material es reciclado para usarlo nuevamente para el moldeo por inyección empieza a presentar disminuciones de sus características mecánicas. (Licea-Claverie, 2019)

Inyección de plástico

El proceso de inyección de plásticos ha tenido un revuelo en la industria en general, ya que presenta muchas ventajas en el aspecto técnico y económico en relación con otros procesos de creación o transformación de materiales y es una de las más usadas en el medio como

alternativa sustentable. En la actualidad, se puede manufacturar piezas con necesidades específicas para cubrir diferentes aplicaciones donde sea importante las características mecánicas, reducir pesos, resistencia al desgaste por fricción, poca conductiva eléctrica, dimensiones estables a diferentes situaciones y estabilidad química ante medios muy, por tal motivo este proceso industrial se vuelve una alternativa bien acertada que desplazo a los materiales tradicionales como las funciones de acero, aluminio, bronce, entre otros directamente en muchas aplicaciones industriales (Ospina, 2017).

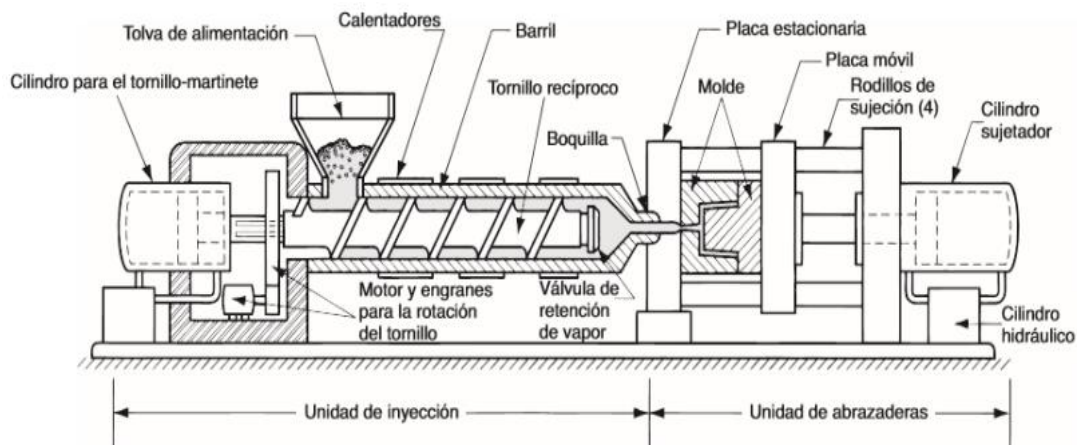
Fundamentos del moldeo por inyección

El material pasa por diferentes estados desde que se introduce a la maquina inyectora de plástico hasta que el proceso termina con el moldeo de la pieza. Se realiza una relación del comportamiento del material cuando está dentro de la cámara en estado de plastificación en una extrusora, después se determina de manera precisa el llenado del molde y enfriamiento del material dentro de molde (Fonseca, 2018).

Mientras se ejecuta el proceso de inyección de plástico se produce una elevación de temperatura seccionado para alcanzar el estado de fusión que se conoce como plastificación del material o masa a moldear, esta es transportada hacia el molde, por medio de los conductos donde se emplea una presión representativa para lograr ejecutar la extrusión, que sucede todo el tiempo dentro del cilindro.

Figura 3

Elementos de la maquina inyectora de plástico.



Nota. En la figura se puede apreciar de manera detallada la maquina inyectora de plástico.

Fuente: (Fonseca, 2018).

Creación y funciones del molde de inyección

El molde consta de dos mitades las cuales se sujetan de manera directa sobre los platillos porta moldes de la máquina de inyección de plástico. Una mitad del molde se encuentra del lado del inyector y la segunda mitad se encuentra cerca del extractor, elementos más básicos de un molde en general. Después que se realiza el proceso de llenado pasa a la solidificación ahí es cuando el molde debe abrir por la parte de partición, siempre la pieza inyectada y el resto de ella se queda adherida a la mitad del molde donde esta el extractor. El proceso continúa y la parte posterior del molde toca con un perno fijo de la maquina inyectora donde da inicio al proceso de desmoldeo (Fonseca, 2018).

El proceso de inyección de plástico requiere de varios parámetros que deben ser controlados para que el mismo sea eficiente y productivo. El molde también cumple un papel muy importante en el proceso, sus funciones son receptor la masa plástica en su punto de fusión,

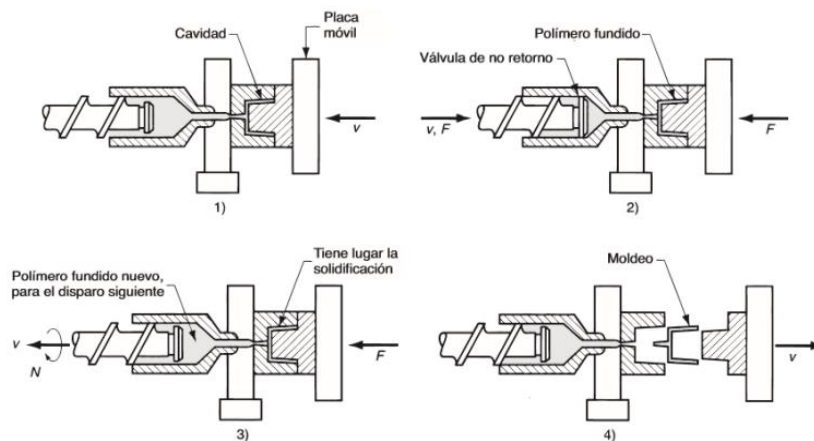
distribuirla de manera homogénea, moldear a las características y detalles del molde, enfriamiento del material inyectado, solidificación de la pieza trabajada y extracción de la misma sin problemas de adherencia y deformaciones.

Ciclo común de moldeo

Durante el ciclo de moldeo al efectuarse el movimiento de cierre se recupera el mecanismo extractor de la máquina, el cual está ubicado en la placa extractora en la figura 4 (1) se presenta el ciclo de inyección cuando ha finalizado es decir molde cerrado y así el mecanismo ha llegado a su posición final. Existe una boquilla ubicada a la cavidad del molde y de tal manera se produce una conexión entre este y el cilindro de inyección, condición necesaria para empezar un nuevo proceso de llenado. Las máquinas tienen diferentes tipos de mecanismo impulsor que puede variar depende de la máquina puede ser husillo o pistón que se encargan de elevar la presión de la masa fundida y la envían hacia la cavidad del molde. Una vez culminado el proceso de llenado se mantiene un tiempo determinado cerrado el molde, a una presión residual y de tal manera compensar la contracción del material en proporciones de volumen cuando existe una nueva aportación de material figura 4(2). Durante un período de refrigeración la temperatura se estabiliza y se efectúa el desmoldeo figura 4(4). El molde debe tener la forma de la pieza a trabajar de materiales resistentes a las presiones y altas temperaturas, ya que no pueden presentar dilataciones del material y de tal manera evitar errores de geometría en la manufactura del proceso de la inyección de plástico.

Figura 4

Ciclo de inyección y moldeo.



Nota. En la figura se puede apreciar el paso a paso del ciclo de inyección. Fuente: (Fonseca, 2018).

Elementos y definiciones del molde de inyección

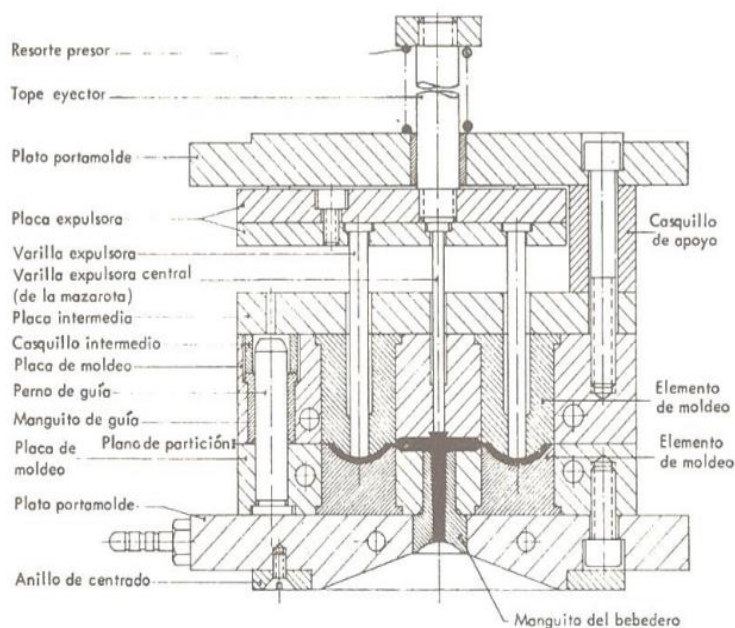
Las denominaciones de un molde de inyección según la norma DIN son:

- Placa portamolde: material y geometría acorde al peso total del molde para evitar deformaciones.
- Anillo de centrado: parte encargada de centrar el molde durante el proceso, suele tener forma redonda que sobresalen de la placa base.
- Bebedero: Son orificios sobre el molde, encargados de transportar el plástico fundido para formar la pieza.
- Perno guía o columnas: Permiten el acoplamiento perfecto de las dos partes del molde evitando su movimiento.
- Placa expulsora: placa estructurada de expulsores y recuperadores, los cuales extraen la pieza.

- Casquillo de apoyo: Sujetan a la placa base y la placa porta moldes para evitar su movimiento mediante tornillos.
- Eje o varilla expulsora: se encarga de extraer la pieza de la cavidad del molde, tiene forma cilíndrica
- Plano de partición: conocida como zona del molde que genera un vacío para el llenado de la cavidad teniendo en cuenta un límite.

Figura 5

Elemento de un molde.



Nota. En la figura se puede apreciar la designación de los elementos de un molde de inyección. Fuente: (Fonseca, 2018).

Clasificación de coladas y entradas

En los procesos de inyección de plástico existen 3 tipos de coladas y entradas entre ellas una de las más conocidas es el sistema de colada fría, moldes de canal caliente y sistema de canal frío

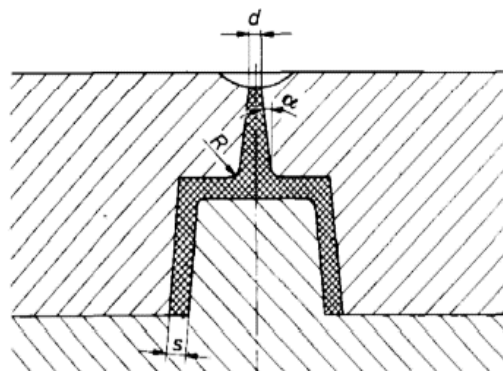
Sistema de colada fría

Se caracteriza por el recorrido del material ya que debe ser lo más corto posible hasta llegar a la cavidad para minimizar las pérdidas de presión y de calor. Los tipos de colada y entradas frías más conocidas son:

Colada cónica con o sin barra. se aplica para piezas que en su estructura poseen espesores de pared bastante gruesos cómo utilizada también para la inyección de materiales con alta viscosidad en condiciones térmicas no adecuadas. (Diaz, 2019)

Figura 6

Colada cónica con o sin barra.

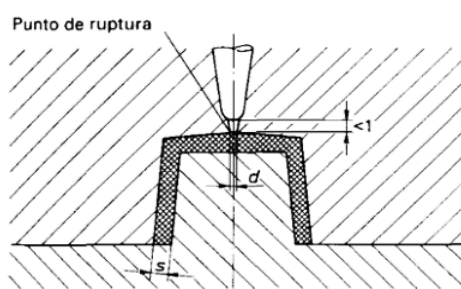


Nota. En la figura se puede apreciar la entrada de colada en forma de cono. Fuente: (Fonseca, 2018).

Entrada puntiforme o capilar. Se caracteriza por su separación generalmente automática. Si molestan los pequeños restos de esta sección, pero se denominan puntos de ruptura. Se utiliza boquillas para la expulsión automática. (Diaz, 2019)

Figura 7

Entrada puntiforme.

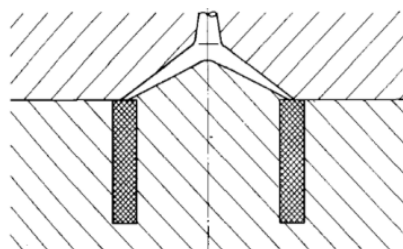


Nota. En la figura se puede apreciar la entrada de colada con la ayuda de una boquilla. Fuente: (Fonseca, 2018).

Colada de paraguas. Aplicada en la industria de la fabricación de cojinetes de fricción obteniendo una considerable precisión en una geometría redonda. La desventaja que presenta es que las operaciones de acabado después de acabar la inyección de plástico son sumamente necesarios. (Diaz, 2019)

Figura 8

Colada de paraguas.

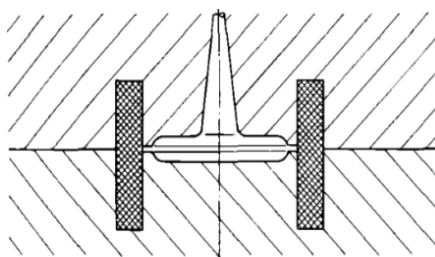


Nota. En la figura se puede apreciar la entrada de colada en forma de paraguas. Fuente: (Fonseca, 2018).

Colada de disco. Es la unión de piezas cilíndricas por la parte interna sin imperfecciones en las uniones ideal para materiales fibrosos de refuerzo (fibras de vidrio). (Diaz, 2019)

Figura 9

Colada de disco.

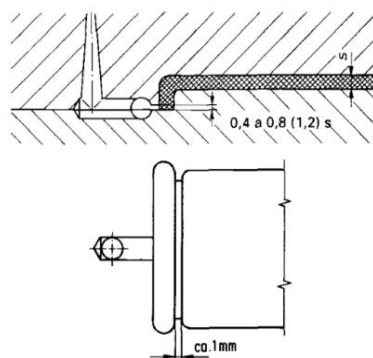


Nota. En la figura se puede apreciar la entrada de colada en forma de paraguas. Fuente (Fonseca, 2018).

Entrada laminar o de cinta. Este proceso se utiliza más para la fabricación de piezas con geometría plana con un mínimo de contracción y detención, el ancho del canal debe ser igual al de la pieza a trabajar que permita distribuir la colada de manera homogénea. (Gastrow, 2018)

Figura 10

Entrada laminar o de cinta.



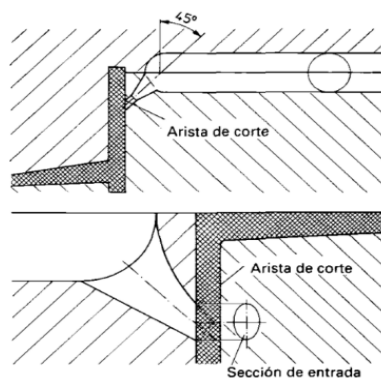
Nota. En la figura se puede apreciar la entrada de colada por un canal en forma de cinta.

Fuente: (Gastrow, 2018).

Entrada de túnel o submarina. Este proceso la entrada es separada de la cola de inyectada cuando se abre el molde en el instante de expulsar la pieza es muy utilizada para la inyección lateral de piezas que se caracterizan por tener secciones muy pequeñas. (Gastrow, 2018)

Figura 11

Entrada de túnel o submarino.



Nota. En la figura se puede apreciar la entrada de colada por un túnel. Fuente (Gastrow, 2018).

Moldes de canal caliente

Estos moldes se aplican principalmente para la inyección sin la presencia de colada, específicamente en piezas termoplásticas, Este molde se caracteriza porque también se lo puede aplicar de una manera parcial y de tal manera aprovechar las condiciones de inyección de plástico existiendo menores pérdidas de presión. este proceso se utiliza para la fabricación de parachoques de automóviles ya que es perfecto para piezas extremadamente grandes. (Diaz, 2019)

Sistemas de canal frío

El sistema de canal frío es utilizado para la fabricación tanto de piezas termoestables y elastómeros trabajando a un nivel de temperatura que se evite la solidificación, donde la diferencia de temperaturas debe ser mínima teniendo en cuenta que el aislamiento térmico del molde y del canal frío deben ser óptimos para evitar solidificar el material. (Diaz, 2019)

Variables y sus definiciones que son usadas en el proceso de inyección

Para el proceso de inyección de plástico se deben establecer parámetros en función al tipo de material a trabajar, del diseño del molde tanto postizo y cavidad. Cada caso de fabricación es diferente las variables que deben ser manejadas siempre son: temperaturas, velocidades, presiones, distancias y tiempos.

Temperaturas

Las temperaturas que se deben identificar son las del cilindro de plastificación, boquilla y molde. Las dos primeras mencionadas dependen del tipo de material a trabajar que deben ser ajustados de acuerdo con su punto de fusión, por tal razón esto debe ser constante y uniforme pues es directamente proporcional a la densidad y contracción se debe considerar las condiciones del proceso de plastificación, para tener eficiencia en el proceso de inyección de plástico. (Alejandre, 2017).

Tabla 3

Propiedades del Nylon.

Material	Temperatura de fusión (°C)
Acetato de celulosa	210
Polietilentereftalato amorfo	240
Polimetilmetacrilato	240
Policarbonato	300
Acrilonitrilo butadieno estireno	240
Poliamida 6	240
Polietileno de baja densidad	210
Polietileno de alta densidad	240
Nylon 12	240
Etileno-propileno fluorado	240

Nota. En la presenta tabla se presenta las características del nylon PA6 y PA66. Fuente:

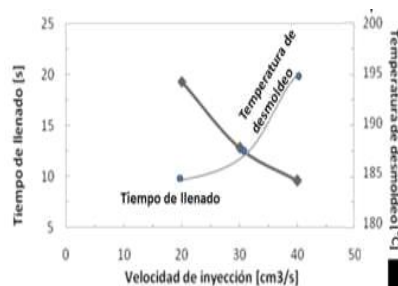
(Mexopolimeros, 2023)

Velocidad

La velocidad de inyección de plástico para un buen proceso depende de los siguientes factores: estado del molde, viscosidad del polímero, diámetro y ubicación de los puntos de entrada del material, salidas del aire del molde, temperatura del molde, punto de fusión del material y acabados de la pieza (Alejandre, 2017).

Figura 12

Grafica de velocidad de inyección.



Nota. En la figura se puede apreciar la gráfica del tiempo de llenado vs velocidad de inyección. Fuente: (Alejandre, 2017).

Presión

Este parámetro se basa en aplicar varias presiones durante el proceso de inyección entre estas se debe realizar: primera y segunda inyección de plástico, contrapresión, descompresión, presión de expulsión y presión de retorno de expulsión (Alejandre, 2017).

Tabla 4

Presión de inyección de diferentes materiales.

Material	Presión de inyección (Bar)	Presión de sostenimiento (Bar)	Presión de retroceso (Bar)
Estireno acrilonitrilo	650-1550	350-900	40-80
Acrilonitrilo butadieno estireno	650-1551	350-900	40-80
Polióxido de fenileno	1000-1600	600-1250	60-90
Policloruro de vinilo	1000-1550	500-900	40-80
Acetato de celulosa	650-1350	400-1000	40-80
Acetato butirato de celulosa	650-1351	400-1000	40-80
Polimetilmetacrilato	1000-1400	500-1150	80-120
Policarbonato	1000-1600	600-1300	80-120
Polipropileno	800-1400	500-1100	60-90
Poliamida 6	450-1550	350-1050	40-80
Nylon 11	450-1550	350-1050	40-80
Nylon 12	450-1550	350-1050	60-90
Polioximetileno	700-2000	500-1200	40-80
Polisulfuro de fenileno	750-1500	350-750	40-80
Etileno-propileno fluorado	1000-1500	500-1000	80-120

Nota. En la presenta tabla se presenta tres diferentes presiones de inyección. Fuente:

(Alejandre, 2017).

Distancias

Por otro lado, las distancias son importantes para optimizar el proceso de inyección de plástico entre estas son: distancia de dosificación y espesor del colchón, distancia de

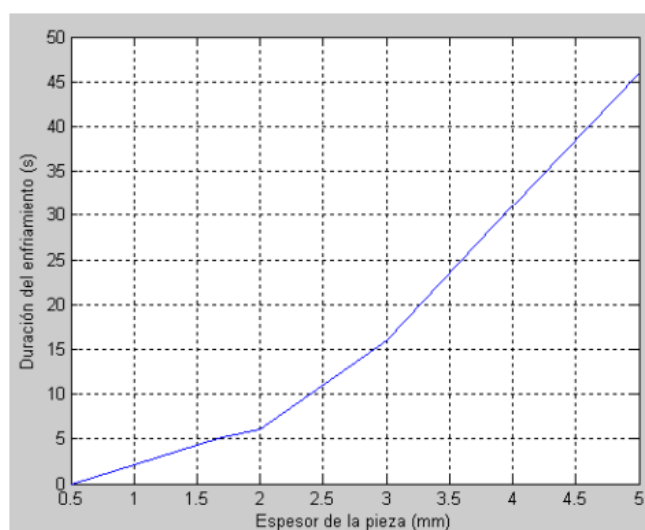
conmutación a segunda presión, distancia de apertura de molde y distancia de expulsión (Alejandre, 2017).

Tiempos

El tiempo es crucial en el proceso de inyección de plástico donde se debe tener en cuenta los siguientes parámetros: tiempo de inyección, postpresión, plastificación, enfriamiento y duración del ciclo (Alejandre, 2017).

Figura 13

Grafica del tiempo de enfriamiento.



Nota. En la figura se puede apreciar la gráfica tiempo de enfriamiento vs espesor de la pieza.

Fuente: (Alejandre, 2017)

Temperatura vítrea (Tg)

La transición vítrea se define como el cambio de condición de un polímero semi cristalino hacia una condición rígida y relativamente quebradiza, este cambio es reversible y se conoce como temperatura de transición vítrea o Tg. Esta temperatura generalmente está en un

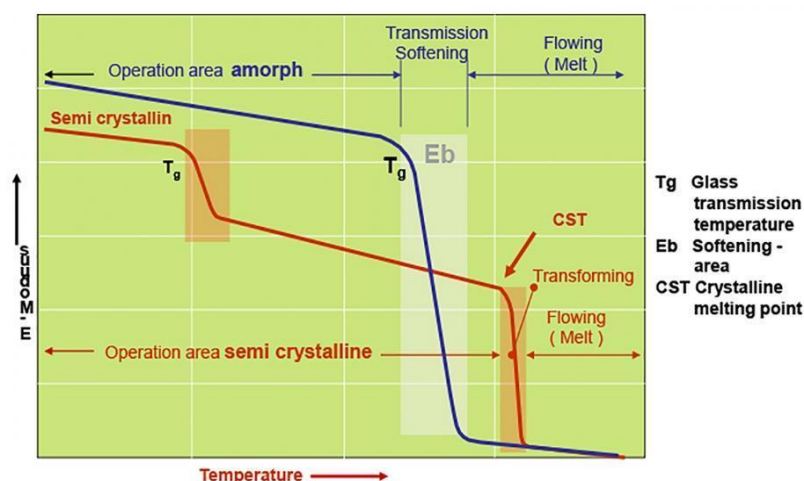
rango estrecho, en lugar de un punto definido como la temperatura de congelación o de ebullición. (Diaz, 2019)

Para determinar la temperatura de transición vítrea o T_g se lo realiza por medio del coeficiente de expansión volumétrica, Ya que observando la gráfica volumen - temperatura en el punto de la temperatura vítrea se puede ver una inclinación. También se pueden aplicar análisis térmicos diferenciales conocidos como DTA o calorimetría diferencial de barrido conocidos como DSC Definidos por el método ASTM D3418.

En la mayoría de los materiales la transición vítrea se considera un rango de temperaturas ya que dependiendo el método o las condiciones en las que se encuentre nos va a mostrar algunas variaciones, las fichas técnicas de algunos materiales se puede observar valores puntuales, pero estos representan el promedio de varias lecturas.

Figura 14

Representación de la temperatura vítrea.



Nota. En la figura se puede apreciar la gráfica de la temperatura vítrea. Fuente: (Protolabs, 2023).

Diseños de moldes para inyección de plástico por medio de software CAD y CAM

El uso de la manufactura asistida por computadora (CAM) utiliza el dibujo asistido por computadora (CAD). Esta combinación permite que los diseños de moldes presente en características de exactitud y productividad, entregando como resultado elementos inyectados con rasgos y terminaciones impecables. (Williams & Lord, 2018)

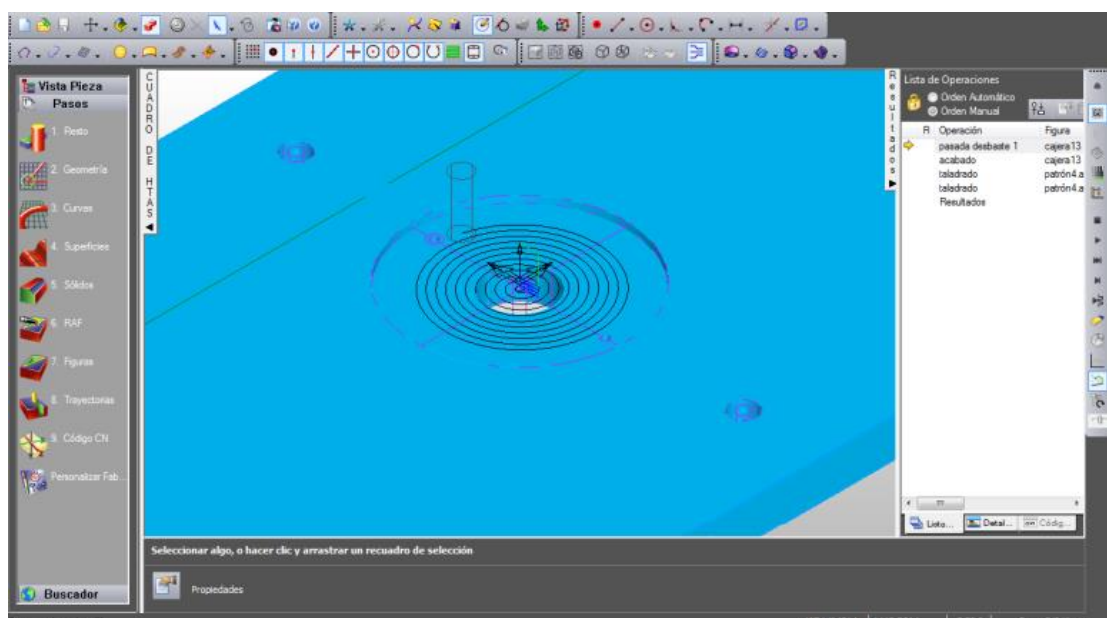
Existen empresas que tienen la capacidad de fabricar sus propios moldes y otras que adquieren a proveedores. los materiales con los que están hechos los moldes pueden ser diversos cómo aceros al carbono y aceros herramientas, también existen materiales polímeros los cuales necesitan sistemas de refrigeración más sofisticados. en la fabricación de moldes se ha mencionado procedimientos como el nitrurado que permiten mejorar las características mecánicas y acabados superficiales del molde. La industria de la inyección de plástico presenta un pequeño defecto en su proceso de creación de piezas y específicamente es la fabricación de moldes donde se menciona que existe falta de procesos especializados y equipos para cumplir con esta necesidad.

Se debe ser muy metódico para la fabricación de un molde, ya que se debe tener el proceso bien definido, uno de los elementos más importantes a diseñar es el soporte fijo ya que sirve como base para todo el molde y es donde se monta el aro centrador y la boquilla de inyección. Se debe tener claro que el diseño de cada pieza es de manera individual, pero para el diseño y fabricación de un molde se debe considerar todas las partes como un todo, pero durante el proceso de inyección constantemente debe unirse y separarse. Esto implica la necesidad de un software que nos permita manipular piezas de manera individual y al mismo tiempo todo como un conjunto, existen diferentes softwares como Solidworks, Inventor, Solidedge, Rhino, 3D max, etc. Depende del tipo de material a inyectar se debe considerar las

medidas a las cuales se debe realizar el molde y tener la ventaja de editarlas a nuestro gusto, Además durante todo el proceso se muestra si las dimensiones son adecuadas para soportar las cargas a las que son sometidas y si todos los elementos del molde se ensamblan de forma correcta. (Castro, 2019)

Figura 15

Simulación de mecanizado de molde.



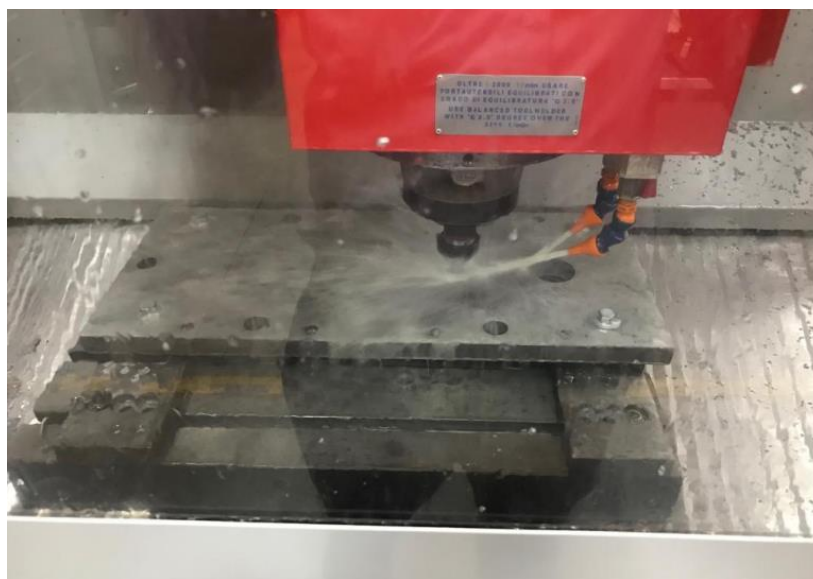
Nota. En la figura se puede ver la simulación del proceso de mecanizado. Fuente: (Castro, 2019).

En los procesos de fabricación de moldes una vez obtenido el modelo del sólido, Lo primero a definirse es la estrategia de mecanizado de cada una de las partes. Una de las desventajas que presentan estos softwares son que las herramientas utilizadas en la simulación No coinciden con las que se encuentran en el medio comercial por eso es necesario modificar las librerías de cada uno de estos programas con el fin de cumplir con las condiciones completas para el diseño del molde. La simulación del mecanizado que puede entregar diferentes programas nos ayudará a verificar que no existan colisiones entre las herramientas y que el

proceso de mecanizado sea correcto con el fin de obtener el código de mecanizado y poder entregarlo a una máquina CNC para cumplir el proceso real de mecanizado. Todos los moldes mecanizados por este método deben pasar por un control de calidad el cual consiste en verificar las medidas y los acabados para obtener piezas con mínimas imperfecciones. La calidad del molde es crucial para la inyección de plástico se puede argumentar en términos generales que la presión de la cavidad del molde y la temperatura son los factores más importantes de dominantes que determinan la calidad del producto final. (Kurt, 2019)

Figura 16

Mecanizado por CNC de molde fijo.



Nota. En la figura se puede apreciar el proceso de mecanizado CNC. Fuente: (Castro, 2019).

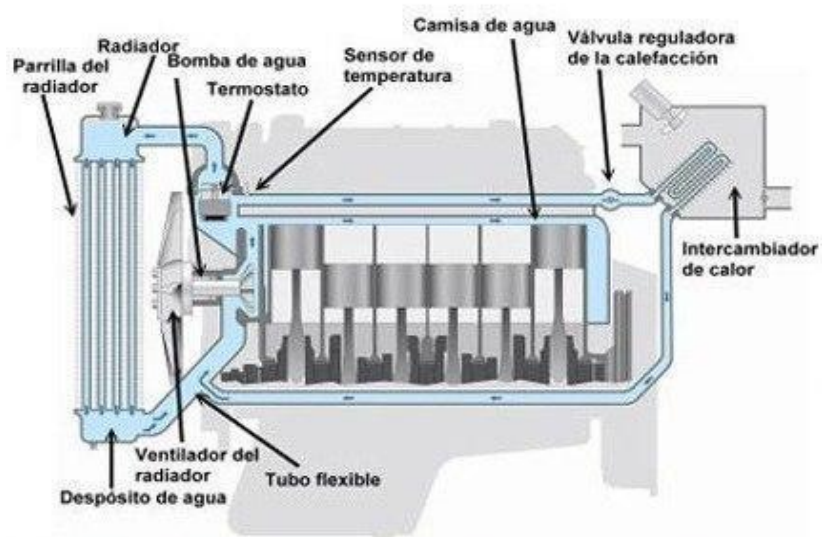
Sistema de refrigeración del M.C.I.

La temperatura de funcionamiento es un parámetro que afecta de forma directa al funcionamiento de los motores de combustión interna modernos. algunas partes del motor llegan a alcanzar altos grados de temperatura por ejemplo los gases de escape suelen alcanzar

una temperatura de 550°C. El inconveniente de estas máquinas térmicas es que la tercera parte de energía que es entregada por la combustión se pierde en forma de calor. El encargado para controlar y mantener la temperatura adecuada de funcionamiento del motor es el sistema de refrigeración. Los sistemas de enfriamiento modernos están específicamente diseñados para mantener una temperatura homogénea entre 82°C y 113°C. (Payri, 2020). Uno de los principales problemas que hace que este sistema se averíe es la presencia de corrosión a causa del uso de refrigerantes no adecuados para los elementos del sistema de refrigeración, Las consecuencias de esto pueden ser exclusivamente el sobrecalentamiento del vehículo, por ende el uso de materiales adecuados que soporten condiciones extremas de temperatura, oxidación y presión satisface las necesidades de los vehículos convencionales.

Figura 17

Sistema de refrigeración del motor de combustión interna.



Nota. En la figura se puede apreciar los componentes del sistema de refrigeración. Fuente: (Payri, 2020).

Termostato

El termostato es un elemento muy importante para los motores ya que estos funcionan a una temperatura determinada y para llegar a la seguridad que el refrigerante esté a dicha temperatura está el termostato. Su función es bloquear o abrir el paso del refrigerante desde bloque motor hacia el radiador según las condiciones de funcionamiento. la falla más común de este elemento es su deterioro natural y la consecuencia es que se queda en posición abierta.

Figura 18

Toma del termostato del Hyundai Accent.



Nota. En la figura se puede apreciar la toma del termostato real adquirida para la investigación

En función a la importancia del termostato en los vehículos existe el alojamiento o base donde se ancla dicho termostato la cual se la conoce como toma del termostato, elemento que sujeta a dicho elemento y su ubicación sea accesible y estratégica. El material que más presencia tiene en este elemento es el aluminio, pero la presencia de los plásticos ha sido vital para la evolución tecnológico en las autopartes no solo de carrocería sino también enfocadas en el motor de combustión interna, el cual suelen ser los plásticos entre ellos es el PA GF30 es una

poliamida PA 66 compuesto con un porcentaje específico de 30% de fibra de vidrio. Las propiedades sobresalientes del material PA 66 GF hace del mismo adecuado para autopartes que están sujetos a altas cargas estáticas durante largos períodos de tiempo y a altas temperaturas. En la tabla 5 se presenta las características mecánicas y térmicas del material nylon 66.

Tabla 5

Propiedades del nylon 66.

Cantidad	Método	Valor	Unidades
Densidad	ISO 1183	1.36	g/cm ³
Punto de fusión	DIN EN 11357-1	262	°C
Módulo de tensión	ISO 527-2	9900	Mpa
Resistencia a la tensión	ISO 527-2	195	Mpa
Elongación a la rotura	ISO 527-2	3	%
Temperatura de deformación al calor	ISO 75	250	°C
Absorción de humedad	ISO 1110	2	%

Nota. En la tabla se presenta los valores de porcentaje de contracción de los polímeros. Fuente: (PF Groups, 2023).

Descripción de las normas de ensayo para materiales compuestos

La caracterización de un material compuesto implica a identificar las propiedades físicas, químicas y estructurales, también su aplicación en el campo automotriz en la construcción de autopartes.

Según (Valencia, 2018) existen algunos tipos de ensayos que dependen de las características de los materiales y se clasifican en los siguientes:

- Ensayos no destructivos: No se afecta a la estructura del material.
- Ensayos destructivos: Determina las propiedades de los materiales de prueba y entre estos tenemos los dinámicos y estáticos

- Ensayos tecnológicos: Determina los comportamientos de los materiales ante la influencia de diferentes operaciones en el área industrial.
- Ensayos de características: Se aplica sobre los materiales ensayos térmicos, estructurales, constituyentes, y químicos.

Ensayos de tracción ASTM – D3039

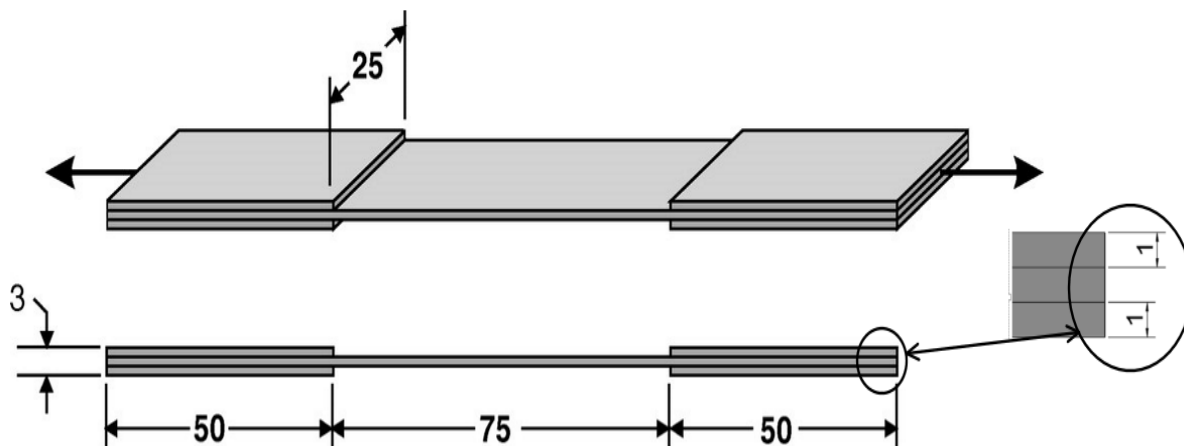
La normativa ASTM D3039, es un método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica (Standard Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials) aplicada para el ensayo de tracción (ASTM, 2002). Esta prueba permite determinar la magnitud de la fuerza que se necesita para fracturar un material compuesto, así como la medida de deformación hasta que alcance un valor de ruptura. Los resultados que se obtienen es la interpretación de un diagrama tensión vs deformación obteniendo el módulo de tracción.

Durante esta prueba se definen parámetros que influyen de manera directa en las características del material, como el proceso de ubicación del material, formas de preparación, el entorno de la prueba, tiempo, humedad, temperatura, entre otros. Las magnitudes que se puede llegar a determinar en sus valores dimensionales son:

- Razón de Poisson (bajo demanda)
- Resistencia a la tracción (MPa o PSI)
- Esfuerzo de tracción (%)
- Voltaje transitorio (%) (bajo demanda)
- Módulo de elasticidad de la viga de tracción (MPa o PSI)

Figura 19

Dimensiones de la probeta ensayo de tracción ASTM-D3039.



Nota. En la figura se presenta las dimensiones de la probeta. Fuente: (ASTM D 3039, 2022).

Ensayos de flexión ASTM – D7264

La normativa ASTM D7264, es el método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz polimérica (Standard Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials). (ASTM, 2002)

Durante esta prueba existen parámetros que puede llegar a determinar en sus valores dimensionales son:

- Resistencia
- Rigidez y comportamiento
- Deflexión de la carga

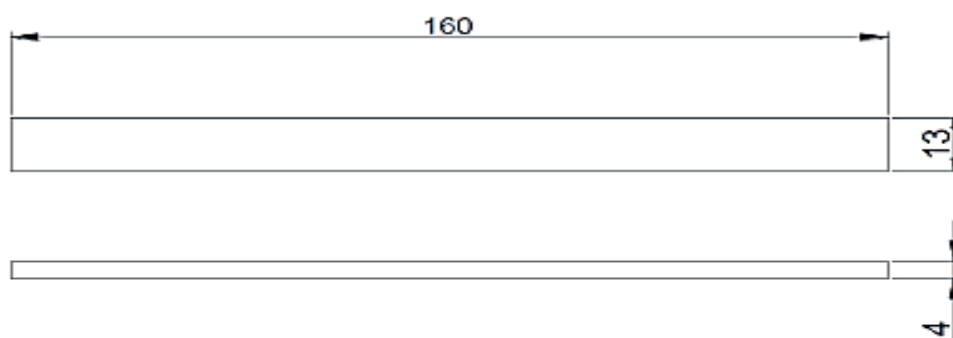
Este método comprueba la rigidez a la flexión y las características de resistencia de los compuestos de matriz polimérica (ASTM, 2020). Consta de dos procedimientos

- Procedimiento A: se coloca carga en tres puntos específicos que utiliza una carga puntual en una viga colocada en apoyo.

- Procedimiento B-A: sistema de carga enfocada en cuatro puntos que utiliza dos de ellos de cargas distribuidas equitativamente en sus puntos de soportes adyacentes, con una distancia entre los puntos de carga de la mitad del lapso de soporte.

Figura 20

Dimensiones de la probeta para ensayo de flexión ASTM-D7264.



Nota. En la figura se presenta las dimensiones de la probeta. Fuente: (ASTM, 2022)

Método

Objeto de Estudio

El proyecto se basa en investigar las características y propiedades que llegará a tener un material compuesto, creado a partir de ciertas proporciones de nylon reciclado y puro, donde el nylon reciclado será tratado por un proceso de calentamiento para generar la materia prima y así volver posible la inyección de plástico con el fin de verificar y validar el comportamiento del material en dicho proceso. La caracterización del material se realizará mediante procesos experimentales y validación de datos aplicando métodos estadísticos correctos.

Se realizarán ensayos mecánicos en laboratorios que cuenten con equipos normalizados y calibrados en función a las normativas ASTM para ensayos de tracción y flexión, esto será posible por el laboratorio del centro carroceros de Ambato y laboratorio de materiales de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE respectivamente, considerando que los resultados obtenidos se aparecerán de métodos de validación de datos a partir del método experimental para poder determinar el número de probetas a ensayar, además se aplicará simulaciones a la toma del termostato con los valores obtenidos del mejor mezcla del material compuesto.

Metodología

Esto se llevará a cabo mediante una observación directa – experimental en el cual se conseguirá el nylon reciclado directamente de la empresa RUBBERACTION, la cual se dedica a la trituración y separación de los componentes del neumático, siendo uno de sus principales productos el caucho que es adquirido por empresas dedicadas a realizar césped sintético, piso continuo, entre otras. El residuo obtenido del nylon reciclado es aquel componente que la empresa desecha sin darle ningún uso aparente, por ende, este componente es la base de la

investigación el cual deberá ser sometido a un proceso de mezcla y transformación para obtener la materia prima y así mezclar en diferentes proporciones con nylon puro en grano y volver posible la inyección de plástico, para generar probetas normalizadas y realizar ensayos destructivos y lograr la caracterización del material.

La caracterización del material dependerá de los ensayos que se realicen como el de tracción y flexión explícitas de diferentes normas ASTM D3039 y ASTM D7264, teniendo en cuenta un enfoque cuantitativo donde el factor serán las dimensiones de las probetas las cuales serán creadas a partir de la inyección de plástico. Con el objetivo de verificar los resultados y así determinar si es un material apto para ejecutarlo en aplicaciones automotrices específicas.

Para esta investigación la tipología aplicada es de aspecto exploratorio, descriptiva y experimental. Se enfoca de manera exploratoria por usar materiales totalmente desconocidos para crear autopartes que necesitan propiedades ideales por la exigencia en la que trabajan.

Por otro lado, se maneja el de tipo descriptivo, por la razón de relacionar las características del material base con las del material creado y verificar si es apto para aplicaciones automotrices en sistemas específicos de funcionamiento.

La investigación experimental se basa en obtener resultados que se generan al realizar los ensayos de tracción y flexión por las normas ASTM D3039 y ASTM D7264 respectivamente.

El procedimiento metodológico que se emplea en el proyecto investigativo seguirá las siguientes actividades:

Actividad 1: Generación de la materia prima para la inyección de plástico aplicando procesos de refinamiento al nylon reciclado extraído de los neumáticos NFU, mediante la experimentación de mezclas, procesos químicos y de calentamiento.

Actividad 2: Adquisición del nylon puro para la inyección de plástico mediante el análisis de las características y propiedades mecánicas, en función a la oferta del mercado nacional y fichas técnicas del fabricante.

Actividad 3: Diseño y fabricación del molde de las probetas en base a las normas ASTM D3039 y ASTM D7264 con el software inventor e inventor CAM y SolidWorks para determinar el código de operaciones numérico de manufactura “Fresado” y aplicarlo en la máquina CNC.

Actividad 4: Elaboración de las mezclas en diferentes proporciones del nylon reciclado 10%, 20% y 25% de masa y nylon puro 90%, 80% y 75% de masa respectivamente para la creación de las probetas mediante la inyección de plástico.

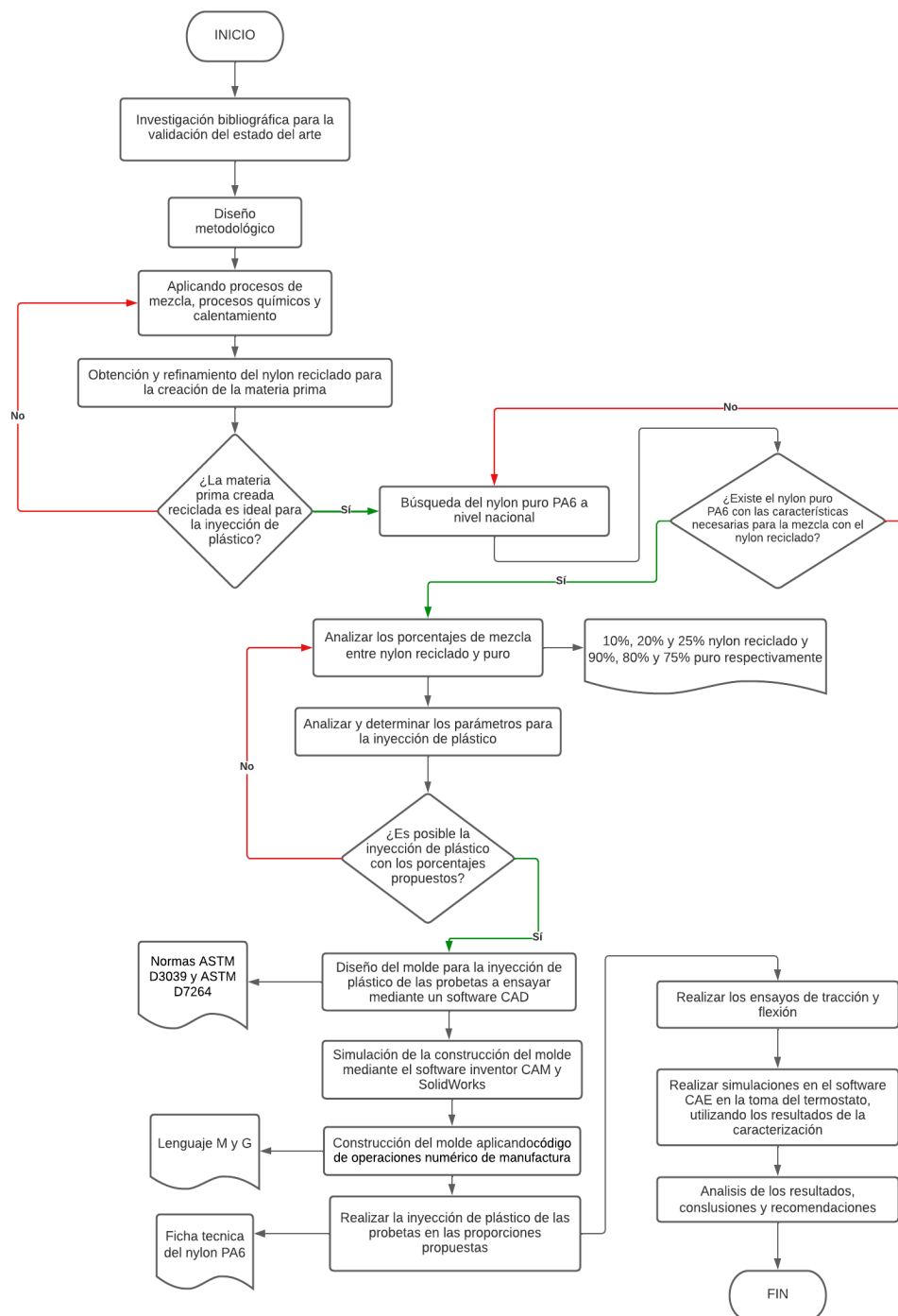
Actividad 5: Aplicación de pruebas de ensayos mecánicos destructivos de flexión y tracción considerando las normativas de la ASTM.

Actividad 6: Comparación de resultados, aplicando un análisis comparativo entre los datos del material original PA66 con los valores en los ensayos correspondientes en cada una de las pruebas mecánicas del material compuesto caracterizado PA6 con nylon reciclado en los valores determinados en el laboratorio de ensayos.

A continuación, se presenta el diagrama de procesos metodológicos aplicado durante el desarrollo del proyecto, detallando y validando cada una de las actividades que se realizarán para caracterizar el material compuesto hasta culminar la investigación.

Figura 21

Diagrama de flujo de la metodología aplicada.



Nota: En esta gráfica se representa el diseño metodológico mediante un flujo de procesos en para la inyección de plástico del nylon reciclado

Procesos de refinamiento del nylon reciclado

El proceso de reciclaje de las llantas por parte de la empresa Rubberaction consiste en la trituración de la llanta, separación de los componentes y finalmente almacenaje de cada elemento obtenido. La empresa enfoca más sus intereses y ganancias en los restos de caucho ya que es el componente número uno para la venta, lo que por una parte se vuelve negativo para la investigación ya que el nylon reciclado no es comercializado bajo ningún concepto pues no tiene ningún uso industrial.

Figura 22

Máquina trituradora de llantas empresa Rubberaction.



Nota: En esta gráfica se presenta el proceso de trituración de los neumáticos

El nylon resultante del proceso de reciclaje se puede determinar que no es puro ya que contiene muchas partículas de acero y residuos de caucho. Por el cual se aplicó un proceso de filtrado para deshacerse de dichas impurezas y tener una mejor calidad de nylon reciclado, en el cual se utilizó una malla de ojal de 1/8" para filtrar el material por cuatro veces. En la figura 21 se puede apreciar el proceso de filtrado.

Figura 23

Proceso de filtrado del nylon reciclado.



Nota: En esta gráfica se presenta el uso de una malla de ojal para el proceso de filtrado

Se realizo un análisis del peso del nylon reciclado antes y después de ser filtrado, se obtuvo como resultado que al tener 1,5 libras (0,68 Kg) de nylon reciclado sin filtrar, después de ser sometido a cuatro procesos de filtrado se obtiene 0,3 libras (0,14 Kg), la consistencia del producto entregado por la empresa Rubberaction es de una relación de 5 a 1.

Figura 24

Relación de peso antes y después de ser filtrado.



Nota: En esta gráfica se presenta las mediciones del nylon reciclado antes y después de la filtración

Se determinó que el residuo después de aplicar los procesos de filtrado en el nylon reciclado es netamente caucho y partículas de metal, esto presentaría una respuesta negativa para la inyección de plástico ya que dichos residuos su temperatura de fusión es muy alta.

Figura 25

Residuos de caucho.



Nota: En esta gráfica se presenta residuos de caucho de gran tamaño (1,5 mm de diámetro aproximadamente)

A continuación, en la figura 24 se presenta el producto final libre en un gran porcentaje de metal, partículas y pedazos de caucho.

Figura 26

Nylon reciclado filtrado.



Nota: En esta gráfica se presenta el nylon libre de partículas

Mezclas y pruebas con resina poliéster y fibra de vidrio

En el proceso se buscó la manera de mezclar resina poliéster con el nylon reciclado añadiendo fibra de vidrio y de tal manera obtener un componente el cual se podría triturar y usar el residuo para la inyección de plástico directamente, se tomó como punto de partida realizar diferentes mezclas en función a la masa de cada uno con un total de 250 gramos para proceder a calentar dicha mezcla y verificar sus puntos de fusión y comportamiento.

Tabla 6

Representación de mezclas nylon reciclado, fibra de vidrio y resina poliéster.

Masa de nylon reciclado	Masa de resina poliéster	Masa de fibra de vidrio
50 gramos 20%	195 gramos 78%	5 gramos 2%
75 gramos 30%	170 gramos 68%	5 gramos 2%
100 gramos 40%	145 gramos 58%	5 gramos 2%

Nota: En la siguiente tabla se presenta los porcentajes de mezcla

Figura 27

Proporción de nylon reciclado 30%.



Nota: En esta gráfica se presenta el nylon reciclado 75 gr.

Figura 28

Proporción de resina poliéster 30%.



Nota: En esta gráfica se presenta el nylon reciclado 171 gr.

Figura 29

Proporción de fibra de vidrio 2%.



Nota: En esta gráfica se presenta la fibra de vidrio 5 gr.

Para encontrar una mezcla más homogénea se empleó un diluyente “Estireno” para la resina poliéster y aumentar el punto de fluidez y proponer una mezcla más líquida. A continuación, en la tabla 7 se presenta los porcentajes de mezcla con la presencia del Estireno.

Tabla 7

Representación de mezclas nylon reciclado, fibra de vidrio y resina poliéster (diluida).

Masa de nylon reciclado	Masa de resina poliéster	Masa de estireno	Masa de fibra de vidrio
50 gramos 20%	97 gramos 39%	98 gramos 39%	5 gramos 2%
75 gramos 30%	85 gramos 34%	85 gramos 34%	5 gramos 2%
100 gramos 40%	77 gramos 29%	78 gramos 29%	5 gramos 2%

Nota: En la siguiente tabla se presenta los porcentajes de mezcla

Figura 30

Proporción de estireno y resina poliéster.



Nota: En esta imagen se presenta las mediciones estireno y resina poliéster.

Figura 31

Mezcla de los componentes.



Nota: En esta imagen se presenta la mezcla antes de llevar a una alta temperatura

Figura 32

Resultante de someter a una alta temperatura.



Nota: En esta imagen se presenta el resultado de calentar la mezcla a 180 °C

Al realizar las diferentes mezclas se comprobó que el punto de fusión desequilibrado de los diferentes elementos crea un inconveniente para que estos elementos se fundan de forma homogénea e ideal para crear la materia prima necesaria para la inyección de plástico se determina como intento fallido.

Tabla 8

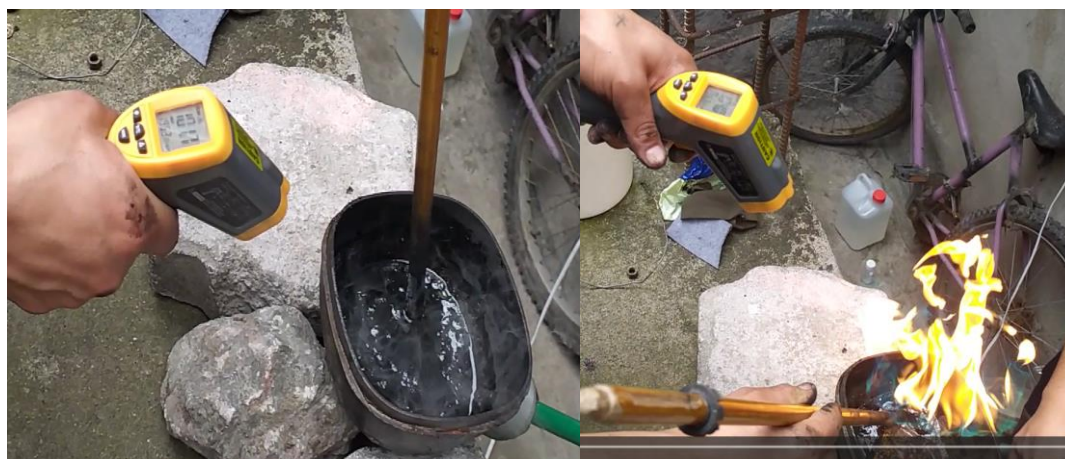
Puntos de fusión de los elementos involucrados.

Elemento	Temperatura de fusión o temperatura de ebullición	Temperatura de fusión o temperatura de ebullición medida
Nylon reciclado	220 °C	218 °C
Resina poliéster	145 °C	103 °C
Estireno	145 °C	106 °C
Fibra de vidrio	1200 °C	No aplica
Caucho	300 °C	280 °C (Combustiona)

Nota. En la tabla se presenta los valores de temperatura teóricos y medidos. Adaptado de Tabla de resinas, de ReaxSol, 2023 (<https://www.reaxsol.com/fichas-tecnicas/hoja-de-datos-de-seguridad-resina-poliester-preacelerada/>). CC BY 2.0

Figura 33

Punto de autoencendido de la mezcla.



Nota: En esta imagen se presenta el momento de autoencendido de la mezcla 104 °C

Tratamiento del nylon reciclado de manera individual

Al tratar y conocer el comportamiento del nylon reciclado ante las altas temperaturas se optó por tratar el nylon de manera individual para lo cual el mismo tuvo que pasar por un proceso de extracción de partículas de caucho de manera manual y conseguir una cantidad suficiente para que el mismo se calentado y formar restos de nylon reciclado-solidos. Para el proceso se decidió un material que soporte altas temperaturas y no se adhiera a la fusión del nylon el cual fue un utensilio de teflón el cual se llevó a una temperatura de fusión que en el experimento fue de 200 a 230 °C y de tal manera conseguir materia prima para mezclar con nylon puro para la inyección de plástico.

Figura 34

Elevación de temperatura del nylon reciclado.



Nota: En esta imagen se presenta el proceso de calentamiento del nylon de manera individual

Figura 35

Temperatura de fusión.



Nota: En esta imagen se presenta el proceso de calentamiento del nylon de manera individual

Al esperar su solidificación a temperatura ambiente y durante 15 minutos se obtuvo restos pequeños de nylon reciclado listo para el uso de la inyección de plástico

Figura 36

Nylon reciclado solidificado.



Nota: En esta imagen se presenta el nylon reciclado sólido

Fabricar el molde de las probetas aplicando las normas ASTM D3039, ASTM D7624

Para la fabricación de las probetas en las cuales se realizarán los ensayos de tracción y flexión se empleó el software y su extensión inventores CAM, también nos ayudamos con el software SolidWorks, donde se representó y dibujo bajo las dimensiones determinadas y establecidas. para el diseño de las probetas se debe tener en cuenta que las dimensiones deben ser aumentadas en cierto porcentaje por las características del nylon que se contrae después finalizada la inyección de plástico y llega a solidificarse.

A continuación, en las siguientes tablas 9 y 10 se presenta las medidas del molde con el factor de contracción del nylon que es de 2% para las probetas de los ensayos de flexión y 2,4% para las probetas de los ensayos de tracción

Tabla 9

Medidas de las probetas de flexión con factor de contracción.

Normativa	L (mm)	A (mm)	E (mm)
ASTM-7264	60	3	4
Con factor de contracción 2%	63,2	3,26	4,08

Nota: En la siguiente tabla se presenta las medidas de la norma ASTM-7264

Tabla 10

Medidas de las probetas de tracción con factor de contracción.

Normativa	L (mm)	A (mm)	E (mm)
ASTM-3039	75	5	3
Con factor de contracción 2,4%	79,2	5,6	3,07

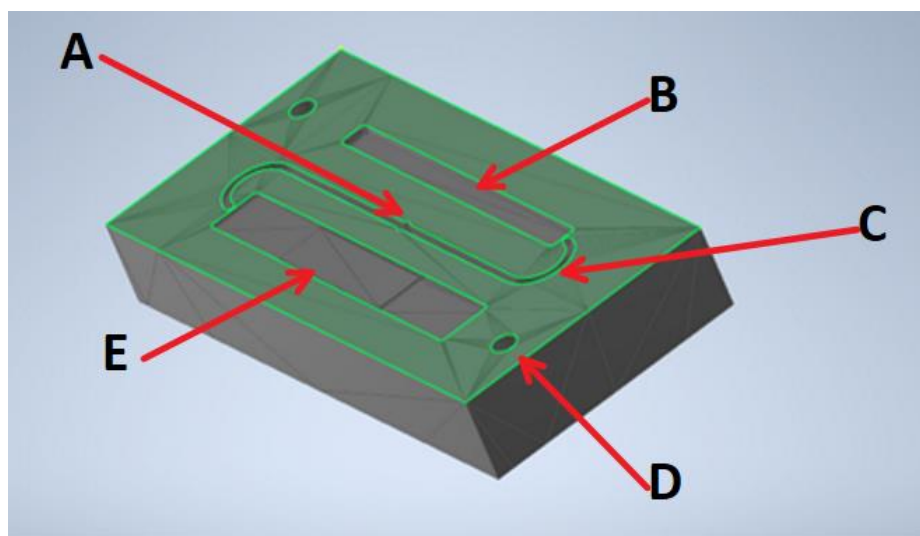
Nota: En la siguiente tabla se presenta las medidas de la norma ASTM-3039

Para la creación del molde se consideró las mismas medidas de las probetas y por proceso de inserción y comando vaciado Se desarrollo tanto la probeta de flexión como la de

tracción en una misma estructura agregando detalles como los agujeros para las columnas y una cavidad para el ingreso y dispersión del plástico inyectado como se muestra en la figura 35.

Figura 37

Cavidad móvil.



Nota: En esta imagen se presenta la distribución del molde de inyección cavidad móvil

En la siguiente tabla se presenta las medidas desarrolladas para el molde la parte de cavidad móvil

Tabla 11

Medidas de la cavidad móvil.

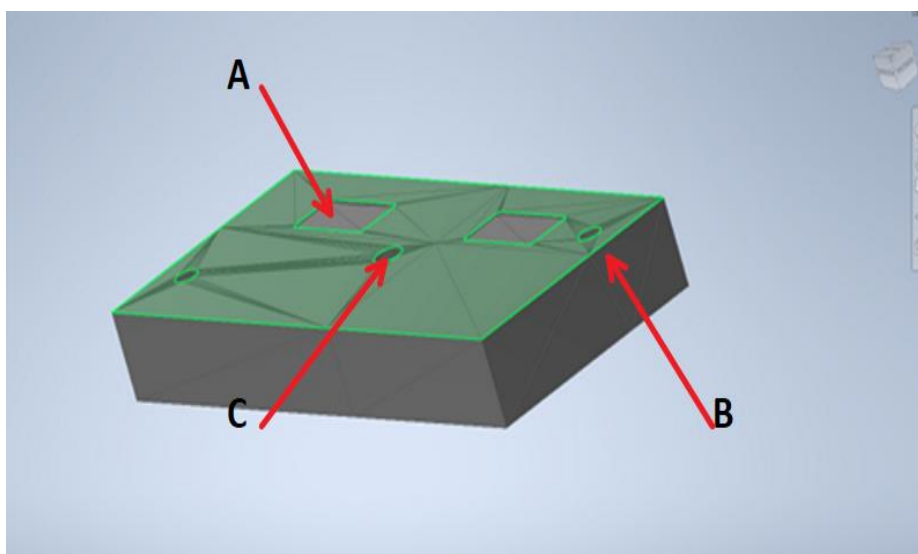
Indicador	Descripción	Medida
A	Ingreso del plástico inyectado	---
B	Cavidad de la probeta de flexión	Profundidad de 4,08 mm
C	Canal para la dispersión del plástico inyectado	Ancho 4,2 mm
D	Agujero para las columnas del molde	Diámetro 12 mm
E	Cavidad para la probeta de tracción	Profundidad 2,05 mm

Nota: En la siguiente tabla se presenta las medidas de la cavidad móvil

Se realizó una cavidad fija por la cual estará la entrada de la boquilla para la inyección de plástico como se muestra en la figura 36.

Figura 38

Cavidad fija.



Nota: En esta imagen se presenta la distribución del molde de inyección cavidad fija

En la siguiente tabla se presenta las medidas desarrolladas para el molde la parte de cavidad fija.

Tabla 12

Medidas de la cavidad fija.

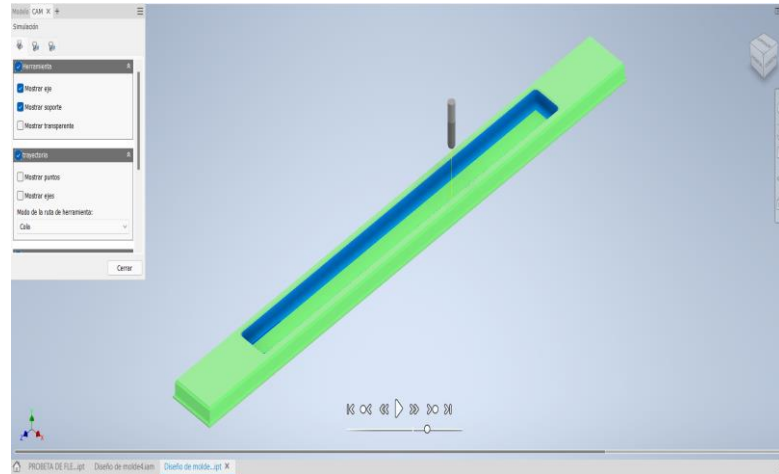
Indicador	Descripción	Medida
A	Cavidad para la probeta de tracción	Profundidad de 1,02 mm
B	Agujero para las columnas del molde	Diámetro de 12 mm
C	Agujero para la colocación de la boquilla	Diámetro de 15 mm

Nota: En la siguiente tabla se presenta las medidas de la cavidad móvil

Para este proceso se debe realizar una simulación para un maquinado más eficiente teniendo en cuenta herramientas de corte existentes en el mercado nacional y de cierta manera poder extraer el código del control numérico computarizado.

Figura 39

Simulación de maquinado de la cavidad móvil en el software inventor CAM.



Nota: En esta imagen se presenta la simulación de la profundidad de la probeta de flexión

Para desarrollar el proceso de maquinado del molde para la inyección de plástico se necesita el lenguaje G y M en los ejes x-y-z presentado a continuación en la figura 38 y 39 (el código completo se encuentra en anexos):

Figura 41

Obtención del código de maquinado para la cavidad móvil.

```

%
O5000 (CNCICLS0066MOLDEPROVETACAVIDADMOVIL.TAP)
( MCV-OP ) (14-JAN-2023)
(SUBROUTINES: 02 .. 00)
G90 G17
G80 G49 G40
G54
G91 G28 Z0
G90
M01
N1 M6 T1
(TOOL -1- MILL DIA 6.0 R0. MM )
G90 G00 G40 G54
G43 H1 D31 G0 X-76.6 Y28.37 Z120. S1000 M3
M8
(-----)
(P-CONTOUR11 - POCKET)
(-----)
X-76.6 Y28.37 Z25.
Z2.
G1 Z-0.05 F200
Y31.63 F700
X-74.206
Y28.37
X-71.812
Y31.63
X-69.418
Y28.37
X-67.025
Y31.63
X-64.631
Y28.37
X-62.237
Y31.63
X-59.844
Y28.37
X-57.45
Y31.63
X-55.056
Y28.37
X-52.662
Y31.63
X-50.269
Y28.37
X-47.875
    
```

Nota: En esta imagen se presenta el código para la maquina CNC para el maquinado de la cavidad móvil

Aceros utilizados para la creación del molde

Los aceros que se utilizaron para la creación del molde se caracterizan por su gran resistencia a la temperatura, presión y ductilidad para los procesos de maquinado en la tabla 13 se presenta los tipos de acero para cada parte del molde.

Tabla 13

Aceros utilizados para el molde.

Parte del molde	Tipo de acero	Medida
Bases	A 36	Longitud 200 mm y 100 mm espesor
Paralelas	705	Diámetro de 12 mm
Placas	1045	Longitud 320 mm, ancho 250 mm y espesor 150 mm

Nota: En la siguiente tabla se presenta los aceros para el molde de inyección de plástico

Características técnicas de la maquina CNC

La máquina que se utilizó para el maquinado del molde se presenta en la tabla 14.

Tabla 14

Características de la maquina CNC.

Características	Descripción
Número de ejes	3 ejes
Orientación del husillo	vertical
Nariz del husillo	BT 40
Número de herramientas	24 herramientas
Aplicaciones	para cambiador de herramienta automático
Otras características	fresado, de alta velocidad, compacto, rígido, de alta productividad, CE, de un solo bloque
Carrera X	650 mm, 850 mm, 1.000 mm (26 in)
Carrera Y	550 mm (22 in)
Carrera Z	550 mm (22 in)
Velocidad de rotación	Mín.: 0 rpm (0 rad.min-1) Máx.: 10.000 rpm (62.832 rad.min-1)
Potencia	7,5 kW, 9 kW (10,2 hp)
Velocidad de avance del eje X	10.000 mm/min (7 in/s)

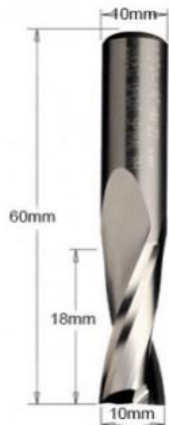
Velocidad de avance del eje Y	10.000 mm/min (7 in/s)
Carga máxima de la mesa	600 kg, 800 kg (1.323 lb)
Peso de la herramienta (máx.)	7 kg (15 lb)
Precisión de colocación	0,005 mm (0 in)
Repetibilidad	0,003 mm (0 in)
Tiempo de cambio de herramienta	1,8 s, 3,9 s
Peso total	4.000 kg, 4.300 kg, 4.600 kg (8.818 lb)
Longitud total	2.420 mm, 2.620 mm (95,3 in)
Anchura total	2.200 mm (86,6 in)
Altura total	2.700 mm (106,3 in)

Nota: En la siguiente tabla se presenta los datos técnicos de la maquina CNC

Para el proceso de maquinado se debe tener en cuenta parámetros importantes para un buen acabado del molde en la tabla 15 se presenta las herramientas utilizadas para el proceso de maquinado.

Tabla 15

Fresas utilizadas en el maquinado del molde.

Herramienta	Diámetro (mm)	Descripción
Fresa recta plana	10	

Fresa recta plana

4



Fresa cabeza redonda

4



Nota: En la siguiente tabla se presenta las fresas utilizadas en el proceso

Aplicación del diseño experimental (DOE)

Con el fin de optimizar procesos enfocado en la industria se utiliza una herramienta denominada (DOE) el cual representa una metodología estadística, que mediante una fórmula matemática permitirá determinar la cantidad necesarias de probetas y número de combinaciones posibles en base a la experimentación de la investigación.

Diseño experimental factorial

El diseño experimental será aplicado para validar el número de probetas que se inyectaran para realizar los ensayos mecánicos de tracción y flexión. En la tabla 16 se muestra el modelo matemático.

Tabla 16

Modelo matemático para la aplicación del diseño experimental.

Modelo matemático	Parámetro	Significado
	n	Número de probetas totales
$n = \left(\frac{40 * \sqrt{n'' * \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}}{\Sigma x} \right)^2$	n''	Número de observaciones preliminares
	Σ	Suma de valores
	x	Valor de las observaciones
	40	Constante para un nivel de confianza del 95 % y un error del 10 %
Si (n < ; =) 5 serán suficientes con las probetas ensayadas Si n > 5 se debe elaborar el número de probetas faltantes		

Nota. En esta tabla se muestra el modelo matemático aplicado para establecer el número total de probetas totales.

Al aplicar este modelo matemático permite determinar la cantidad de probetas necesarias para cada ensayo y de tal manera la validación de los resultados obtenidos o nos alertara de la creación de más probetas y certificar la investigación.

La interpretación de los resultados está en base a los parámetros de:

- La fuerza máxima de elasticidad
- Fuerza de rotura

- Porcentajes de nylon reciclado
- Presión de inyección
- Temperatura de las zonas de la maquina inyectora
- Velocidad de inyección

El diseño experimental factorial se trata de combinar las diferentes alternativas en función a los niveles, cuyo cálculo para el número de probetas se considera el porcentaje de nylon utilizado, presión de inyección, temperatura de inyección y velocidad de inyección dado por:

Tabla 17

Modelo matemático de la relación entre factores y niveles.

Modelo matemático	Parámetro	Significado
n^k	K	Número de factores
	n	Número de niveles

Nota. En esta tabla se muestra el modelo matemático-aplicada la relación entre los factores y niveles del proceso experimental.

Los factores del proceso experimental de la investigación, así como los niveles correspondientes se presentan en la tabla 18.

Tabla 18

Factores y niveles considerados en el diseño factorial.

Factores	Niveles
Porcentaje de nylon reciclado	25% (A1)
	20% (B1)
	10% (C1)
Presión de inyección	858 Kgf/cm ² (D1)

Temperatura de inyección	220 ⁰ C (E1)
--------------------------	-------------------------

Nota. Esta tabla representa la relación entre los factores y niveles que se aplica para el cálculo del número de combinaciones de las probetas.

Considerando el modelo matemático expuesto y su relación con los factores y niveles se obtiene la siguiente correspondencia:

$$n^k = (3)^1 * (1)^1 * (1)^1 * (1)^1 = 3$$

El dato obtenido (3), representan los tratamientos con las combinaciones requeridas:

Tabla 19

Aplicación de los Tratamientos con las combinaciones de las probetas.

Tratamiento	Combinaciones	Variable en unidades
T1	A1+D1+E1	5
T2	B1+D1+E1	5
T3	C1+D1+E1	5

Nota. Se representa los tratamientos que se va a realizar con las combinaciones en el diseño experimental

Mezclas del nylon reciclado con puro

Para generar las mezclas para la inyección de plástico se trabajó en proporciones controladas cuidando el comportamiento del nylon reciclado ya que los procesos de filtrado y separación manual realizados no aseguraban un material reciclado 100% puro y la presencia de residuos de caucho generan incertidumbre en el proceso de inyección de plástico. Para realizar las pruebas en la maquina inyectora de plástico se adiciono 50% de nylon reciclado y 50% puro en una cantidad de 1000 gr. Durante el proceso se pudo identificar que existió una alerta de la

maquina relacionada a sobrepresión en la zona del husillo y camisa como indica la figura 44, también se pudo apreciar mucha presencia de humo de color negro y calentamiento excesivo de la punta inyectora como se muestra en la figura 45. Un análisis de la situación se determinó que la presencia de partículas de caucho mínimas impide el buen desempeño de la inyección de plástico considerando que la temperatura de inyección es de 220 °C, temperatura suficiente para calentar el caucho y obtener humo negro que está compuesto de monóxido de carbono, dióxido de carbono y dióxido de azufre por lo cual se determina disminuir la cantidad de nylon reciclado y evitar la presencia de ese fenómeno dentro la maquina inyectora.

Figura 42

Pantalla comunicativa de la maquina inyectora de plástico.



Nota: En esta imagen se presenta la detección de sobrepresión en la maquina con 50% nylon reciclado y 50% nylon puro

Figura 43

Boquilla de la maquina inyectora de plástico.



Nota: En esta imagen se presenta la boquilla después de la inyección de plástico 50/50

En la tabla 20 se presenta las mezclas del nylon reciclado con el nylon puro.

Tabla 20

Mezclas para la inyección de plástico.

Proporción del nylon reciclado (%)	Proporción del nylon puro (%)	Masa del nylon reciclado	Masa del nylon puro
25%	75%	250 gr	750 gr
20%	80%	100 gr	400 gr
10%	90%	50 gr	450 gr

Nota: En la siguiente tabla se presenta los aceros para el molde de inyección de plástico

Se realizo las diferentes mezclas con la ayuda de una balanza digital tanto para 25%, 20% y 10% de nylon reciclado.

Figura 44

Nylon puro para la mezcla 25%.



Nota: En esta imagen se presenta la medición de masa del nylon puro

Figura 45

Mezcla 10% Nylon reciclado.



Nota: En esta imagen se presenta 90% nylon puro y 10% reciclado

En la mezcla fue agregado 5 gr de masterbatch, colorante negro para acabados, una vez realizadas las mezclas todo fue introducido en la tolva de la máquina.

Figura 46

Masterbatch colorante para acabados.



Nota: En esta imagen se presenta colorante Masterbatch

Figura 47

Colocación de las mezclas en la tolva de la inyectora.



Nota: En esta imagen se presenta la colocación de las mezclas en la maquina inyectora

Características técnicas de la maquina inyectora de plástico

La máquina inyectora de presión es denominada EASYMASTER EM80-SVP/2, máquina de componentes europeos como:

- Válvulas hidráulicas: Bosch Rexroth o Vickers
- Bomba hidráulica: Eckerle
- Transductores lineales: Gefran o Novotechnik
- Componentes eléctricos: Siemens, Schneider, Telemecanique, PILZ

A continuación, en la tabla 21 se presenta su ficha técnica

Tabla 21

Maquina inyectora de plástico EASYMASTER EM80-SVP/2.

Unidad de inyección		
Parámetros	Unidades	Valores
Volumen de carga	cm ³	163
Peso inyectado (PS)	g	150
Diámetro del husillo	mm	36
Relación L/D husillo	L/D	19,6
Presión inyección (Max)	Kgf/cm ²	1560
Capacidad de inyección	g/s	87
Capacidad de plastificación	g/s	12
Velocidad de dosificación (Max)	Rpm	182
Recorrido de husillo	Rpm	160
Unidad de cierre		
Fuerza de cierre	Ton	80
Recorrido de apertura	mm	320
Máxima luz	mm	640
Plato móvil (HxV)	mm	545 x 490
Espacio entre columnas	mm	255 x 300
Espesor máximo del molde	mm	320
Espesor mínimo del molde	mm	130
Carrera de expulsor	mm	80
Fuerza de expulsor	Ton	2,3
Otros		
Presión de sistema	MPa	14,8
Motor Bomba	kW	11

Calefacción	kW	6,7
Zonas control de temperatura	Zones	3 + boquilla
Depósito de aceite	L	170
Dimensiones de maquina (LxWxH)	m	4,6 x 1,1 x 1,7
Peso maquina	Ton	2,8

Nota: En la siguiente tabla se presenta las características técnicas de la maquina inyectora

Para realizar la inyección de plástico de las probetas en las proporciones establecidas se calibro la maquina en función a las necesidades del nylon puro PA6, los parámetros a calibrar son:

- Temperaturas del cilindro zona 1, 2 y 3
- Velocidad de inyección
- Presión de inyección
- Tiempo de inyección, postpresión, plastificación, enfriamiento y duración del ciclo
- Distancias de dosificación y espesor del colchón

A continuación, en la tabla 22 se presenta los valores usados para la inyección de plástico de las probetas a las proporciones establecidas.

Tabla 22

Parámetros para la inyección de plástico.

Parámetro	Unidades	Valor aplicado	Valor recomendado
Temperatura zona 1	°C	220	240 - 300
Temperatura zona 2	°C	220	240 - 300
Temperatura zona 3	°C	220	240 - 300
Velocidad de inyección	Rpm	60% 96	50 a 100
Tiempo de llenado	s	2	---
Tiempo de plastificación	s	15,39	---
Espesor del colchón	mm	0,7	---
Tiempo de enfriado	s	0	Manual
Tiempo de post presión	s	0,3	---
Presión de inyección	Kgf/cm ²	55% 858	306 - 816

Distancia de dosificación mm 30 ---

Nota: En la siguiente tabla se presenta los aceros para el molde de inyección de plástico

Figura 48

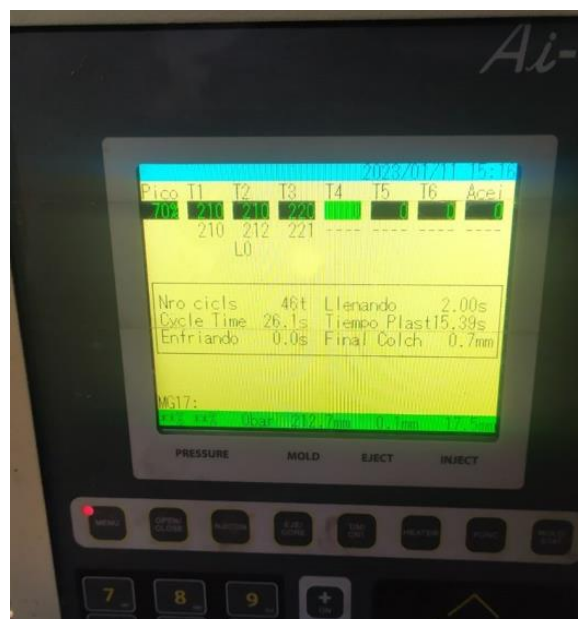
Calibración de los parámetros de la maquina inyectora.



Nota: En esta imagen se presenta la colocación de parámetros para la inyección.

Figura 49

Calibración de las temperaturas de la maquina inyectora.



Nota: En esta imagen se presenta la colocación de temperatura de la inyección

Los valores especificados fueron utilizados para la inyección de probetas en las tres proporciones 10%, 20% y 25% de nylon reciclado teniendo en cuenta que las propiedades mecánicas son las mismas hasta un cuarto uso del nylon reciclado. Se inyectó 7 probetas por cada una de las proporciones el proceso de las 21 probetas fue alrededor de unos 30 minutos incluida la calibración de la máquina.

Se debe sujetar los moldes a la maquina tanto la cavidad fija como la móvil y aplicar un poco de desmoldante líquido, a la cavidad fija para evitar que el nylon se pegue al molde. A continuación, en la figura 49 se muestra los moldes y al producto terminado de las probetas inyectadas.

Figura 50

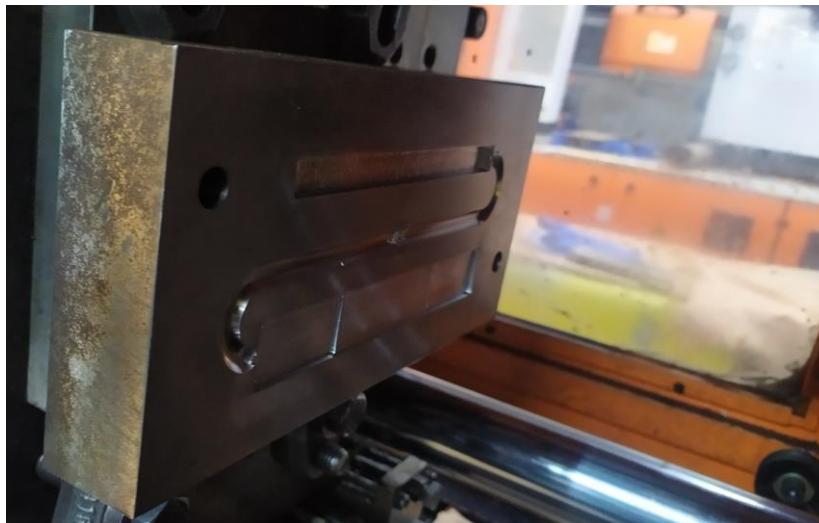
Colocación de los moldes en la maquina inyectora.



Nota: En esta imagen se presenta la colocación de los moldes en la maquina inyectora.

Figura 51

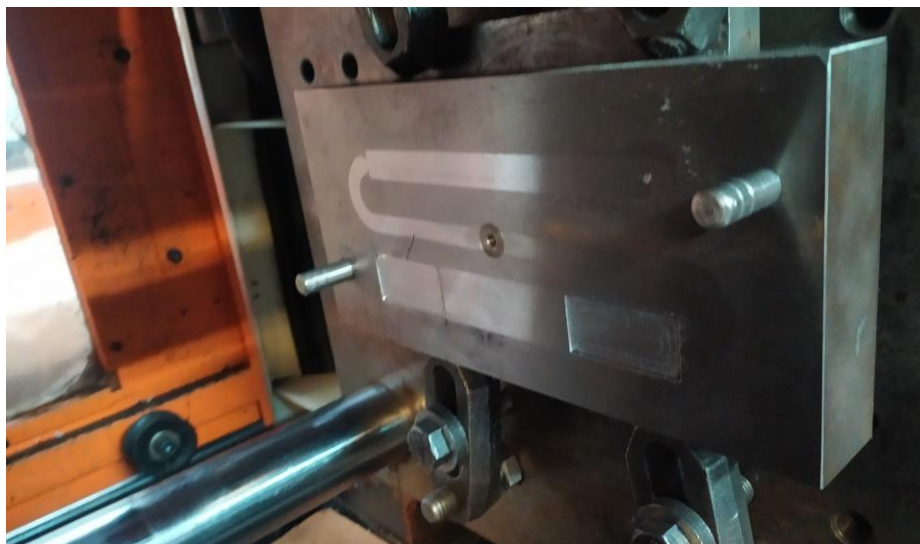
Colocación de los moldes móvil en la maquina inyectora.



Nota: En esta imagen se presenta la colocación del molde móvil en la maquina

Figura 52

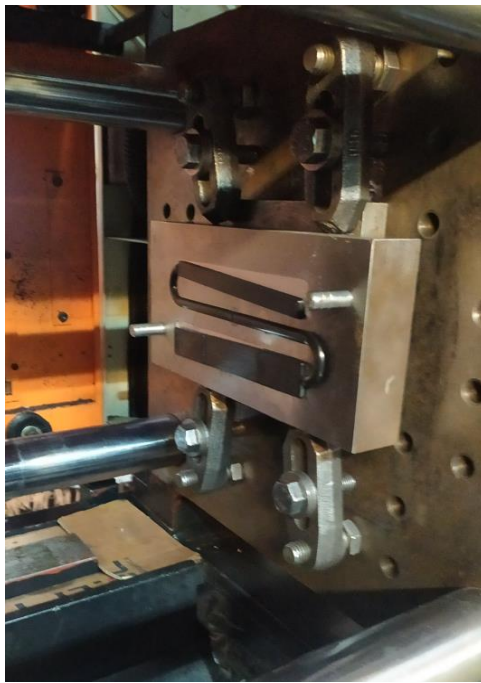
Colocación del molde fijo en la maquina inyectora.



Nota: En esta imagen se presenta la colocación del molde fijo en la maquina inyectora.

Figura 53

Finalización de la inyección de plástico.



Nota: En esta imagen se presenta la inyección de plástico terminada

Figura 54

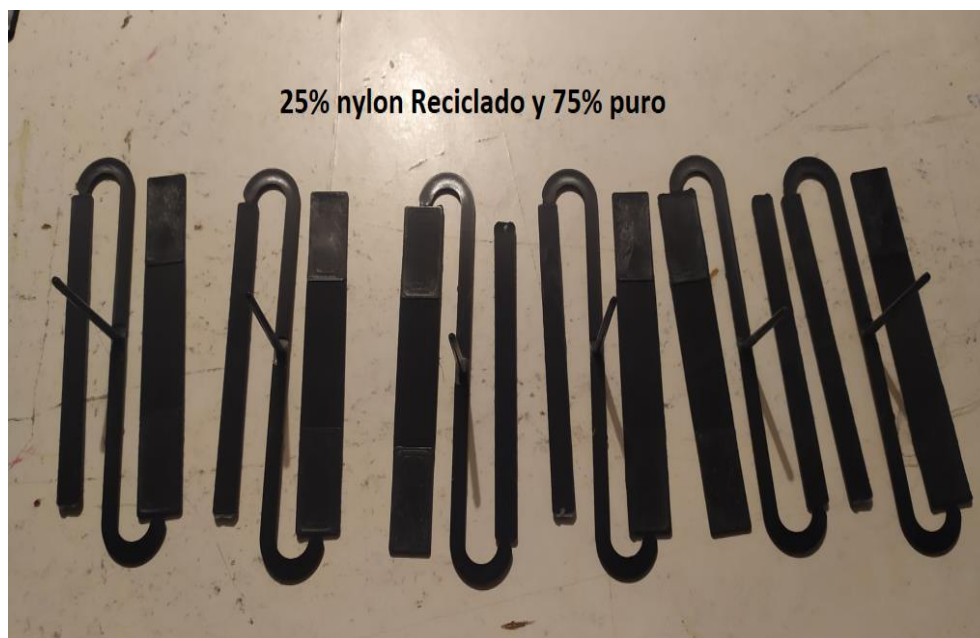
Producto final de la inyección de plástico.



Nota: En esta imagen se presenta el producto final de inyección de plástico

Figura 55

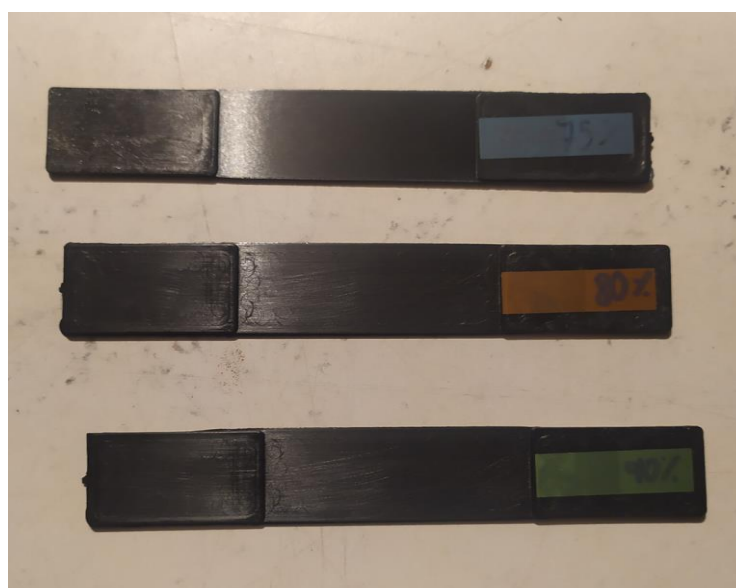
Producto final de la inyección de plástico 25% nylon reciclado.



Nota: En esta imagen se presenta el producto final 25% nylon reciclado

Figura 56

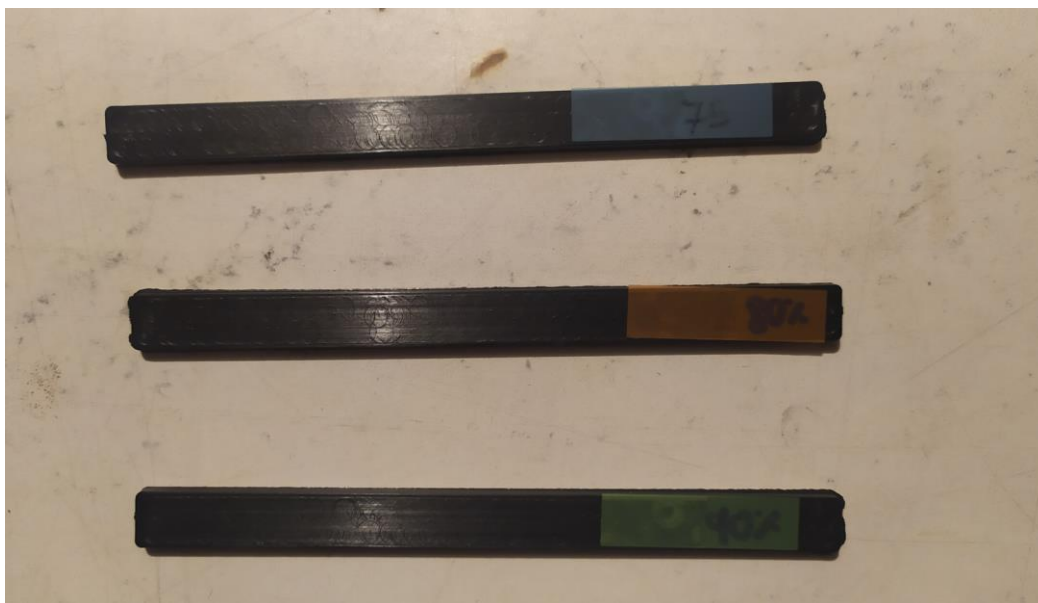
Probetas de tracción en las proporciones de nylon puro.



Nota: En esta imagen se presenta las probetas en 75%, 80%, 90%

Figura 57

Probetas de flexión en las proporciones de nylon puro.





Nota: En esta imagen se presenta las probetas en 75%, 80%, 90%

Calibración de presión y pruebas al inicio de la inyección de plástico

Se realizó varias pruebas de presión para determinar el valor exacto en función a la longitud y espesor de la probeta el nylon PA6 tiene una presión variante de inyección de 300 a 800 bar por ende la presión adecuada debía estar dentro del intervalo en las diferentes mezclas se manipulo varios valores de presión y como resultado se obtuvo inyecciones incompletas o excedidas de material. Como se muestra en la tabla 23:

Tabla 23

Intervalo de presiones fallidas en la inyección de plástico.

Presión utilizada	Valor total disponible en la inyectora	Valor real de inyección	Fotografía
53%	1530 bar	810,9 bar	
68 %		1040,4 bar	

Nota: En la siguiente tabla se presenta los aceros para el molde de inyección de plástico

Aplicación de pruebas de ensayos mecánicos destructivos de flexión y tracción

Aplicación de los ensayos de flexión

Obtenidas las probetas mediante la inyección de plástico se procede a la aplicación de los ensayos de flexión, a continuación, en la tabla 24 se detalla las características técnicas de la máquina universal de ensayos, perteneciente al centro de ensayos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla 24

Datos técnicos del equipo para ensayos de flexión MTS – T 5002.

Datos técnicos del equipo de ensayos de flexión	
Velocidad / Refrigerante	110/120 // (no necesita refrigerante NA)
Fases / tipo motor	1 / NA
Ciclos / potencia	60Hz / NA
Peso	300 kg
Velocidad máxima motor:	20 plg /min
Capacidad máxima	5000 N
Combustible	N/A
Marca / modelo	MTS – T 5002
Consideraciones técnicas:	No sobrepasar más del 90% de la capacidad máxima de la escala

Nota. Esta tabla se detalla la información técnica del equipo aplicado en ensayos destructivos de flexión de serie MTS – T5002

Para los ensayos de flexión se detalla en la tabla 25:

Tabla 25

Probetas de flexión cuantificadas para el ensayo.

Nylon reciclado	Nylon puro	Probetas para ensayar
10%	90%	5
20%	80%	5
25%	75%	5

Nota. En la siguiente tabla se indica el número de probetas a ensayar

La aplicación de los ensayos de flexión bajo la normativa ASTM 7264 se aplicó en cada una de las probetas categorizadas teniendo en cuenta la mezcla de cada una con nylon reciclado con un total de 15 probetas ensayados bajo cargas mecánicas para su destrucción, en la figura 56 se muestra el proceso.

Figura 58

Proceso de aplicación de ensayos destructivos de flexión.



Nota. Esta figura muestra una referencia del ensayo de flexión en las probetas

Para los ensayos de flexión realizados en el laboratorio de ensayos mecánicos para materiales compuestos de la universidad de las fuerzas armadas ESPE en base a los siguientes parámetros:

- Temperatura inicial de ensayo: 22.00°C
- Temperatura final de ensayo: 24.00°C
- Humedad relativa de inicio: 50.00%
- Humedad relativa de finalización: 49.90%
- Velocidad de ensayo: 11 mm/min (solicitada en la norma)
- Distancia calibrada de la deformación: 1-16 mm (entre apoyos)
- Espesor de la probeta en mm

En la tabla 26 se muestran los resultados de las probetas ensayadas

Tabla 26

Probetas de flexión destruidas en la máquina de ensayos MTS – T 5002.

Código	Ensayo ASTM 7264 – Flexión
75% nylon puro – 25% nylon reciclado	
75F1	
75F2	
75F3	
75F4	
75F5	
80% nylon puro – 20% nylon reciclado	
80F1	
80F2	
80F3	
80F4	
80F5	
90% nylon puro – 10% nylon reciclado	
90F1	
90F2	
90F3	
90F4	

90F5



Nota. En la siguiente tabla la deformación de las probetas por ensayo de flexión

Aplicación de los ensayos de tracción

Obtenidas las probetas mediante la inyección de plástico se procede a la aplicación de los ensayos de tracción, a continuación, se detalla las características técnicas de la máquina de ensayos en el laboratorio certificado del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Tungurahua (CFPMCPT), en la ciudad de Ambato ubicado en las calles Toronto y Rio de Janeiro, sector la Península.

El equipo utilizado para los ensayos de tracción es de la serie STH/CS, de la empresa Metrotrec.

Figura 59

Máquina certificada serie STH/CS para la aplicación de los ensayos de tracción.



Nota. En esta figura se observa la máquina de ensayos de tracción con capacidad máxima de 1500N.

Tabla 27

Datos técnicos del equipo para ensayos de tracción STH/CS.

Datos técnicos del equipo de ensayos de tracción STH/CS	
Capacidad Máxima	400 a 2000(KN) / (40 - 200 Tns)
Resolución lecturas de carga:	1/200.000 puntos: (100.000 Tracción y 100.000 Compresión)
Velocidad Muestreo Datos Fuerza (interna):	30.000 S/segundo
Rango de medición	2 % -100% del FS
Error relativo de la lectura	clase 1 (< 1%)
Rango Uniforme de Control de Carga	1 – 100 N/mm2/s
Exactitud	± 0,5%
Tolerancia de Velocidad de Tensión	≤ ± 0,5 %
Control Uniforme de Velocidad de Carga	0,00025/s – 0,0025/s
Tolerancia de Velocidad de Carga	≤ ± 0,5%
Error relativo de la velocidad de desplazamiento:	≤ ± 0,5%
Método de Sujeción de las Muestras	Mordazas Hidráulicas
Dimensiones del Armario de Control	500 x 750 x 1500mm (ancho x fondo x alto)
Tamaño de los Platos de Compresión	diámetro de 200 mm
Recorrido máximo del Pistón Hidráulico	300 mm
Condición de temperatura ambiente de trabajo:	10 °C ~ 35 °C (Humedad: 20% -80%)

Nota. Esta tabla se detalla la información técnica del equipo usado para los ensayos de tracción

Para los ensayos de tracción se detalla en la tabla 28, también se observa el número de probetas consideradas para la aplicación de ensayos.

Tabla 28

Probetas de tracción cuantificadas para el ensayo.

Nylon reciclado	Nylon puro	Probetas para ensayar
10%	90%	5
20%	80%	5
25%	75%	5

Nota. En la siguiente tabla se indica el número de probetas a ensayar

La aplicación de los ensayos de flexión bajo la normativa ASTM 3039 se aplicó en cada una de las probetas categorizadas teniendo en cuenta la mezcla de cada una con nylon reciclado con un total de 15 probetas ensayados bajo cargas mecánicas para su destrucción.

Dichos ensayos fueron aplicados en el centro carrocerero en base a los siguientes parámetros:



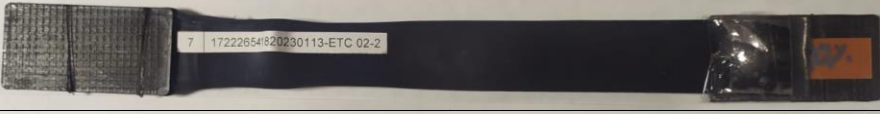
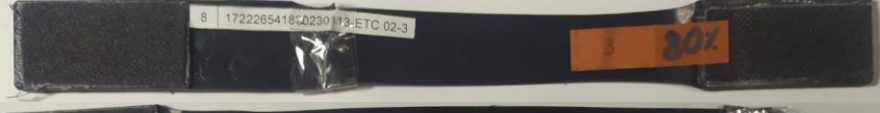




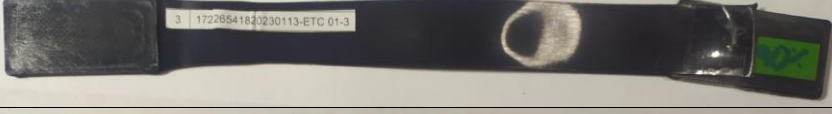

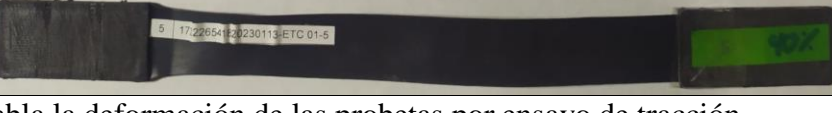
- Temperatura inicial de ensayo: 22°C
- Temperatura final de ensayo: 24°C
- Humedad relativa de inicio: 49.70%
- Humedad relativa de finalización: 49.40%
- Velocidad de ensayo: 2 mm/min
- Distancia calibrada de la deformación: 25.25 mm
- Número de muestras: 15

En la tabla 29 se puede observar las probetas aplicado el ensayo destructivo.

Tabla 29

Probetas de tracción ensayadas en el equipo para ensayos de tracción STH/CS.

Código	Ensayo ASTM D-3039 75% nylon puro – 25% nylon reciclado
75F1	 A black tensile specimen with a white label on the left side containing the number 11 and the text '1722265418/740113-ETC 03-1'.
75F2	 A black tensile specimen with a white label on the left side containing the number 12 and the text '172265418/740113-ETC 03-2'.
75F3	 A black tensile specimen with a white label on the left side containing the number 13 and the text '172265418/740113-ETC 03-3'.
75F4	 A black tensile specimen with a white label on the left side containing the number 14 and the text '172265418/740113-ETC 03-4'.

75F5	
80% nylon puro – 20% nylon reciclado	
80F1	
80F2	
80F3	
80F4	
80F5	
90% nylon puro – 10% nylon reciclado	
90F1	
90F2	
90F3	
90F4	
90F5	

Nota. En la siguiente tabla la deformación de las probetas por ensayo de tracción

Resultados

Análisis comparativo de las probetas a flexión

Para realizar el análisis comparativo de las probetas de flexión se realiza una comparación de los promedios de cada mezcla establecida para las probetas de flexión y obtener las características y diferencias, para lo cual se toma en cuenta el valor de la fuerza máxima generada en el ensayo destructivo, en la tabla 30 se presentan los valores.

Tabla 30

Datos comparativos de cada uno de los tratamientos del ensayo de flexión.

ETP1 (N) 10% R y 90% V	ETP2 (N) 20% R y 80% V	ETP3 (N) 25% R y 75% V
59,201	46,559	50,876
60,434	55,501	49,951
64,443	54,267	51,184
65,984	53,034	50,567
59,201	48,101	49,951

Nota. En la siguiente tabla se representa las combinaciones de cada una de las mezclas del ensayo de flexión

Análisis ANOVA de resultados de los ensayos de flexión

Se debe usar las fuerzas máximas de cada una de las probetas y se procede a realizar el análisis ANOVA, donde se deben ingresar los datos en el programa STATGRAPHICS el cual realizará la comparación de las muestras, a continuación, se detallará el proceso de análisis.

Tabla 31

Tabla de resumen estadístico.

Código	Recuento	Promedio (N)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
ETP1	5	61,8526	3,15646	5,1032%	59,201	65,984	6,783
ETP2	5	49,8924	2,90896	5,83047%	46,559	54,267	7,708
ETP3	5	51,3058	2,20465	4,29708%	49,951	55,184	5,233
Total	15	54,3503	6,09611	11,2163%	46,559	65,984	19,425

Nota. Esta tabla muestra el resumen estadístico de cada una de las mezclas

Los resultados estadísticos de curtosis estandarizada y el sesgo estandarizado mencionan que los valores normales que debe oscilar son entre -2 y 2, los mismos que provienen de una curva normal. A continuación, en la tabla 32 se presentan los valores

Tabla 32

Análisis estadístico curtosis y sesgo estandarizado.

Código	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
ETP1	0,57761	-1,12669
ETP2	0,635964	0,333459
ETP3	1,8768	1,9825
Total	1,11352	-0,586402

Nota. Esta tabla representa a los resultados obtenidos del análisis estadísticos curtosis y sesgo estandarizado.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos.

La razón-F, que en este caso es igual a 27,5145, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Tabla 33

Tabla ANOVA, de la descomposición de varianza.

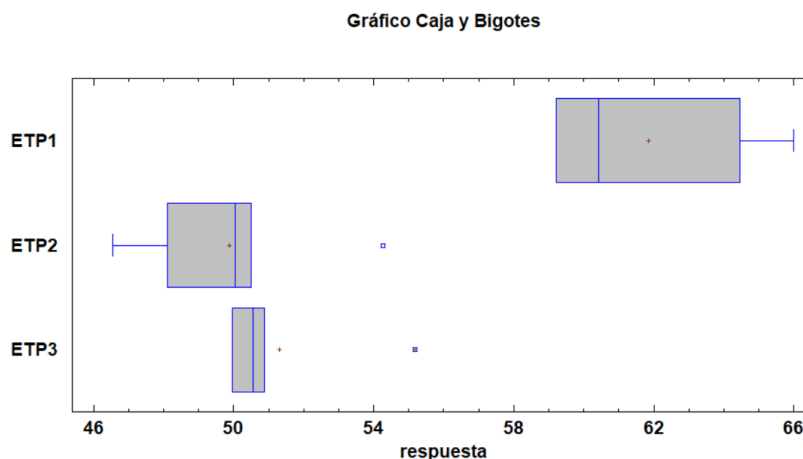
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	427,132	2	213,566	27,51	0,0000
Intra grupos	93,1432	12	7,76194		
Total (Corr.)	520,275	14			

Nota. La tabla muestra el resultado del factor (P)

A continuación, se indica el diagrama de bloque por caja y bigote, además se puede notar que la mezcla ETP2 y ETP3 resultan no tener tanta variación en valores, pero en cambio la mezcla ETP1 mezcla que representa 10% nylon reciclado si presenta una gran variación, por lo tanto, se puede argumentar que es la mezcla que soporta mayor carga, como se observa en la figura 60.

Figura 60

Grafica de caja de bigotes de las combinaciones propuestas.



Nota. En esta gráfica se representa los resultados sobre la diferencia significativa entre las mezclas de la investigación

Como se pudo observar en los resultados presentados con la herramienta de análisis ANOVA existe una mezcla que sobresale que es la que soporta más carga con un valor promedio de 61,853 N la cual es la mezcla 10% nylon reciclado y 90% nylon puro.

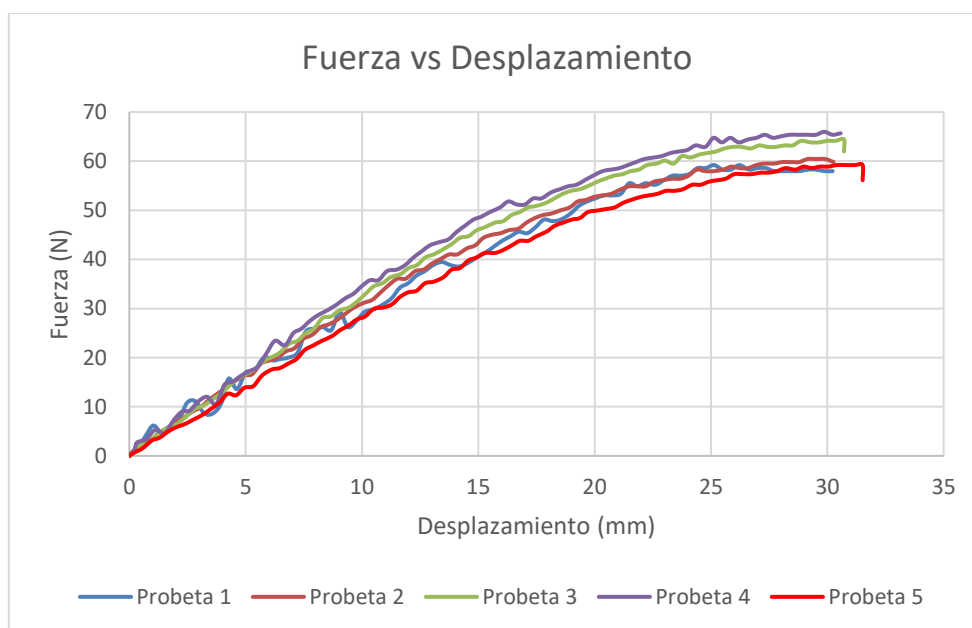
Resultado de las gráficas de los ensayos sometidos a flexión

Análisis de la gráfica ETP1 / ASTM-7264

Para validar los resultados en la aplicación de los ensayos para la mezcla con 10% de nylon reciclado son analizados a continuación:

Figura 61

Diagrama fuerza vs desplazamiento del 10% nylon reciclado (ASTM - 7264).



Nota. Esta gráfica representa al diagrama fuerza vs desplazamiento

Con la configuración de nylon al 10% reciclado, se aplicó un valor fuerza máxima de 65,984 N, en el rango de valores máximos, la tabla 34 muestra los valores de las magnitudes mecánicas obtenidas del proceso de ensayos de flexión para ETP1 (ASTM/7264).

Tabla 34

Resultados del ensayo a flexión.

N°	Identificación de probeta	F Max (N)	Momento flector (N*mm)	Y (mm)	Esfuerzo Flector (Mpa)
1	90F1	59,201	1894,43	2,00	54,65
2	90F2	60,434	1933,89	2,00	55,79
3	90F3	64,443	2062,18	2,00	59,49
4	90F4	65,984	2111,49	2,00	60,91
5	90F5	59,201	1894,43	2,00	54,65

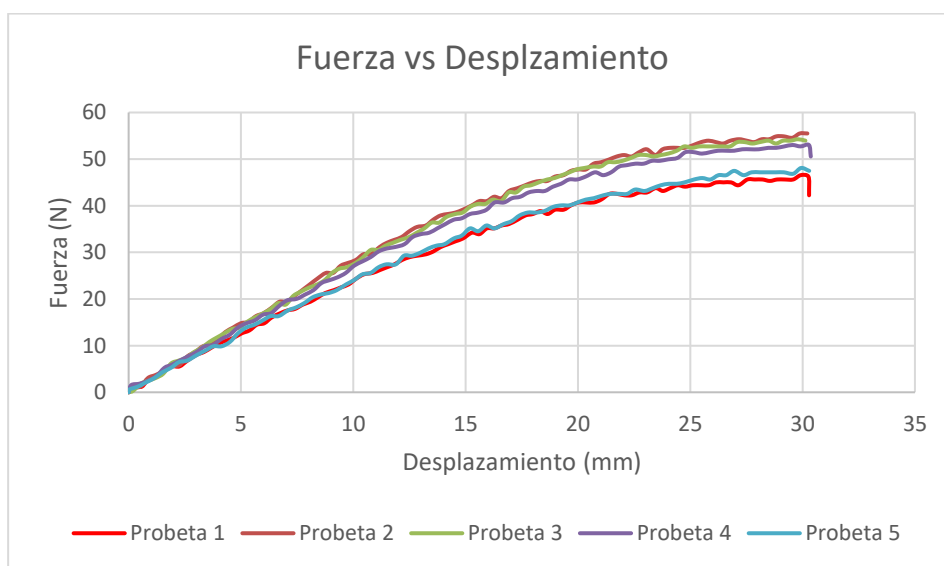
Nota. Esta tabla representa a los resultados del ensayo a flexión 10% nylon reciclado.

Análisis de la gráfica ETP2 / ASTM-7264

Para validar los resultados en la aplicación de los ensayos para la mezcla con 20% de nylon reciclado son analizados a continuación:

Figura 62

Diagrama fuerza vs desplazamiento del del análisis ETP2 (ASTM – 7264).



Nota. Esta gráfica representa al diagrama fuerza vs desplazamiento

Considerando la configuración ETP2, se aplicó un valor fuerza máxima de 55,501 N, obteniendo, en el rango de valores máximos, la tabla 35 muestra los valores de las magnitudes mecánicas obtenidas del proceso de ensayos de flexión para ETP2 (ASTM/7264).

Tabla 35

Resultados del ensayo a flexión ETP2.

N°	Identificación de probeta	F Max (N)	Momento flector (N*mm)	Y (mm)	Esfuerzo Flector (Mpa)
1	T1	46,559	1489,89	2,00	42,98
2	T2	55,501	1776,03	2,00	51,23
3	T3	54,267	1736,54	2,00	50,09
4	T4	53,034	1697,09	2,00	48,95
5	T5	48,101	1539,23	2,00	44,40

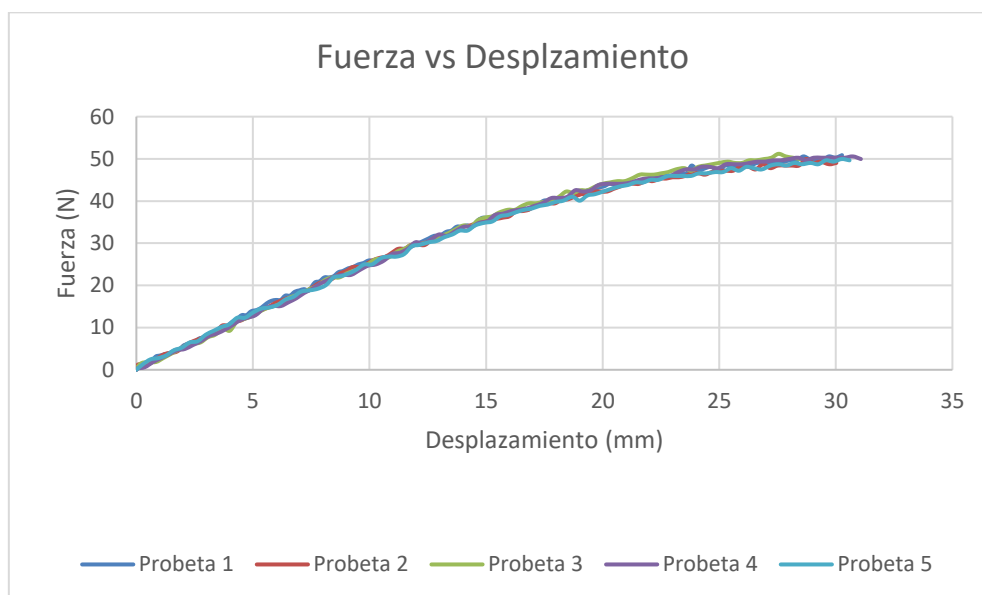
Nota. Esta tabla representa a los resultados del ensayo a flexión

Análisis de la gráfica ETP3 / ASTM-7264

Para validar los resultados en la aplicación de los ensayos para la mezcla con 25% de nylon reciclado son analizados a continuación:

Figura 63

Diagrama fuerza vs desplazamiento del del análisis ETP3 (ASTM - 7264).



Nota. Esta gráfica representa al diagrama fuerza vs desplazamiento

Considerando la configuración ETP3, se aplicó un valor fuerza máxima de 50,876 N, obteniendo, en el rango de valores máximos, la tabla 36 muestra los valores de las magnitudes mecánicas obtenidas del proceso de ensayos de flexión para ETP2 (ASTM/7264).

Tabla 36

Resultados del ensayo a flexión ETP3.

N°	Identificación de probeta	F Max (N)	Momento flector (N*mm)	Y (mm)	Esfuerzo Flector (Mpa)
1	R1	50,876	1628,03	2,00	46,96
2	R2	49,951	1598,43	2,00	46,11
3	R3	51,184	1637,89	2,00	47,25
4	R4	50,567	1618,14	2,00	46,68
5	R5	49,951	1598,43	2,00	46,11

Nota. Esta tabla representa a los resultados del ensayo a flexión del mallado rejilla R

Análisis comparativo de las probetas a tracción

Para realizar el análisis comparativo de las probetas de tracción se realiza una comparación de los promedios de cada mezcla establecida para las probetas de tracción y obtener las características y diferencias, para lo cual se toma en cuenta el valor de la fuerza máxima generada en el ensayo destructivo, en la tabla 37 se presentan los valores.

Tabla 37

Datos comparativos de cada uno de los tratamientos del ensayo de tracción.

ETP1 (N) 10% R y 90% V	ETP2 (N) 20% R y 80% V	ETP3 (N) 25% R y 75% V
1762,09	1524,08	1548,08
1622,08	1700	1520,08
1758,09	1480,06	1634,08
1778,09	1690,08	1440,07
1820,09	1594,08	1562,08

Nota. En la siguiente tabla se representa las combinaciones de cada una de las mezclas del ensayo de tracción

Análisis ANOVA de resultados de los ensayos de tracción

Se debe usar las fuerzas máximas de cada una de las probetas y se procede a realizar el análisis ANOVA, donde se deben ingresar los datos en el programa STATGRAPHICS el cual realizará la comparación de las muestras, a continuación, se muestra se detallará el proceso de análisis.

Tabla 38

Tabla de resumen estadístico.

Código	Recuento	Promedio (N)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
ETP1	5	1748,09	74,5964	4,26732%	1622,08	1820,09	198,01
ETP2	5	1597,66	97,8155	6,12243%	1480,06	1700,0	219,94
ETP3	5	1540,88	70,3257	4,564%	1440,07	1634,08	194,01
Total	15	1628,88	118,008	7,24472%	1440,07	1820,09	380,02

Nota. Esta tabla muestra el resumen estadístico de cada una de las mezclas

Los resultados estadísticos de curtosis estandarizada y el sesgo estandarizado mencionan que los valores normales que debe oscilar son entre -2 y 2, los mismos que provienen de una curva normal. A continuación, se presentan los valores

Tabla 39

Análisis estadístico curtosis y sesgo estandarizado.

Código	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
ETP1	-1,4631	1,50481
ETP2	-0,0664626	-1,13841
ETP3	-0,23394	0,526612
Total	0,165871	-0,940722

Nota. Esta tabla representa a los resultados obtenidos del análisis estadísticos curtosis y sesgo estandarizado.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 8,5651, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para

determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Tabla 40

Tabla ANOVA, de la descomposición de varianza.

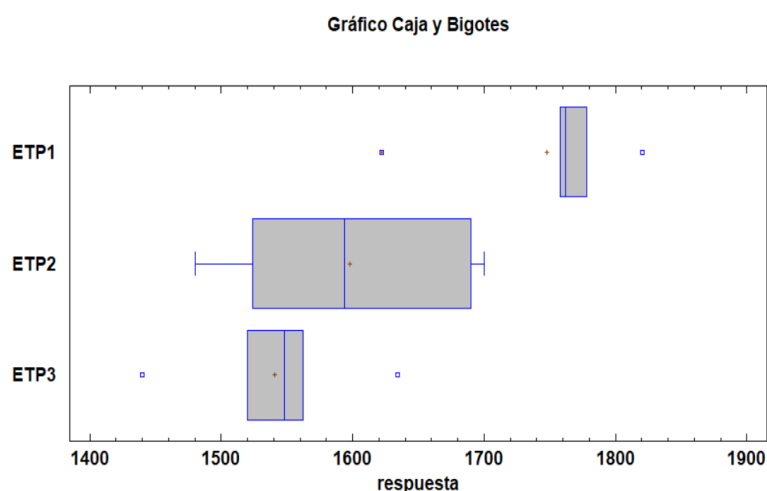
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	114648,	2	57324,0	8,57	0,0049
Intra grupos	80312,9	12	6692,74		
Total (Corr.)	194961,	14			

Nota. La tabla muestra el resultado del factor (P)

A continuación, se indica el diagrama de bloque por caja y bigote, además se puede notar que la mezcla ETP2 y ETP3 resultan no tener tanta variación, pero en cambio la mezcla ETP1 si presenta una gran variación, por lo tanto, se puede argumentar que la que soporta mayor carga, como se observa en la figura 64.

Figura 64

Grafica de caja de bigotes de las combinaciones propuestas.



Nota. En esta gráfica se representa los resultados sobre la diferencia significativa entre las mezclas de la investigación

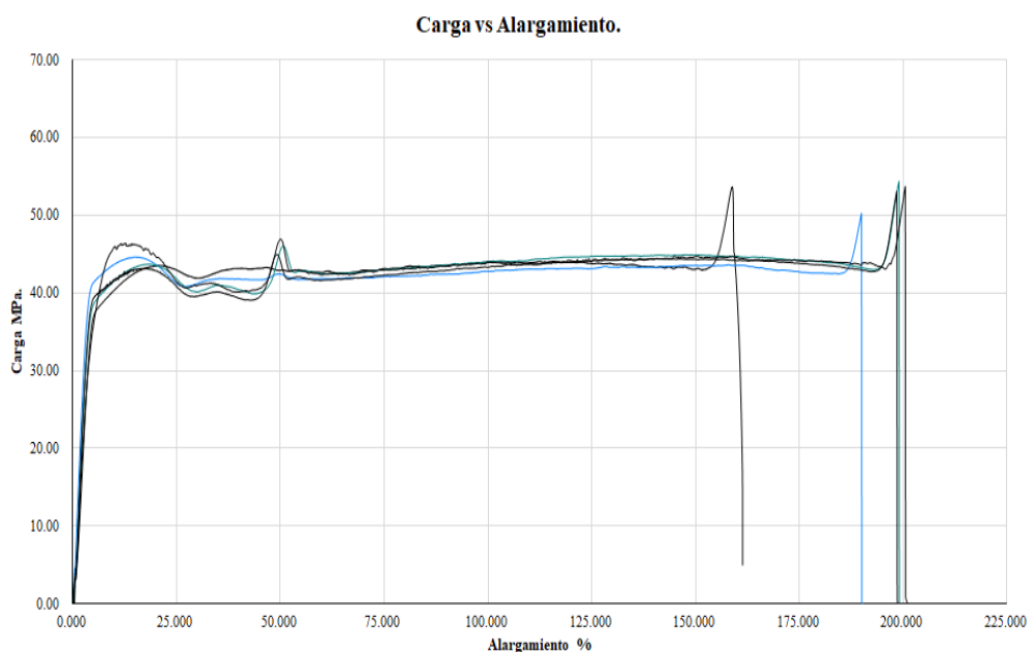
Resultado de las gráficas de los ensayos destructivos sometidos a tracción

Análisis de la gráfica ETC01 / ASTM-3039

La validación de los resultados en la aplicación de los ensayos destructivos para el grupo de probetas con 10% de nylon reciclado se analizan a continuación:

Figura 65

Diagrama esfuerzo vs alargamiento del tratamiento ETC01 / ASTM-3039.



Nota. En esta figura se representa al diagrama esfuerzo vs alargamiento del código ETC01

En la gráfica anterior de ETC01 / ASTM-3039 se observan los datos obtenidos en el diagrama esfuerzo vs deformación (%), en donde se considera que la fuerza máxima promedio es de 1748.088 N y el esfuerzo de tracción es de 53,005 MPa obtenida del comportamiento de las cinco probetas con 10% de nylon reciclado, ninguna de ellas se rompió solo sufrieron alargamiento en un promedio de 151.498 mm.

La tabla 41 muestra los valores de las magnitudes mecánicas obtenidas del proceso de ensayos de tracción para ETC01.

Tabla 41

Resultados del ensayo a tracción para ETC1 (ASTM -3039).

N°	Identificación de probeta	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad calculado (Mpa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación (Calculada)
1	ETC01-1	1762.09	53.64	33.78	127.032	158.790
2	ETC01-2	1622.08	50.23	26.44	151.993	189.991
3	ETC01-3	1758.09	54.36	27.31	159.223	199.029
4	ETC01-4	1778.09	53.09	26.75	158.804	198.505
5	ETC01-5	1820.09	53.70	26.78	160.436	200.545
	Promedio	1748.088	53.005	28.211	151.498	189.372

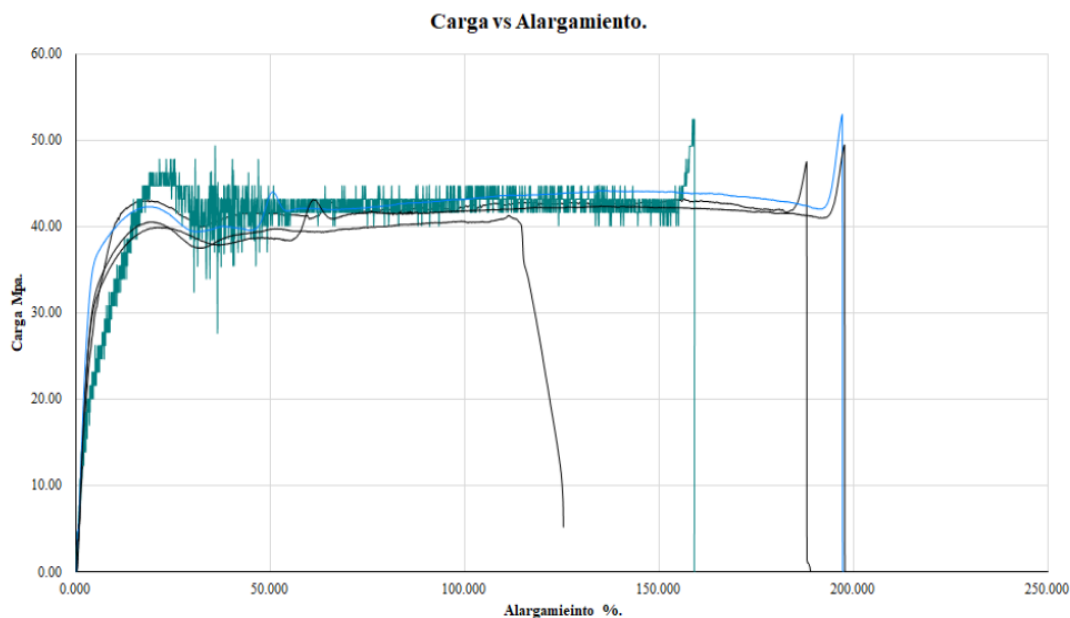
Nota. En esta tabla se representa a los resultados del ensayo a tracción del ETC01 (ASTM D3039-14), obteniendo los resultados promedio de las 5 probetas.

Análisis de la gráfica ETC02 / ASTM-3039

La validación de los resultados en la aplicación de los ensayos destructivos para el grupo de probetas con 20% de nylon reciclado se analizan a continuación:

Figura 66

Diagrama esfuerzo vs alargamiento para ETC02 / ASTM -3039.



Nota. En esta figura se representa al diagrama esfuerzo vs alargamiento del código ETC02

En la gráfica anterior de ETC02 / ASTM-3039 se observan los datos obtenidos en el diagrama esfuerzo vs deformación (%), en donde se considera que la fuerza máxima promedio es de 1553.66 N y esfuerzo a la tracción de 48.728 MPa obtenida del comportamiento de las cinco probetas con 20% de nylon reciclado, ninguna de ellas se rompió solo sufrieron alargamiento en un promedio de 136.918 mm.

La tabla 42 muestra los valores de las magnitudes mecánicas obtenidas del proceso de ensayos de tracción para ECT02.

Tabla 42

Resultados del ensayo a tracción para ETC02 (ASTM -3039).

Nº	Identificación de probeta	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad Calculado (Mpa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación calculado
1	ETC02-1	1524.08	47.52	25.31	150.206	187.758
2	ETC02-2	1700	52.41	32.96	127.196	158.995
3	ETC02-3	1260.06	41.28	36.06	91.569	114.461
4	ETC02-4	1690.08	53	26.90	157.603	197.004
5	ETC02-5	1594.08	49.44	25.03	158.014	197.518
Promedio		1553.66	48.728	29.253	136.918	171.147

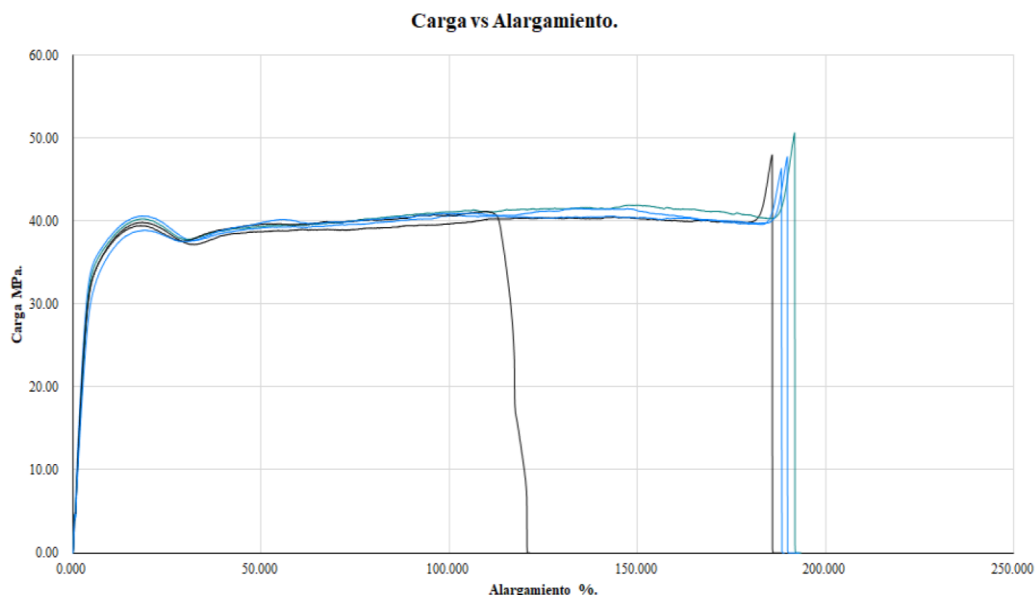
Nota. Esta tabla representa a los resultados del ensayo a tracción del ETC02 (ASTM-3039), obteniendo los resultados promedio de las 5 probetas.

Análisis de la gráfica ETC03 / ASTM-3039

La validación de los resultados en la aplicación de los ensayos destructivos para el grupo de probetas con 25% de nylon reciclado se analizan a continuación:

Figura 67

Diagrama esfuerzo vs alargamiento del tratamiento ETC03 / ASTM -3039.



Nota. En esta figura se representa al diagrama esfuerzo vs alargamiento del código ETC03

En la gráfica anterior de ETC03 / ASTM-3039 se observan los datos obtenidos en el diagrama esfuerzo vs deformación (%), en donde se considera que la fuerza máxima promedio es de 1520.878 N y esfuerzo a la tracción de 46.821 MPa obtenida del comportamiento de las cinco probetas con 25% de nylon reciclado, ninguna de ellas se rompió solo sufrieron alargamiento en un promedio de 151.9 mm.

La tabla 43 muestra los valores de las magnitudes mecánicas obtenidas del proceso de ensayos de tracción para ECT03.

Tabla 43

Resultados del ensayo a tracción para ETC03 (ASTM-3039).

N°	Identificación de probeta	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad Calculado (Mpa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación calculado
1	ETC03-1	1548.08	48.03	25.84	148.671	185.839
2	ETC03-2	1520.08	46.38	24.63	150.634	188.293
3	ETC03-3	1634.08	50.70	26.44	153.409	191.761
4	ETC03-4	1340.07	41.21	36.27	90.889	113.611
5	ETC03-5	1562.08	47.79	25.17	151.900	189.875
	Promedio	1520.878	46.821	27.671	139.101	173.876

Nota. Esta tabla representa a los resultados del ensayo a tracción del ETC03 (ASTM-3039), obteniendo los resultados promedio de las 5 probetas.

Comparación de las características de la mezcla con nylon reciclado con el material PA GF30

La mezcla que sobresale en la investigación por sus altos valores obtenidos durante la caracterización es la que contiene 10% de nylon reciclado y 90% nylon puro. En la tabla 48 se presenta la comparación de las características de la mezcla de 10% de nylon reciclado con 90% de nylon puro con el material original de la toma del termostato del vehículo Hyundai Accent el cual es PA GF30.

Tabla 44

Comparación de materiales.

Característica	PA GF30	10% nylon reciclado y 90% puro
Resistencia a la tracción	91 MPa	53,64 MPa
Módulo de elasticidad (ensayo de tracción)	5500 MPa	33,78 MPa (calculado)
Resistencia a flexión	135 MPa	60,91 MPa
Temperatura de transición vítreo	48 °C	53 °C
Temperatura de fusión	254 °C	220 °C

Nota. Esta tabla representa la comparación del material original de la autoparte PA GF30 con el material en prueba 10% de nylon reciclado

En función a los datos entregados por el proceso de caracterización se puede verificar una comparación muy representativa en características funcionales del material original de la toma del termostato del vehículo Hyundai Accent con el material constituido con 10% de nylon reciclado y 90% puro, donde se evidencia valores que guardan una relación de 2 a 1 en la mayoría de comparaciones lo que nos indica que el material ensayado es ideal para aplicaciones automotrices pero con una selección cuidadosa y profesional.

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos durante el proceso experimental de la caracterización del nylon reciclado en diferentes proporciones con nylon puro, permitió la manipulación de un polímero reciclado totalmente contaminado intentando conseguir la inyección de plástico introduciendo procesos de mezcla, procesos de calentamiento y procesos químicos. los valores obtenidos de esta investigación nos van a permitir entender el comportamiento del nylon reciclado cuándo se lo quiere aplicar a la industria de la inyección de plástico. También permitió el manejo, el uso y el análisis de los softwares CAE y CAM para la elaboración de los subproductos de toda la investigación.

Inicialmente se intentó mezclar el nylon con resina poliéster y reforzarlo con fibra de vidrio esta idea surgió a partir de los antecedentes de la investigación que nos mencionaba que sí era posible que se mezclen, durante el proceso de pruebas la mezcla de estos 3 elementos fue prácticamente imposible ya que tanto el nylon reciclado, la resina poliéster y la fibra de vidrio manejan temperaturas de fusión o de ebullición muy diferentes lo que hacía imposible que se fundan de forma homogénea y que se pueda unificar. en las pruebas determinamos que el nylon reciclado tenía una temperatura de fusión muy superior a los 220° Celsius la resina poliéster tenía una temperatura de ebullición de 145° Celsius y la fibra de vidrio tenía un punto de fusión demasiado alto que llegaba a alcanzar los 1200° Celsius, debido a estos valores tan lejanos se hizo imposible la mezcla lo cual no era un buen camino para crear materia prima para ejecutar la inyección de plástico.

Durante la investigación se determinó que el proceso de reciclaje del nylon a partir de la llanta de los vehículos debe ser mucho más refinado para obtener un producto más limpio que de cierta manera nos permita llegar a la inyección de plástico sin ningún tipo de fenómeno

externo, la presencia del caucho en el nylon reciclado durante el proceso de inyección de plástico nos permitió entender que mientras el nylon puro y reciclado eran calentado e inyectados a 220° Celsius, los residuos de caucho también se calentaban lo que implica la presencia de gases como el dióxido de carbono, monóxido de carbono y dióxido de azufre los cuales son extraños a la naturaleza de la inyección de plástico en la que debe suceder para el nylon PA 6, la presencia de estos gases crea una sobrepresión dentro de la máquina inyectora volviendo imposible la inyección del mismo, por tal motivo se determina que el uso de nylon reciclado para la industria de la inyección de plásticos se debe realizar en pocas proporciones o altas siempre y cuando este pase por un proceso de filtrado muy eficiente.

La inyección de plástico es un proceso el cual se debe tomar en cuenta parámetros muy importantes a la hora de su ejecución en el caso del nylon PA6 la temperatura de inyección ideal es de 220 °C en las 3 zonas de inyección, la velocidad de inyección se realizó a 60% de la capacidad de la máquina que corresponde a 96 RPM, la presión de inyección se la manejo a un 55% de la capacidad de la maquina es decir a 858 Kg/cm² el cual es ideal y concuerda con las fichas técnicas de los fabricantes, los tiempos también se consideran muy importantes durante el proceso de inyección uno de los más importantes es el tiempo de llenado que corresponde a 2 segundos. Todos estos valores nos permitieron realizar la inyección de plástica de forma correcta, pero durante las pruebas también se determinó que si la presión de inyección era menor a 811 bar el llenado del parte inyectado no era el correcto por otro lado si la presión excedía los 1040 bar el material tendía a escaparse los filos del molde.

La caracterización del material en diferentes proporciones 10%, 20% y 25% de nylon reciclado y 90%, 80% y 75% respectivamente, nos permitió determinar si el elemento reciclado es óptimo para las aplicaciones automotrices, para empezar la comparación realizada aplicando la herramienta de análisis ANOVA nos entregó los resultados que nos dice que la mezcla que

más soporta fuerza o carga es la del 10% de nylon reciclado. mientras que las otras mezclas tuvieron una respuesta más baja tanto a los ensayos de tracción como los ensayos de flexión en la mayoría de las pruebas realizadas la que sobresale es el 10% de nylon reciclado lo que nos indica que de cierta manera la presencia de nylon reciclado excesiva con nylon puro disminuye las características mecánicas del material.

Los resultados durante la prueba de tracción en el centro carroceros ubicado en Ambato nos mencionan que la mejor mezcla es 10% nylon reciclado y 90% puro de acuerdo con los datos tienen muy buenas características mecánicas, pero se debe analizar o mejorar la creación del material para la aplicación en sistemas automotrices.

La comparación de resultados obtenidos de la mejor opción de mezcla la que contiene 10% de nylon reciclado y 90% puro presenta un valor de esfuerzo a la tracción de 53,64 MPa que guarda una relación de 2 a 1 con el material original PA GF30 con un valor de 93 MPa se puede argumentar que las pruebas realizadas en las probetas ensayadas no llegaron al punto de rotura lo que presenta un valor representativo mas no un valor máximo.

En la investigación de Licea-Claverie relacionada a los efectos de la reprocesamiento sobre las propiedades de un compuesto híbrido de nylon 6,6 reforzado con fibras cortas de vidrio y de carbono, menciona que el proceso de reciclaje aplicado en diferentes ciclos presentaba cuadros de degradación el cual era corregido con la presencia de fibras de vidrio y carbono para volver posible la inyección de plástico.

De acuerdo con la investigación de Caihong Gong que el nylon reciclado PA 6 mantiene sus propiedades mecánicas y químicas aun con tres ciclos de reciclaje, pero menciona que de acuerdo al porcentaje de nylon reciclado pierde resistencia mecánica lo que nos indica que el nylon reciclado puede ser usado hasta cierto punto sin ningún problema, pero después de varios usos este presentara una degradación mecánica y química.

Conclusiones

- Durante los procesos de mezcla con materiales extras como la resina poliéster y la fibra de vidrio se determinó que es muy complicado la unificación de estos a causa de sus diferentes características mecánicas y químicas ya que para la inyección de plástico se necesita manejar temperaturas y presiones altas y dichas diferencias hace que la mezcla no se unifique y sea un intento fallido de moldeo por inyección
- Durante el proceso de obtención del nylon reciclado se concluyó que existe mucha cantidad de partículas considerables de caucho y metal, el cual debe pasar por un proceso de refinamiento para obtener un material netamente puro, durante los procesos de inyección de plástico se presentó el calentamiento de los residuos de caucho la presencia de gases como dióxido de carbono y monóxido de carbono lo que genera una baja eficiencia en el proceso de moldeo por inyección ya que existe una sobre presión dentro de la maquina por lo que se determina que el uso del nylon reciclado en este proceso debe ser mínimo o nulo.
- La creación del molde para los procesos de inyección de plástico debe realizarse con la ayuda de un software CAD y CAM para conseguir precisión y calidad, para la creación del molde en esta investigación se determinó que existe un factor de contracción el cual debe tomarse en cuenta para la fabricación del molde en el caso del nylon PA6 tiene un valor de 2% y 2,4%. Este valor incrementa en función a las dimensiones de la pieza a inyectar por tal motivo 2,4% se utilizó para la probeta de tracción que es la que tiene mayor longitud.
- El desconocimiento de trabajar con el nylon reciclado debido a que no hay aplicaciones relacionadas a la industria automotriz con buena referencia, hizo que tomemos

parámetros iniciales del nylon puro para realizar la investigación, entre esos datos esta la temperatura de fusión que es de 220 °C, el material reciclado reacciono de forma positiva a dicha temperatura ya que pese a ser un material ya no usado sigue manteniendo las propiedades mecánicas y químicas que poseen las poliamidas.

- En el proceso de inyección de plástico se utilizó el método de colada fría dicho proceso se caracteriza por inyectar material extra a la pieza requerida siendo un desperdicio para la industria, también el proceso de inyección de las probetas para los ensayos no se requirió un sistema de enfriamiento debido a las pocas piezas inyectadas y poca cantidad de material a trabajar.
- Los ensayos de tracción empleados en la investigación entregaron datos interesantes de acuerdo al funcionamiento y comportamiento del nylon reciclado, las probetas no llegaron al punto de rotura pero su desplazamiento fue representativo, el mejor resultado obtenido con la ayuda de la herramienta de análisis ANOVA fue la probeta con 10% de reciclaje y 90% de nylon puro ya que este pudo resistir fuerzas muy elevadas con un promedio de 1748 N lo que nos indica que la poca proporción de nylon reciclado si afecta las propiedades mecánicas y químicas del material puro.
- Los ensayos de flexión empleados en la investigación entregaron datos interesantes de acuerdo al funcionamiento y comportamiento del nylon reciclado, las probetas no llegaron al punto de rotura y su desplazamiento fue casi insignificante pues no sufrieron ninguna afectación, el mejor resultado obtenido con la ayuda de la herramienta de análisis ANOVA fue la probeta con 10% de reciclaje y 90% de nylon puro ya que este pudo resistir fuerzas muy elevadas con un promedio de 61,853 N lo que nos indica que la poca proporción de nylon reciclado si afecta las propiedades mecánicas y químicas del material puro.

Recomendaciones

- El nylon reciclado presenta un grado de impurezas relativo siendo el caucho el más abundante producto de la trituración de las llantas, la presencia del mismo presenta algo negativo para el proceso de inyección de plástico pero se recomienda aplicar o proponer procesos de filtrado especializados para obtener el nylon lo más puro posible ya que esta investigación fundamenta que si es posible el moldeo por inyección pero a un manejo irregular de dichas impurezas los resultados no son tan acertados.
- En vista a los elevados costos de manufactura del molde para inyección, maquina inyectora y materia prima se recomienda implementar software especializados para la inyección de plástico que permite modificar variable como la temperatura de fusión, temperatura del molde, tiempo de inyección, presión de inyección entre otras. Esto permitirá trabajar de mejor manera con un material reciclado el software consultado es Cadmould 3D-F.
- Los procesos de CNC son los más efectivos y precisos para la creación de moldes para inyección de plástico ya que se obtiene precisión y calidad con los mismo se recomienda idealizar moldes creados por impresión 3D lo cual de cierta manera abaratará costos y empezará otra rama para el moldeo por inyección.
- La caracterización del material nos permite tener datos reales del comportamiento mecánico del material obtenido con nylon reciclado por lo cual se recomienda realizar investigaciones enfocadas a la simulación mediante softwares especializados como los pertenecientes de la familia de HYPER utilizando como base dichos datos y llegar a una resolución más tangible para autopartes.

- Finalmente se recomienda usar el nylon reciclado con otros tipos de polímeros que pertenecen a la familia de las poliamidas y verificar su comportamiento en el proceso de la inyección de plástico ya que la creación de la materia prima es posible, pero en sin equipos especializados es la inversión de mucho tiempo con pocas proporciones para someter a pruebas.

Referencias bibliográficas

AEADE. (2019). *Anuario 2019*. QUITO: AEADE.

Alejandre, D. A. (3 de Agosto de 2017). *mailxmail.com*. Obtenido de <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/0/manual-inyeccion-plasticos-11460-completo.pdf>

Altair. (28 de Enero de 2023). *Altair*. Obtenido de <https://altair.com/>

Anonimo. (29 de Agosto de 2015). *Textos científicos.com*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/nylon/propiedades>

Arenas, P. (2014). *PARAMETRIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN EN PLÁSTICOS DE INGENIERÍA*. Mexico D.F.: Universidad Nacional Autonoma de Mexico .

ASTM D 3039. (12 de Noviembre de 2022). *ASTM*. Obtenido de <http://file.yizimg.com/175706/2012061422194947.pdf>

Besednjak. (2005). *Materiales compuestos* . Catalunya: Quality Impress.

Castro, K. A. (2019). *FABRICACIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS POR MEDIO DE CAD/CAM/CAE: ANÁLISIS DE LAS VARIABLES ASOCIADAS A LA REPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS*. La Libertad: ESCUELA DE EDUCACIÓN DUAL ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL.

Catota, W. (28 de Mayo de 2021). Repuestos del Kia Sorento. (J. Jara, Entrevistador)

CMP, T. P. (13 de Enero de 2023). *CMP Plastics Tecnology*. Obtenido de <https://cmp-plastica.it/>

Diaz, E. (2019). *PROPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL PARA*. Mexico D.F.: Instituto Politecnico Nacional.

- Fonseca, A. (2018). *Diseño y construcción de un molde de inyección para el soporte unión entre el casco y la carcasa de la orejera para la empresa Halley Corporación.* AMBATO – ECUADOR: FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.
- Gastrow, H. (2018). *Moldes de inyección para plásticos 100 casos prácticos.* Barcelona - España.
- Gong, C., & Huegel, K. Z. (2021). Simple process for separation and recycling of nylon 6 and polyurethane components from waste nylon 6/polyurethane debris. *Textile research Journal*, 1-2.
- Groover, M. (2017). *Fundamentos de manufactura moderna.* Mexico D.F.: Tercera ED.
- Izquierdo Escribano, A. (2016). *METODOLOGÍA CUANTITATIVA: ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN SOCIAL.* SÍNTESIS SOCIOLOGÍA.
- Kuram, E., & Tasci, E. (2018). Investigating the effects of recycling number and injection parameters on the mechanical properties of glass-fibre reinforced nylon 6 using Taguchi method. *ELSEVIER*, 2.
- Kurt, M. (2019). *Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products.*
- Licea-claverie, & Valdez, J. (2019). Reprocessing Effects on the Properties of a Hybrid Nylon 6,6-Composite Reinforced with Short Glass and Carbon Fiber. *Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES*, 2. Recuperado el 09 de 05 de 2021, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17403>
- Licea-Claverie, A. (2019). *Reprocessing Effects on the Properties of a Hybrid Nylon 6,6-Composite Reinforced with Short Glass and Carbon Fibers.* Tijuana : Centro de Graduados e Investigación.

Lin, C.-W., & Lin, J.-H. (2019). Recycling technique and characteristic evaluation of organic/inorganic composite boards. *Journal of industrial textiles*, 192 - 193.

Mckeen, L. (2017). Polyamides (Nylons). *Elsevier Inc*.

Mexopolimeros . (13 de Enero de 2023). *mexopolimeros.com*. Obtenido de <https://www.mexopolimeros.com/pedia/shrinkages.html>

Morales, N. (2018). *Tipos de Investigación científic*. Obtenido de KarenPulido: <https://karenpulido.jimdofree.com/app/download/9548087969/Investigaci%C3%B3n+Exploratoria.pdf?t=1545253266>

Nur-A-Tomal, M., & Pahlevani, F. (2021). Cyclical processing effect on nylon 12 injection molding: working to achieve greater efficiency recycling of plastic waste. *Centro de Investigación y Tecnología de Materiales Sostenibles*.

Nursel, K., & Melih, P. (2020). Recycling technique and characteristic evaluation of organic/inorganic composite boards. *Composites*, 2. Recuperado el 09 de 05 de 2021, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16529>

Payri, F. (2020). *Motores de combustión interna alternativos*. Bogota, Buenos Aires: Reverte .

Portillo, M. (2017). *Simulation and analysis of a crash test of a sporty type car, using software based on the finite element method*. Texas: Ciencia e Ingenieria .

Protolabs. (10 de Enero de 2023). *protolabs.com*. Obtenido de <https://acortar.link/43vpBw>

Reaxsol. (22 de Diciembre de 2023). *ReaxSol.com*. Obtenido de <https://www.reaxsol.com/fichas-tecnicas/hoja-de-datos-de-seguridad-resina-poliester-preacelerada/>

Rojas Cairampoma, M. (2018). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la. *REDVET*, 7. Recuperado el 09 de 05 de 2021, de <https://cmappublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>

- Sinc, M. (03 de Enero de 2017). *Mecanizados por precisión* . Obtenido de <https://www.mecanizadossinc.com/nylon-plastico-se-mecaniza/>
- Suna, X., & Zeng, D. (2019). A new characterizing method for warpage measurement of injection-molded thermoplastics. *Polymer Testing*, 2.
- Telegrafo, E. (21 de Mayo de 2017). Los neumáticos reciclados se transforman en adoquines, muebles, adornos y asfalto. *Eltelegrafo*.
- Valencia, R. (2018). *Caracterización mecánica y térmica del nylon resultante del reciclaje de neumáticos para la fabricación de un panel interno de puerta de un vehículo liviano*. Quito.
- Weiers, R. (2018). *ULAonline*. Obtenido de http://practicaprofesionales.ula.edu.mx/documentos/ULAONLINE/Maestria/MAN/HRM558/Publicaci%C3%B3n/Semana_3/Estudiante/HRM558_S3_E_Inv_explo.pdf
- Williams, G., & Lord, H. A. (2018). *Mold-filling studies for injection molding of thermoplastic materials .I. flow of plastic materials in hot-walled and cold-walled circular channels*. Revista de investigación Editada por Área de Innovación y Desarrollo, S.L.
- Xometry. (10 de Noviembre de 2022). *XOMETRY.EU*. Obtenido de <https://xometry.eu/wp-content/uploads/2021/03/Nylon-6.pdf>
- Zuñiga, I. (2015). *Síntesis de Copolímeros en Bloque de Nylon 6 / Poli (éter - esteramida) Mediante Extrusión Reactiva Reforzados con Resma Fenólica*. Saltillo, Coahuila: CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA .

Anexos

Anexo 1

Ficha técnica del nylon PA 6 natural.

P
F
G
R
O
U
P
S
A

FICHA TÉCNICA
EPG PA6 3.3 IT NATURAL

DESCRIPCIÓN:

Es una poliamida grado 6 y color natural. Es de fácil procesamiento y tiene buenas características de fluidez y deslizamiento.

APLICACIÓN:

Procesos de moldeo por inyección.

Parámetros de proceso:

- Presión de inyección: 300 a 800 bar. Contrapresión: 5 a 15 bar
- Velocidad del tornillo: 50 a 100 rpm
- Secado: máximo 80°C de 4 a 12 horas
- Perfil de temperaturas (°C):

Molde	Boquilla	Zona 3	Zona 2	Zona 1
80 - 80	240 - 310	240 - 300	240 - 300	240 - 300

- Se recomienda acondicionar la pieza con agua tibia o caliente.

ESPECIFICACIONES:


Propiedades	Método	Unidades	Valor
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	1,13
Punto de fusión	DIN EN 11357-1	°C	220
Módulo de Tensión	ISO 527-2	MPa	3200
Resistencia a la tensión	ISO 527-2	MPa	80
Elongación en rotura	ISO 527-2	%	20
Resistencia al impacto Charpy (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	No break
Resistencia al impacto Charpy (23°C - notched)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	5
Temperatura de deformación al calor	ISO 75	°C	160
Absorción de humedad	ISO 1110	%	2.5
Flamabilidad (UL 94)	UL 94	1.6 mm	V2
Flamabilidad (< 100 mm/min)	FMVSS 302	--	+

EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO

Presentación: Grano
 Embalaje: Funda de 25 kg
 Almacenamiento: Se recomienda almacenar en áreas cubiertas y secas, protegido de la exposición a la luz solar y a temperaturas menores a 40°C.

Aprobación Ficha: Rev. 3 – Mayo 2021

Los datos y recomendaciones técnicas contenidas en la presente ficha técnica corresponden a nuestro mejor conocimiento técnico actualizado y los test realizados. Dado que las condiciones del proceso quedan fuera de nuestro control, PF Group no se responsabiliza por el uso que se le dé al producto. Todos los datos consignados deben ser considerados como sugerencias y no constituyen garantía alguna o representación de los resultados. Es responsabilidad del cliente realizar los test apropiados para verificar que el producto es apto para la finalidad que persigue.



PF GROUP
PLASTIC FILAMENTS GROUP S.A.
 166A De Las Avellanas E1-101 y Panam. Norte
 Apartado Postal 17-11-6687 Quito - Ecuador
 Telef.: (593) (2) 248 4648
 Fax: (593) (2) 248 1207
 email: info@pfgroup-ec.com

Nota. Esta figura representa los datos técnicos del PA6 entregado por el proveedor PF GROUP

Anexo 2

Ficha técnica del nylon PA 66 natural.

P
F
G
R
O
U
P
S
A

FICHA TÉCNICA
EPG PA6.6 30% FV NATURAL



DESCRIPCIÓN:

Es una poliamida grado 66, con 30% de fibra de vidrio y color natural. Es de fácil procesamiento y tiene buenas características de fluidez y deslizamiento.

APLICACIÓN:

Procesos de moldeo por inyección.

Parámetros de proceso:

- Presión de inyección: 600 a 1000 bar. Contrapresión: 10 a 30 bar
- Velocidad del tornillo: 80 rpm
- Secado: máximo 80°C de 4 a 12 horas
- Perfil de temperaturas (°C):

Molde	Boquilla	Zona 3	Zona 2	Zona 1
75 - 100	260 - 310	260 - 300	260 - 300	260 - 300

- Se recomienda acondicionar la pieza con agua tibia o caliente.

ESPECIFICACIONES:

Propiedades	Método	Unidades	Valor
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	1.36
Punto de fusión	DIN EN 11357-1	°C	262
Módulo de Tensión	ISO 527-2	MPa	9900
Resistencia a la tensión	ISO 527-2	MPa	195
Elongación en rotura	ISO 527-2	%	> 3
Resistencia al impacto Charpy (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	83
Resistencia al impacto Charpy (23°C - notched)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	11
Temperatura de deformación al calor	ISO 75	°C	250
Absorción de humedad	ISO 1110	%	2
Flamabilidad (UL 94)	UL 94	1.6 mm	HB
Flamabilidad (< 100 mm/min)	FMVSS 302	-	+

EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO

Presentación: Grano
 Embalaje: Funda de 25 kg
 Almacenamiento: Se recomienda almacenar en áreas cubiertas y secas, protegido de la exposición a la luz solar y a temperaturas menores a 40°C.

Aprobación Ficha: Rev. 4 – Mayo 2021

Los datos y recomendaciones técnicas contenidas en la presente ficha técnica corresponden a nuestro mejor conocimiento técnico actualizado y los test realizados. Dado que las condiciones del proceso quedan fuera de nuestro control, PF Group no se responsabiliza por el uso que se le da al producto. Todos los datos consignados deben ser considerados como sugerencias y no constituyen garantía alguna o representación de los resultados. Es responsabilidad del cliente realizar los test apropiados para verificar que el producto es apto para la finalidad que persigue.

Nota. Esta figura representa los datos técnicos del PA66 entregado por el proveedor PF GROUP

Anexo 3

Resultados obtenidos de los ensayos de flexión.

CÁLCULO DEL ESFUERZO FLECTOR MÁXIMO												
Identificación	base (mm)	altura3 (h ³)	altura (mm)	Inercia mm ⁴	Fuerza Máxima (N)	longitud de apoyos (mm)	Const ante	Momento flector (N*mm)	altura (mm)	const ante	Y (mm)	Esfuerzo Flector (Mpa)
75F1	13,00	64,000000	4,00	69,333333	50,876	128	4	1628,03	4	2	2,00	46,96
75F2	13,00	64,000000	4,00	69,333333	49,951	128	4	1598,43	4	2	2,00	46,11
75F3	13,00	64,000000	4,00	69,333333	51,184	128	4	1637,89	4	2	2,00	47,25
75F4	13,00	64,000000	4,00	69,333333	50,567	128	4	1618,14	4	2	2,00	46,68
75F5	13,00	64,000000	4,00	69,333333	49,951	128	4	1598,43	4	2	2,00	46,11
80F1	13,00	64,000000	4,00	69,333333	46,559	128	4	1489,89	4	2	2,00	42,98
80F2	13,00	64,000000	4,00	69,333333	55,501	128	4	1776,03	4	2	2,00	51,23
80F3	13,00	64,000000	4,00	69,333333	54,267	128	4	1736,54	4	2	2,00	50,09
80F4	13,00	64,000000	4,00	69,333333	53,034	128	4	1697,09	4	2	2,00	48,95
80F5	13,00	64,000000	4,00	69,333333	48,101	128	4	1539,23	4	2	2,00	44,40
90F1	13,00	64,000000	4,00	69,333333	59,201	128	4	1894,43	4	2	2,00	54,65
90F2	13,00	64,000000	4,00	69,333333	60,434	128	4	1933,89	4	2	2,00	55,79
90F3	13,00	64,000000	4,00	69,333333	64,443	128	4	2062,18	4	2	2,00	59,49
90F4	13,00	64,000000	4,00	69,333333	65,984	128	4	2111,49	4	2	2,00	60,91
90F5	13,00	64,000000	4,00	69,333333	59,201	128	4	1894,43	4	2	2,00	54,65
					61,853							
base: sería el ancho de la probeta												
Altura: sería el espesor de la probeta												
Inercia de un rectángulo= a un doceavo de la base por la altura al cubo												
Momento flector= fuerza por la longitud entre apoyos dividido para 4												
Y= a la mitad del espesor de la probeta												
Esfuerzo flector máximo: Momento flector x Y dividido para la inercia del área												

Nota. Esta figura representa los resultados obtenidos en el ensayo de flexión por parte de universidad de las fuerzas armadas ESPE.

Anexo 4

Certificado de las pruebas de flexión en la universidad de las Fuerzas Armadas Espe.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sangolquí a 25 de enero de 2023

Mediante el presente se **CERTIFICA** que el Señor Jhon Daniel Jara Martínez realizó pruebas de fuerza a la flexión según norma ASTM D7264 en material compuesto para el desarrollo de su tesis de grado cuyo tema es: "EMPLEO DEL NYLON RESULTANTE DEL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO", en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Atentamente



Ing. Francisco Navas
Analista de Laboratorio de Mecánica de Materiales

Nota. Esta figura representa el certificado de las pruebas realizadas del ensayo de flexión

Anexo 5

Informe del ensayo de tracción por el centro carrocerero.

Código: CF-AE-RM-RG-001 Fecha de Elaboración: 2016-07-06 Fecha de última aprobación: 2022-02-04 Revisión: 4	RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	Página 1 de 2
--	---	---------------

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 172226541820230113-ETP.	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa/Cliente: Jhon Daniel Jara Martínez.	
Dirección: Quito.	
Núm. de cédula/RUC: 1722265418.	Teléfono: +593998694993.
E-mail: jhon13ajji@hotmail.com.	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Material polimérico: Nylon reciclado utilizado en Autopartes.
Método de ensayo: ASTM D638-2022. Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación de probetas	Configuración	Probetas a Ensayar
1	172226541820230113-ETP 01	90% Nylon virgen 10% Nylon reciclado.	5
2	172226541820230113-ETP 02	80% Nylon virgen 20% Nylon reciclado.	5
3	172226541820230113-ETP 03	75% Nylon virgen 25% Nylon reciclado.	5
Total			15

Nota: La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.

EMPLEO DEL NYLON RECICLADO PARA INYECCION DE PLASTICOEL
 RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL
 TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO.



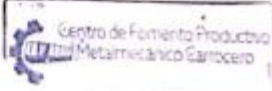
Código: CF-AE-IRM-RQ-001
 Fecha de Elaboración: 2016-07-06
 Fecha de última aprobación: 2022-02-04
 Revisión: 4

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
 MUESTRAS

ENSAYO SOLICITADO			
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	172226541820230113-ETP 01-1	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
2	172226541820230113-ETP 01-2	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
3	172226541820230113-ETP 01-3	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
4	172226541820230113-ETP 01-4	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
5	172226541820230113-ETP 01-5	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
6	172226541820230113-ETP 02-1	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
7	172226541820230113-ETP 02-2	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
8	172226541820230113-ETP 02-3	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
9	172226541820230113-ETP 02-4	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
10	172226541820230113-ETP 02-5	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
11	172226541820230113-ETP 03-1	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
12	172226541820230113-ETP 03-2	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
13	172226541820230113-ETP 03-3	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
14	172226541820230113-ETP 03-4	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13
15	172226541820230113-ETP 03-5	Cumple criterios dimensionales	2023/01/13

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

	
Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga G. MEng Gestor Integral de Operaciones CFPMCPT
Cliente	

EMPLEO DEL NYLON RECICLADO PARA INYECCION DE PLASTICOEL
 RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL
 TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO. 137

Código: CF-AE-841-RD-051
 Fecha de Emisión: 22/10/2023
 Fecha de Vigencia: 01/01/2023 - 31/12/2023
 Revisión: 0

ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS

Página 1 de 3

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 172226541820230113-ETP.

DATOS GENERALES

N° de proforma: RM_2023_002.
 Empresa/Cliente: Jhon Daniel Jara Martínez.
 RUC/C.I.: 1722265418. Teléfono: +593098594993.
 Dirección: Quito.
 Correo: jhon3aj@hotmail.com.
DATOS DEL ENSAYO:
 Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
 Dirección: Santo Domingo y Río de Janeiro, Cotacachi/Ambato.
Método de ensayo:
 ASTM D538-2022 Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.
 Tipo de ensayo: Cuantitativo. Tipo de probeta: Plana
 Zona Calibrada: 80 mm.
 Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Metrotec 50 KN.
 Modelo: MTE-50 Serie: 6002M002.
 Velocidad de ensayo: 3.0 mm/min. Precarga: 0 N.
 Fecha de inicio de Ensayo: 2023/01/18. Fecha de Finalización de Ensayo: 2023/01/18.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de material polimérico: Nylon reciclado utilizado en Autopartes. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de la provincia de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación de probetas	Configuración	Probetas a Ensayar
1	172226541820230113-ETP 01	90% Nylon virgen 10% Nylon reciclado.	5
2	172226541820230113-ETP 02	80% Nylon virgen 20% Nylon reciclado.	5
3	172226541820230113-ETP 03	75% Nylon virgen 25% Nylon reciclado.	5
Total			15

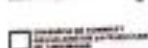
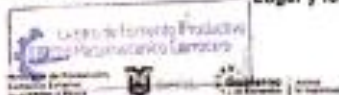
Observación: La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

Note: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPPT	Revisado por: Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPPT	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga MEng. Gerente Integral de Operaciones CFPMCPPT

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 20 de enero de 2023.

N° de factura:001-001-000000005.



Centro de Fomento Productivo
 Metalmeccánico Carrocero
 Provincia de Tungurahua

EMPLEO DEL NYLON RECICLADO PARA INYECCION DE PLASTICO EL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

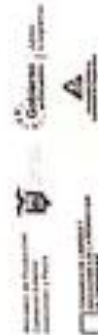
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS

Grupo: CI-40-404-00-201
 Fecha de Emisión: 2022-01-14
 Fecha de última actualización: 2022-11-08
 Versión: 0

RESULTADOS:

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima tracción (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor					
1	172226541820220113-ETP 01-1	20.5	66.3	26.45	1.24	1782.09	53.64	33.70	127.032	158.790
2	172226541820220113-ETP 01-2			26.47	1.22	1632.08	50.23	26.44	151.963	180.991
3	172226541820220113-ETP 01-3			26.51	1.22	1758.09	54.36	27.31	159.223	199.029
4	172226541820220113-ETP 01-4			26.26	1.26	1778.00	53.09	26.79	156.804	168.505
5	172226541820220113-ETP 01-5			26.48	1.28	1820.00	53.70	26.78	160.438	200.545
				Promedio ±		1748.068	53.005	28.211	151.498	189.372
				Desviación estándar S_{n-1}		74.596	1.615	3.131	14.069	17.987
				Coeficiente de variación CV		4.267	3.067	11.068	9.287	9.287

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima tracción (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor					
6	172226541820220113-ETP 02-1	21.3	66.4	26.39	1.22	1524.06	47.52	25.31	150.208	187.758
7	172226541820220113-ETP 02-2			26.37	1.23	1700.00	52.41	32.98	127.196	158.995
8	172226541820220113-ETP 02-3			26.09	1.17	1200.00	41.28	36.06	91.503	114.461
9	172226541820220113-ETP 02-4			26.14	1.22	1690.00	53.00	26.90	157.603	197.004
10	172226541820220113-ETP 02-5			26.43	1.22	1594.06	48.44	25.03	168.014	197.518
				Promedio ±		1603.000	48.728	29.253	136.916	171.147
				Desviación estándar S_{n-1}		179.989	4.723	4.977	28.287	35.358
				Coeficiente de variación CV		11.547	9.693	17.015	20.660	20.660



ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS

Edipo 17 48 48431.031
 Fecha de Emisión: 17/11/2018
 Fecha de última revisión: 20/03/2008
 Versión: 5

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mín		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor					
11	172226641820230113-ETP-03-1			20,42	1,22	1548,06	48,03	25,84	143,671	185,839
12	172226641820230113-ETP-03-2			26,43	1,24	1520,08	46,26	24,53	150,634	186,203
13	172226641820230113-ETP-03-3	22,9	62,3	26,42	1,22	1634,08	50,70	26,44	153,409	191,761
14	172226641820230113-ETP-03-4			26,44	1,23	1346,07	41,21	30,27	90,889	113,611
15	172226641820230113-ETP-03-5			26,36	1,24	992,66	47,79	26,17	151,900	189,876
Promedio \bar{x}						1520,878	46,621	27,671	139,101	173,876
Desviación estándar S_{n-1}						109,481	3,905	4,855	27,007	33,759
Coeficiente de variación CV						7,199	7,486	17,545	19,415	19,415

Observaciones del ensayo: Ninguna



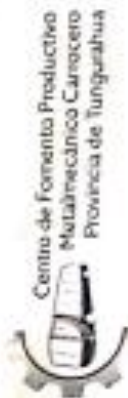
HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS
HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: 01-40-100-001
 Fecha de Edición: 2015-07-08
 Fecha de última actualización: 2023-03-28
 Versión: 4

Informe N°: 172226541820230113-ETP.
DATOS DEL CLIENTE
 Empresa/Cliente: Jhon Dairiel Jara Martínez
 Dirección: Quito
 Núm. de celular/RUC: 1722265418
 E-mail: jhon3aja@hotmail.com
 Teléfono: +593958094993

DATOS INFORMATIVOS
 Laboratorio: Resistencia de Materiales.
 Designación del material: Material polimérico. Nylon reciclado utilizado en Autopartes.
 Método de ensayo: ASTM D338-2022. Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.











N°	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	172226541820230113-ETP 01-1	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
2	172226541820230113-ETP 01-2	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
3	172226541820230113-ETP 01-3	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
4	172226541820230113-ETP 01-4	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
5	172226541820230113-ETP 01-5	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	



EMPLEO DEL NYLON RECICLADO PARA INYECCION DE PLASTICOEL
 RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA TOMA DEL
 TERMOSTATO MEDIANTE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

Página 2 de 2


FICHA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS


N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	17222654-1820230113-ETP 02-1	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
7	17222654-1820230113-ETP 02-2	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
8	17222654-1820230113-ETP 02-3	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
9	17222654-1820230113-ETP 02-4	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
10	17222654-1820230113-ETP 02-5	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
11	17222654-1820230113-ETP 03-1	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
12	17222654-1820230113-ETP 03-2	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
13	17222654-1820230113-ETP 03-3	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
14	17222654-1820230113-ETP 03-4	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	
15	17222654-1820230113-ETP 03-5	2023/01/13	2023/01/20	Cliente	Se entrega al cliente	


Todas las muestras de cada grupo envasado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMCPPT no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.


Elaborado por:
 Ing. Fernando Trillo R.
 Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPPT.


Aprobado por:
 Ing. Juan Mayorga G. Ming
 Gerente General de Operaciones
 CFPMCPPT



 Ministerio de la Industria y Comercio



 Ministerio de Ciencia y Tecnología



 Ministerio de Educación



 Ministerio de Salud


 Ministerio de Agricultura


 Ministerio del Medio Ambiente


 Ministerio de Energía

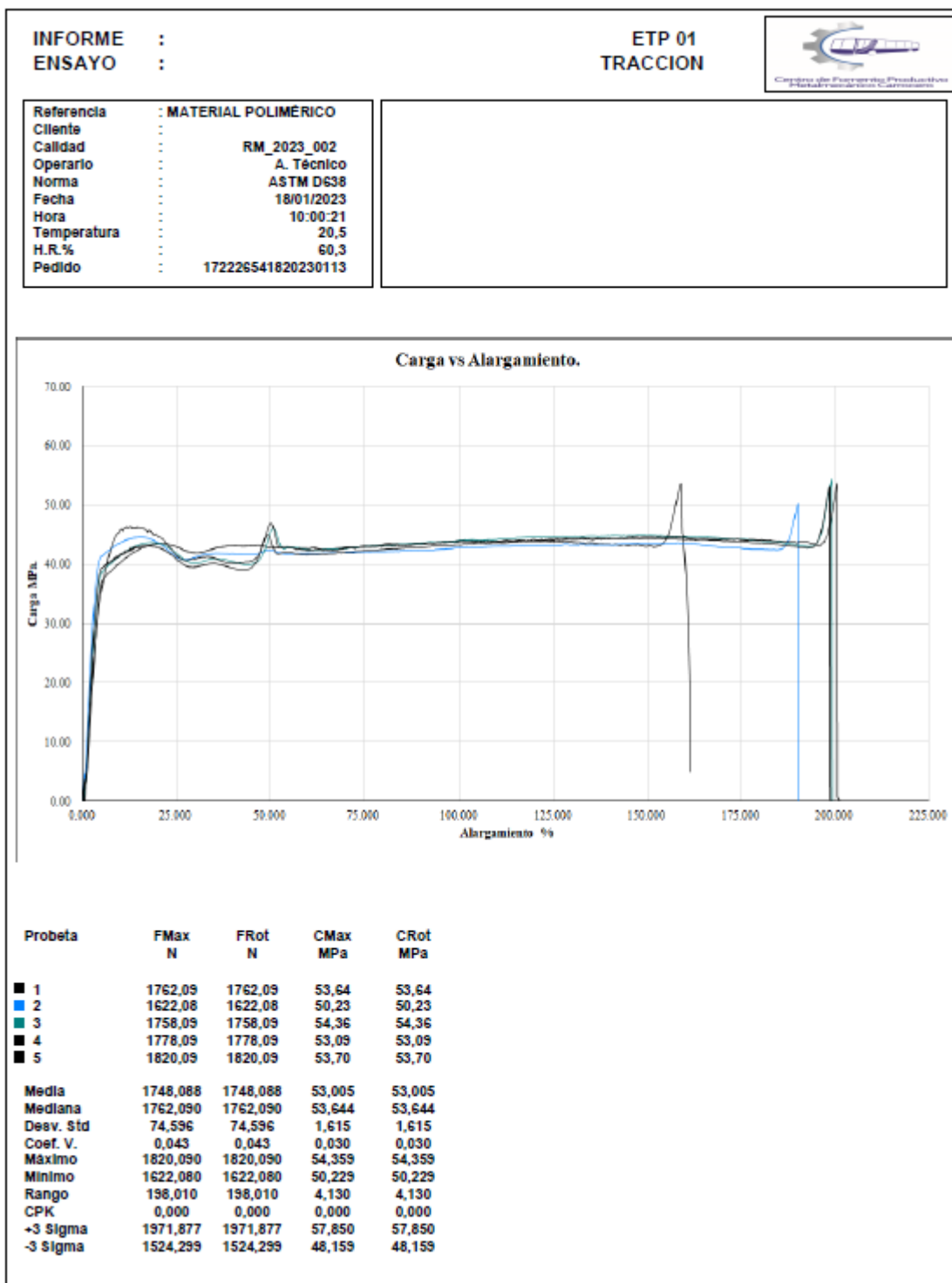

 Ministerio de Transportes


**Centro de Fomento Productivo
 Metalmeccánico Camacua
 Provincia de Tungurahua**

Nota. Esta figura representa el informe entregado por el centro carrocerero

Anexo 6

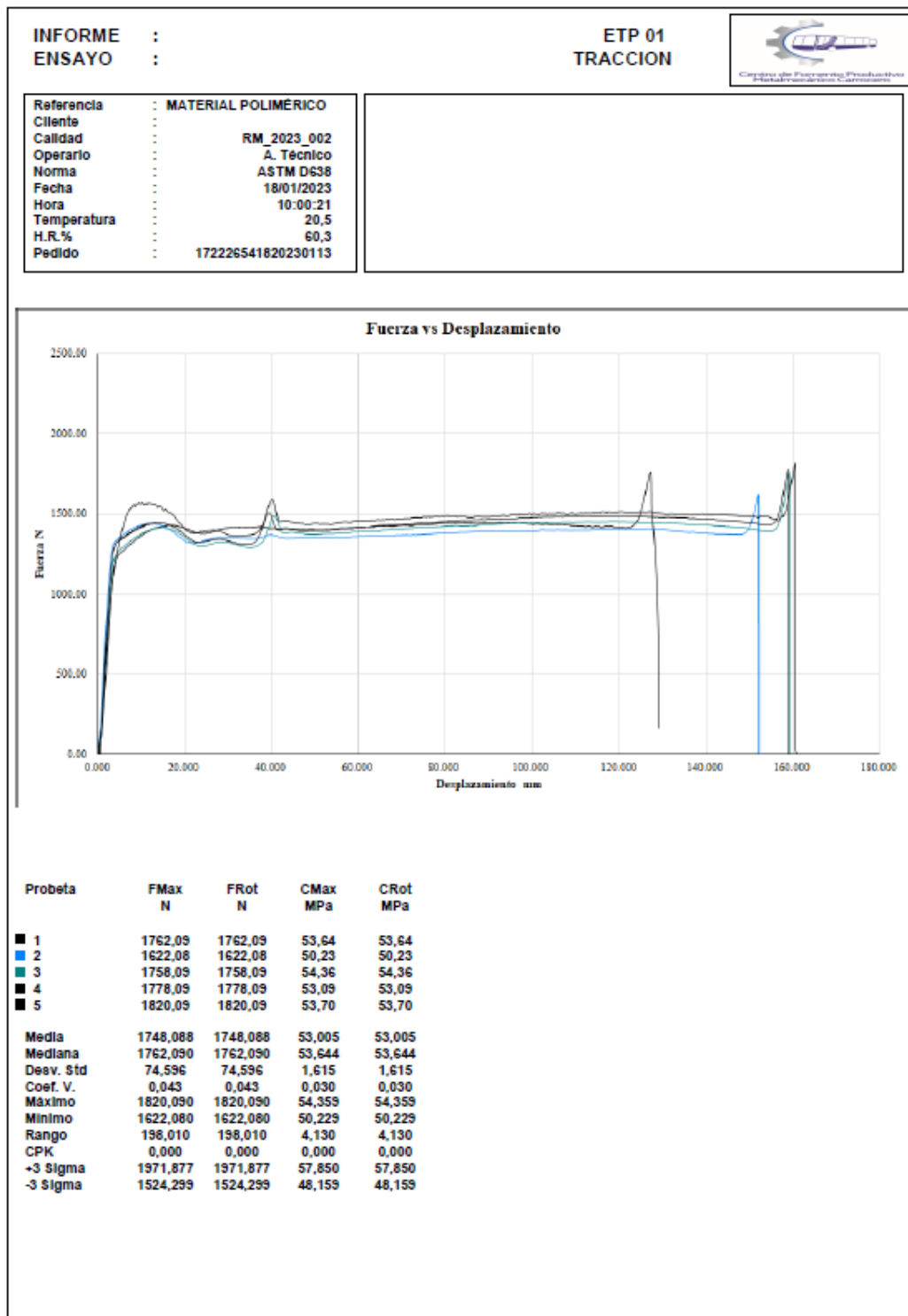
Gráficas y resultados de carga de la muestra ETP 01 (10% nylon reciclado).



Nota. Esta figura representa los resultados y grafica de las probetas ETP 01

Anexo 7

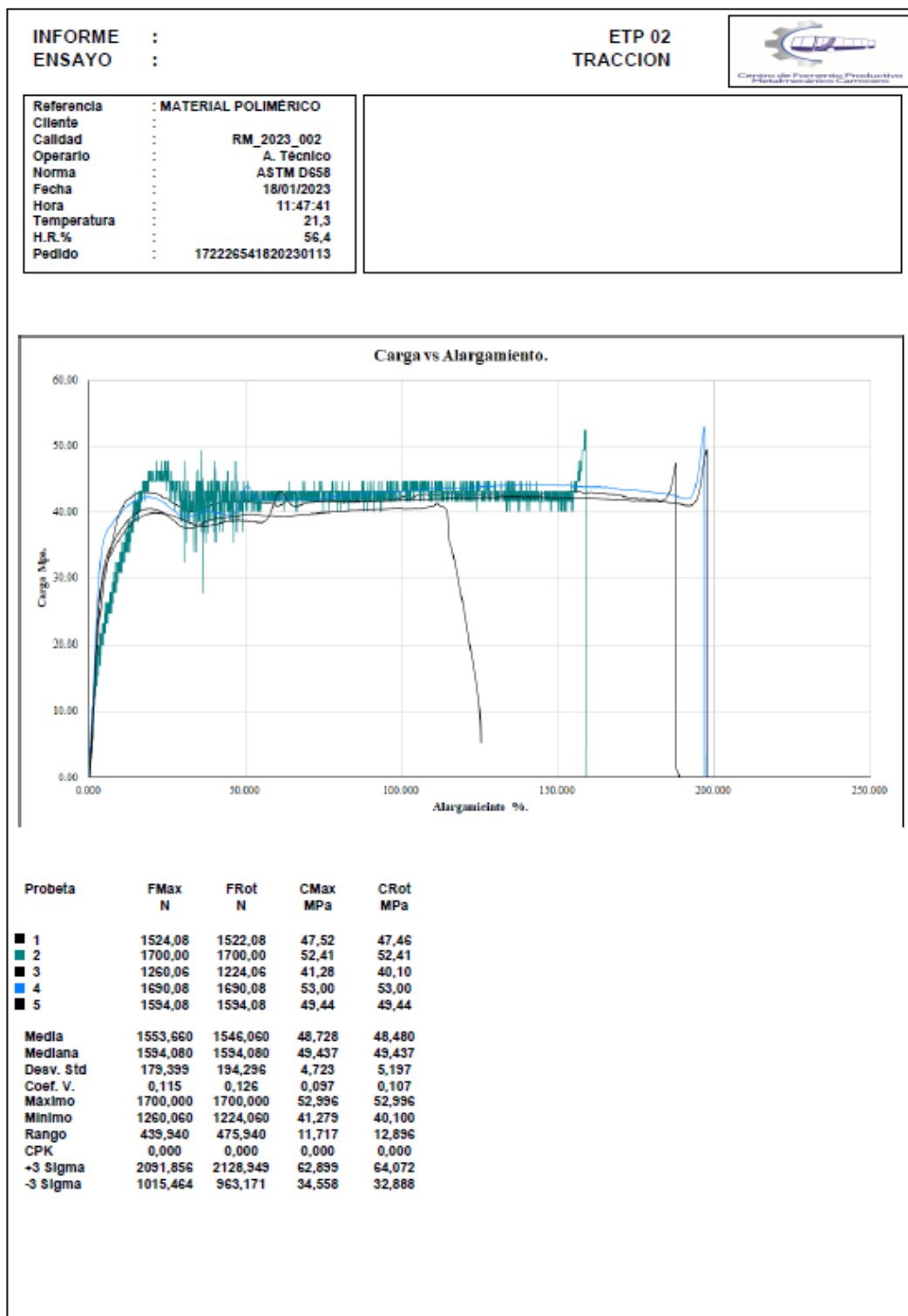
Gráficas y resultados de fuerza de la muestra ETP 01 (10% nylon reciclado).



Nota. Esta figura representa los resultados y gráfica de las probetas ETP 01

Anexo 8

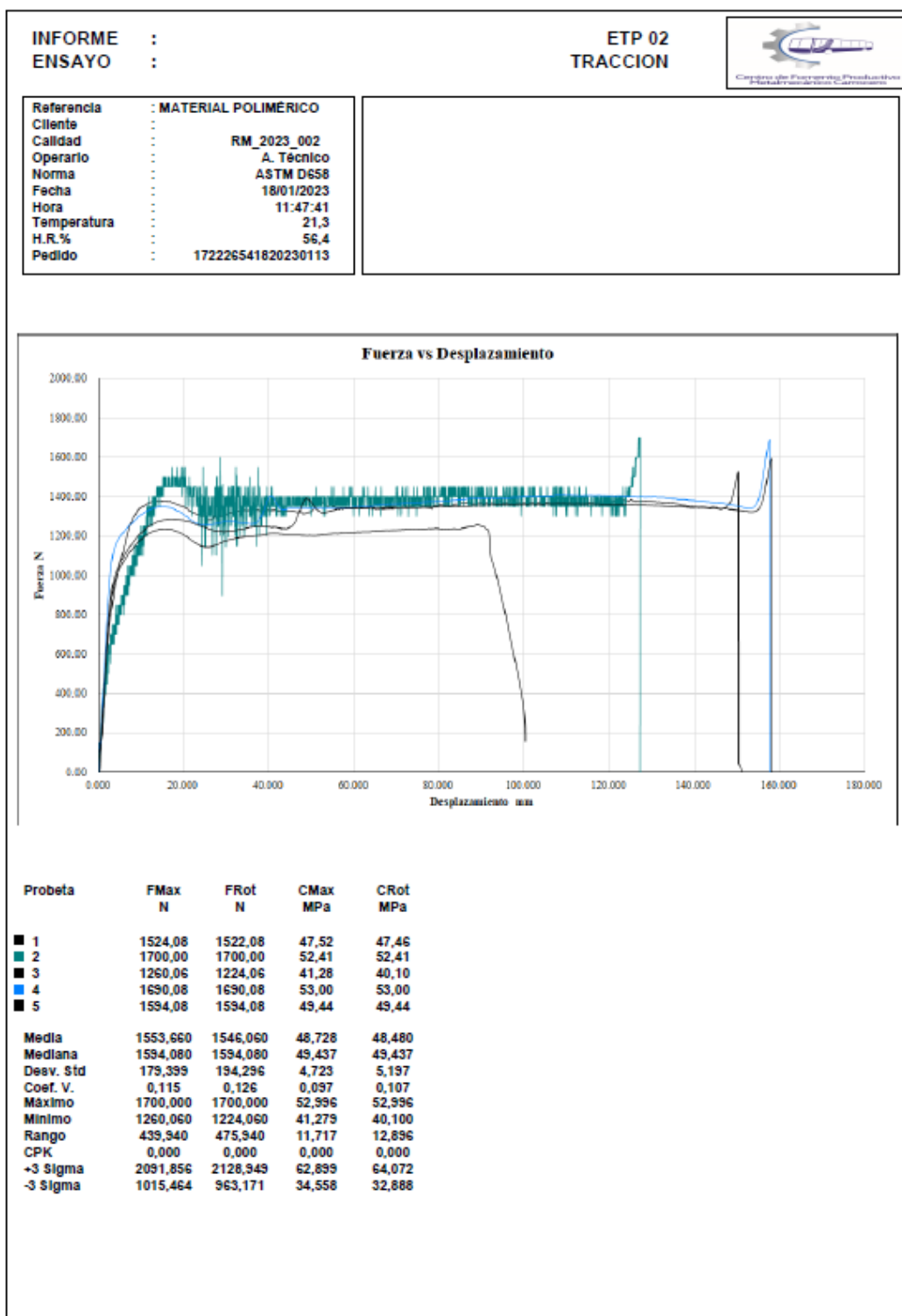
Gráficas y resultados de carga de la muestra ETP 02 (20% nylon reciclado).



Nota. Esta figura representa los resultados y grafica de las probetas ETP 02

Anexo 9

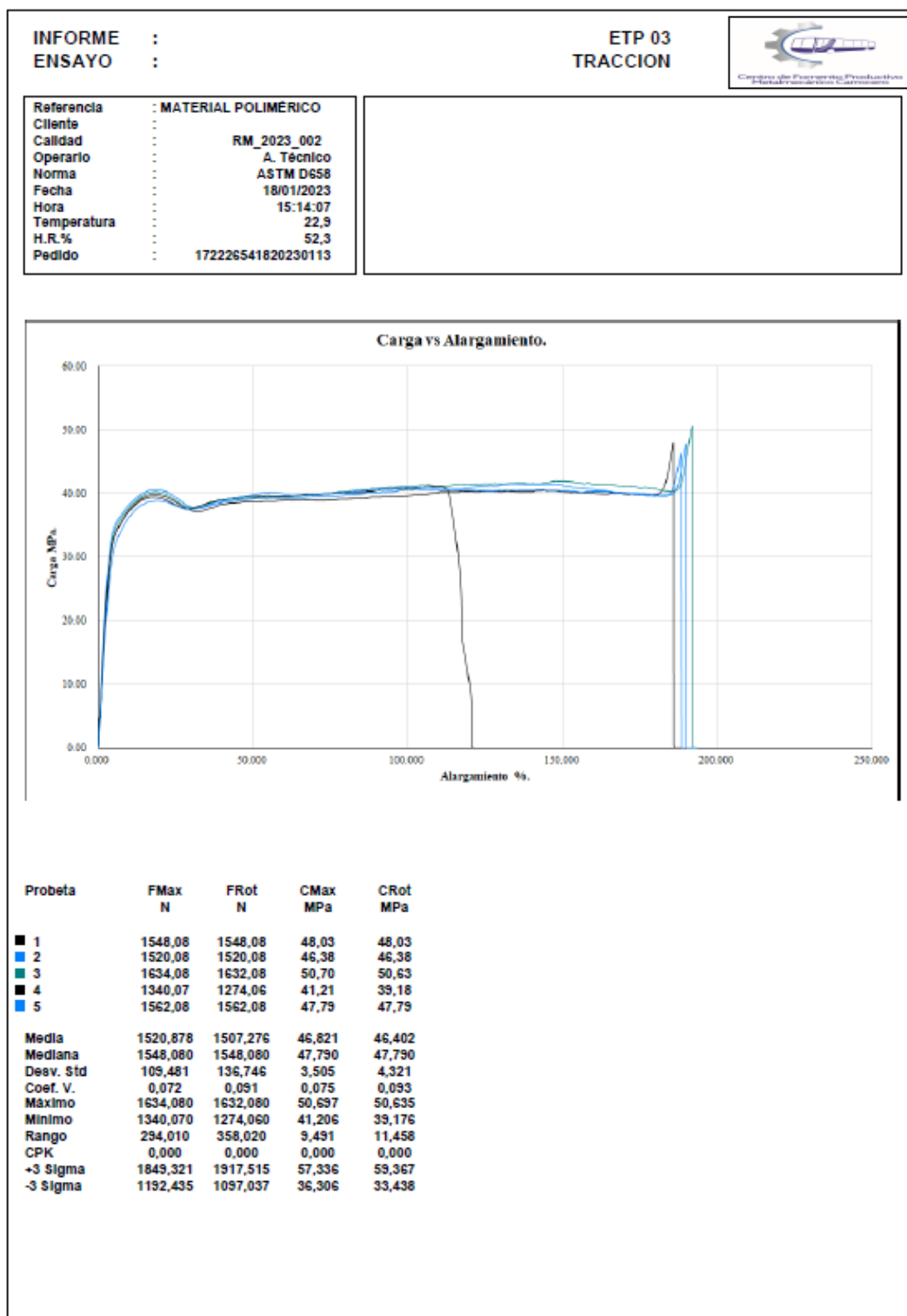
Gráficas y resultados de fuerza de la muestra ETP 02 (20% nylon reciclado).



Nota. Esta figura representa los resultados y gráfica de las probetas ETP 02

Anexo 10

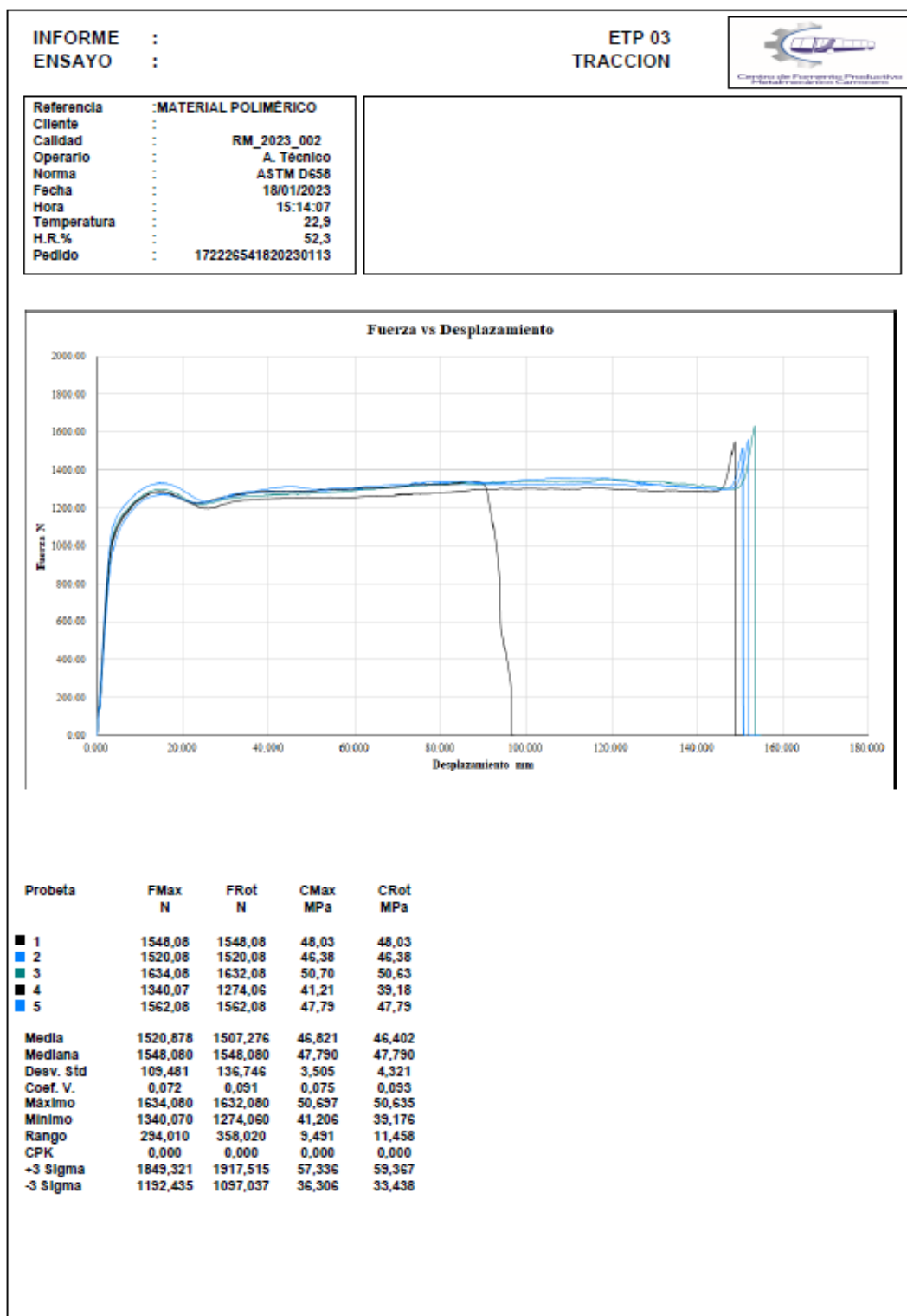
Gráficas y resultados carga de la muestra ETP 03 (25% nylon reciclado).



Nota. Esta figura representa los resultados y gráfica de las probetas ETP 03

Anexo 11

Gráficas y resultados fuerza de la muestra ETP 03 (25% nylon reciclado).



Nota. Esta figura representa los resultados y grafica de las probetas ETP 03